



Міністерство надзвичайних ситуацій України

**Академія пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля**

№7'2011

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***

Збірник наукових праць

ББК 38.96

П 46

**П 46 Пожежна безпека: теорія і практика : збірник наукових праць. –
Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – № 7. – 214 с.**

Редакційна колегія:

к.психол.н., професор *Кришталь М.А.* – головний редактор
д.т.н., професор *Осипенко В.І.* – заступник головного редактора
д.ф.-м.н., професор *Акіншин В.Д.* – науковий редактор
к.т.н., доцент *Поздєєв С.В.* – заступник наукового редактора
к.т.н. *Качкар Є.В.* – відповідальний секретар
д.т.н., професор *Ващенко В.А.*
д.психол.н, професор *Грибенюк Г.С.*
д.т.н., професор *Жартовський В.М.*
д.т.н., професор *Круковський П.Г.*
д.військ.н., професор *Мосов С.П.*
д.психол.н, професор *Охременко О.Р.*
к.т.н, доцент *Баракін О.Г.*
к.психол.н., доцент *Бут В.П.*
к.психол.н., доцент *Вареник В.В.*
к.ф.-м.н., доцент *Виноградов А.Г.*
к.т.н., доцент *Григор'ян Б.Б.*
к.т.н., доцент *Зайка П.І.*
к.т.н., доцент *Кириченко О.В.*
к.т.н., доцент *Левченко А.Д.*
к.т.н., доцент *Маладика І.Г.*
к.т.н., доцент *Стась С.В.*
к.психол.н., доцент *Теслюк П.В.*
к.т.н., доцент *Тищенко О.М.*
к.т.н. *Цвіркун С.В.*

***Рекомендовано до видання
Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
(Протокол № 7 від 20.05.11 р.)***

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 17574-6424 ПР, видане Міністерством юстиції України 21.03.11 р.***

***Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)***

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

ЗМІСТ

<i>Абрамов Ю.А., Безуглов О.Е., Гвоздь В.М.</i> Определение постоянной времени чувствительного элемента тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях	6
<i>Андрієнко М.В., Тищенко О.М., Тищенко Є.О.</i> Визначення основних параметрів аварійного витікання і горіння вуглеводнів.....	12
<i>Березовский А.И., Маладыка И.Г., Саенко Н.В., Быков Р.А., Бруев Н.А.</i> Оценка термоокислительной деструкции и горючести реакционноспособных олигомеров	16
<i>Быков В.І., Цікановський В.Л.</i> Експериментальний стенд для дослідження вхідного імпедансу верхніх кінцівок оператора під час застосування імпульсних вогнегасників	21
<i>Ващенко В.А., Заика П.И., Кириченко О.В., Щепак С.В., Блащук А.Д.</i> Исследование интенсивности диспергирования частиц магния в зону пламени при горении нитратно-магниевых систем	27
<i>Виноградов А.Г.</i> Розрахунок траєкторій водяних крапель з урахуванням реальної залежності аеродинамічного коефіцієнта.....	30
<i>Григор'ян Б.Б., Цвіркун С.В., Григор'ян М.Б.</i> Визначення теплофізичних характеристик та вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104».....	39
<i>Дядюшенко О.О., Томенко В.І., Міненко О.В.</i> Модель первинної обробки даних за фактом пожежі	46
<i>Качкар Е.В. Григорьян Б.Б., Быченко С.Н., Грицина И.Н., Куприенко Ю.А.</i> Идентифицируемость параметров модели теплового состояния сендвич-панелей с минераловатными плитами	53
<i>Кириченко О.В.</i> Термодинамічні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей піротехнічних нітратно-магнієвих сумішей.....	59
<i>Ковалишин В.В., Дмитровський С.Ю., Кирилів Я.Б., Хлевной О.В.</i> Вдосконалення методів випробувань будівельних конструкцій на атомних електростанціях	67
<i>Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І.</i> Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолевій речовині	72
<i>Левченко А.Д., Джулай О.М., Левченко Д.Є., Землянський О.М.</i> Удосконалення методу газового аналізу для виявлення залишків отруйних та пожежовибухонебезпечних речовин під час встановлення причин виникнення пожеж та надзвичайних ситуацій.....	79
<i>Лега А.Л.</i> Моделювання процесу газообміну в приміщенні при розслідуванні пожеж з метою визначення причин їх виникнення.....	83
<i>Мамаєв В.В.</i> Оцінка ризику пожежі на підземних об'єктах вугільних шахт.....	89
<i>Мартин О.М.</i> Економічна ефективність протипожежних заходів: її суть та обчислення	96
<i>Мельник В.П.</i> Використання обернених моделей САУ для визначення відхилення виконавчих органів систем пожежної безпеки	100
<i>Мельник О.Г., Рудницький В.М., Мельник Р.П., Томенко В.І.</i> Добовий моніторинг навантаження електромережі у житлових будинках.....	106
<i>Моргун О.М., Марченко А.П.</i> Модифікація методу найменших квадратів для задач прогнозування	111
<i>Мосов С.П., Дендаренко Ю.Ю., Щербина В.С.</i> Обґрунтування доцільності комплексного підходу до оцінювання та прогнозування рівня пожежної безпеки об'єктів адміністративно-господарського призначення	116
<i>Поздеев А.В., Осипенко В.И., Гвоздь В.М., Сташенко С.И., Нуянзин В.М.</i> Влияние модифицирующих добавок в бетоны на обеспечение огнестойкости железобетонных строительных конструкций	123
<i>Поздеев С.В.</i> Экспериментально-расчетный метод определения упруго-пластических свойств арматурной стали в условиях нагрева при пожаре.....	130
<i>Пурський О.І., Федоренко С.С.</i> Принципи побудови і функціонування експертних систем пожежної безпеки.....	138

<i>Спирина-Смилка Е.Ю., Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Снагощенко Л.П., Ковтун Т.С., Маладыка И.Г.</i> Изучение технологических и эксплуатационных свойств огнезащитных эпоксидных полимерных материалов	142
<i>Теслюк П.В.</i> Вплив особистісних властивостей начальників караулів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на процес прийняття рішень	149
<i>Тищенко Е.А., Безуглов О.Е., Абрамов Ю.А.</i> Анализ временных характеристик тепловых пожарных извещателей.....	154
<i>Частоколенко І.П. Частоколенко П.П.</i> Про вплив пожежного ризику на ризик банкрутства суб'єктів господарської діяльності	158
<i>Дубенець А.С., Чубань В.С., Нікітіна Т.В.</i> Нормативні вимоги щодо виробництва та використання хімічних речовин у контексті законодавства REACH	164
<i>Круковский П.Г., Ковалев А.И.</i> Методика определения характеристики огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на бетонных перегородках расчетно-экспериментальным методом	170
Abstracts/анотації	186
Наші автори (алфавітний покажчик)	199
Вимоги до оформлення статей	201
Паспорт спеціальності 21.06.02 – Пожежна безпека	212

ДО УВАГИ НАУКОВЦІВ:

Починаючи з цього номера науковий збірник виходитиме в світ тричі на рік, у зв'язку з чим змінені терміни подання наукових статей до друку.

Статті можна подавати трьома мовами: українською, російською, англійською.


УКРАЇНА
міністерство юстиції

СВІДОЦТВО

**про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації**

Серія **КВ** № 17574-6424/17Р

“Пожежна безпека: теорія і практика”
(назва видання державною мовою)

(назва видання іншою мовою (мовами))

Видання збірник
(газета, журнал, бюлетень, збірник, альманах, календар, довідник)

Статус видання вітчизняне
(вітчизняне, співільне)

Мова (мови) видання змішаними мовами: українська, російська, англійська

Видання за цільовим призначенням наукове, науково-популярне, навчальне
(громадсько-політичне, наукове, навчальне, інформаційне)

розмір (понад 40 відсотків об'єму одного номера – реклама, вжиттєво тощо)

Обсяг, періодичність до 10 ум. друк. арк., 3 рази на рік

Сфера розповсюдження та категорія читачів загальнодержавна
фахівці в галузі пожежної безпеки, національної безпеки та надзвичайних ситуацій; аспіранти, докторанти, ад'юнкти, здобувачі наукових ступенів, представники навчальних закладів України усіх рівнів акредитації, державних і громадських установ, органів місцевого самоврядування; широке коло читачів, що цікавляться питаннями пожежної безпеки

Засновник (співзасновники) Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Міністерства надзвичайних ситуацій України

Програмні цілі (основні принципи) або тематична спрямованість наукові статті з технічних проблем у сфері пожежної безпеки та з проблем психології

Міністр  **Олександр Лавринович**

21.03.11
(дата реєстрації)



УДК 614.8

Ю.А. Абрамов, д.т.н., проф., О.Е. Безуглов, НУГЗУ,
В.М. Гвоздь, к.т.н., доц., УМЧС Украины в Черкасской области

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ПРИ АВТОНОМНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Приведены алгоритмы и схемы их аппаратурной реализации для определения величины постоянной времени тепловых пожарных извещателей при автономных испытаниях..

Ключевые слова: постоянная времени, пожарный извещатель, автономные испытания.

Повышение эффективности обнаружения опасных факторов пожара обуславливает совершенствование характеристик системы эксплуатации систем пожарной автоматики. Одним из фрагментов таких систем эксплуатации является подсистема определения одной из временных характеристик тепловых пожарных извещателей (ТПИ) – величины постоянной времени их чувствительных элементов.

Определение величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ в наибольшей степени проработано применительно к пожарным извещателям с терморезистивным чувствительным элементом [1, 2]. Все методы определения величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ ориентированы на их реализацию с помощью термокамер при проведении автономных испытаний пожарных извещателей.

Все методы определения динамического параметра ТПИ в зависимости от вида внешнего воздействия можно разделить на три группы:

- метод, основанный на внешнем температурном воздействии в виде прямоугольного импульса, т.е.

$$\theta(t) = \theta_0 [1(t) - 1(t - t_0)], \quad (1)$$

где τ_0 – длительность импульса; θ_0 – амплитуда импульса; $1(t)$ – функция Хевисайда;

- метод, основанный на внешнем воздействии в виде скачкообразного изменения температуры, т.е.

$$\theta(t) = \theta_0 \cdot 1(t); \quad (2)$$

метод, основанный на внешнем воздействии в виде постоянно возрастающей температуры, т.е.

$$\theta(t) = \theta_0 + at, \quad (3)$$

где a – скорость изменения температуры.

В первом случае передаточной функции ТПИ будет соответствовать дифференциальное уравнение

$$\tau \dot{u}(t) + u(t) = \theta(t), \quad (4)$$

где $u(t)$ – реакция чувствительного элемента пожарного извещателя на внешнее воздействие $\theta(t)$ в виде температуры; τ – постоянная времени чувствительного элемента ТПИ.

Вследствие того, что имеет место выполнение условий

$$\theta(0) = \theta(\infty), u(0) = u(\infty), \quad (5)$$

то

$$\int_0^{\infty} \theta(t) dt = \int_0^{\infty} u(t) dt. \quad (6)$$

После двукратного интегрирования (4), а также с учетом (6) получаем выражение для постоянной времени

$$\tau = \left[\int_0^{\infty} dt \int_t^{\infty} u(t) dt \right] \left[\int_0^{\infty} u(t) dt \right]^{-1} - \left[\int_0^{\infty} dt \int_t^{\infty} \theta(t) dt \right] \left[\int_0^{\infty} \theta(t) dt \right]^{-1}. \quad (7)$$

Реализация такого алгоритма определения динамического параметра ТПИ осуществляется с помощью устройства, структурная схема которого приведена на рис. 1.

Следует отметить, что при реализации такого метода определения величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ достаточно серьезные технические трудности вызывает автоматизация формирования внешнего воздействия вида (1). Если такое воздействие формируется не автоматически, а с помощью оператора, то возникает дополнительная составляющая динамической погрешности, дисперсия которой достаточно велика.

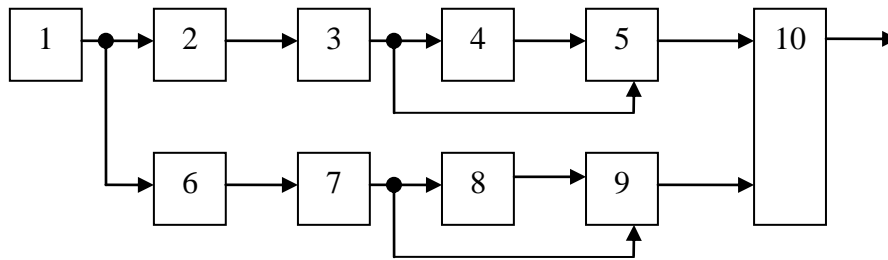


Рисунок 1 - Структурная схема устройства для определения постоянной времени ТПИ: 1 – формирователь теплового воздействия; 2 – ТПИ; 3, 4, 7, 8 – интеграторы; 5, 9 – делители сигналов; 6 – преобразователь температура – напряжение; 10 – сумматор (алгебраический)

В том случае, когда внешнее воздействие на чувствительный элемент ТПИ описывается выражением (2), возможно несколько вариантов для формирования алгоритма идентификации динамического параметра чувствительного элемента извещателя.

В первом варианте используется переходная функция чувствительного элемента ТПИ [3], соответствующая передаточной функции $W(p)$, т.е.

$$h(t) = L^{-1}[\theta_0 p^{-1} W(p)] = \theta_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]. \quad (8)$$

Применяя операцию дифференцирования к (8) для момента времени $t = t_i$, получим

$$\dot{h}(t_i) = \theta_0 \tau^{-1} \exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right), \quad (9)$$

что после подстановки в (8) и преобразования приводит к выражению

$$\tau = [\theta_0 - h(t_i)] \dot{h}^{-1}(t_i), \quad (10)$$

которое служит для определения величины постоянной времени чувствительного элемента извещателя.

На рис. 2 приведена структурная схема устройства, реализующая алгоритм (10).

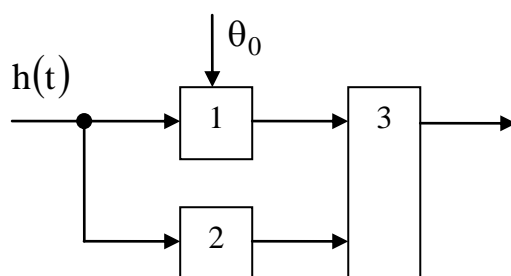


Рисунок 2 - Структурная схема устройства для определения постоянной времени ТПИ: 1 – вычитающее устройство; 2 – дифференцирующее устройство; 3 – устройство умножения

Следует подчеркнуть, что реализация такого алгоритма обуславливает необходимость получения информации как о величине переходной функции (8) чувствительного элемента ТПИ в некоторый момент времени t_i , так и о скорости ее изменения в этот же момент времени. Последнее обстоятельство обуславливает появление достаточно высокой погрешности со стороны дифференцирующего устройства [4, 5].

В том случае, когда превалирующей является случайная погрешность, то ее влияние может быть ослаблено за счет реализации алгоритма следующего вида

$$\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_0 - h(t_i)}{h(t_{i+1}) - h(t_i)} (t_{i+1} - t_i), \quad (11)$$

где $n = T_{\Pi} (3\Delta t)^{-1}$; $\Delta t = t_{i+1} - t_i = t_{i+2} - t_{i+1} = \dots = \text{const}$.

Во втором варианте этой группы методов определение величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ используется операция интегрирования, что является предпочтительным по сравнению с использованием операции дифференцирования. В частности, после интегрирования дифференциального уравнения (4), получаем

$$\tau u(t) + \int_0^t u(\alpha) d\alpha = \int_0^t \theta(\alpha) d\alpha, \quad (12)$$

откуда следует выражение, описывающее алгоритм определения динамического параметра τ

$$\tau = \left[\int_0^t [\theta(\alpha) - u(\alpha)] d\alpha \right] [u(t)]^{-1}. \quad (13)$$

Структурная схема устройства, реализующая алгоритм (13), приведена на рис. 3.

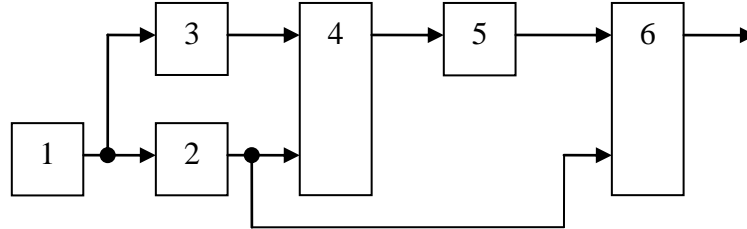


Рисунок 3 - Структурная схема устройства для определения постоянной времени ТПИ: 1 – формирователь теплового воздействия; 2 – ТПИ; 3 – блок масштабирования; 4 – сумматор (алгебраический); 5 – интегратор; 6 – делитель

В [2] с использованием среды Simulink показано, что алгоритм (13) обеспечивает определение постоянной времени чувствительного элемента ТПИ в любой момент времени.

Если к дифференциальному уравнению (4) применить операцию нормирования [6, 7], т.е. ввести переменную $x(t)$ следующим образом

$$x(t) = u(t)\theta_0^{-1}, \quad (14)$$

то такое дифференциальное уравнение примет вид

$$\tau \dot{x}(t) + x(t) = 1(t). \quad (15)$$

Тогда из (15) следует выражение, определяющее алгоритм идентификации динамического параметра τ

$$\tau = \int_0^{\infty} [1 - x(t)] dt. \quad (16)$$

На рис. 4 приведена структурная схема устройства, реализующего алгоритм (16).

В [1] предложен метод определения постоянной времени чувствительного элемента ТПИ для случая, когда входное воздействие описывается выражением (3). Алгоритм определения этого динамического параметра сводится к следующему:

- на ТПИ воздействуют нестационарным тепловым полем, температура которого изменяется по закону (3);
- контролируют изменение выходного сигнала во времени и в момент времени, начиная с которого скорость его изменения становится постоянной, фиксируют время и измеряют величину входного сигнала ТПИ;
- контролируют величину выходного сигнала, приведенную ко входу ТПИ, и сравнивают с измеренной величиной входного сигнала;
- в момент совпадения этих двух значений фиксируют время, а величину постоянной времени чувствительного элемента ТПИ определяют в виде разности между вторым моментом и первым моментом фиксации времени.

Структурная схема устройства, реализующая этот алгоритм, приведена на рис. 5.

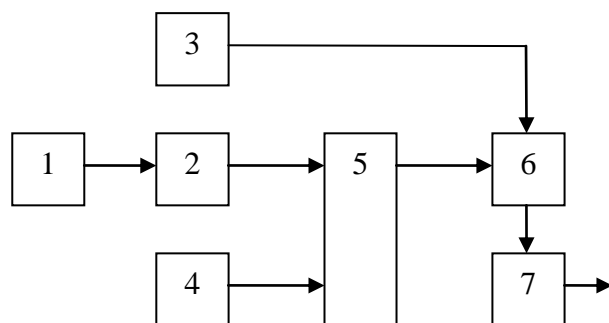


Рисунок 4 - Структурная схема устройства для определения постоянной времени ТПИ: 1 – формирователь теплового воздействия; 2 – ТПИ; 3 – формирователь единичного сигнала; 4 – формирователь нормирующего (масштабного) коэффициента; 5 – делитель; 6 – сумматор (алгебраический); 7 – сумматор

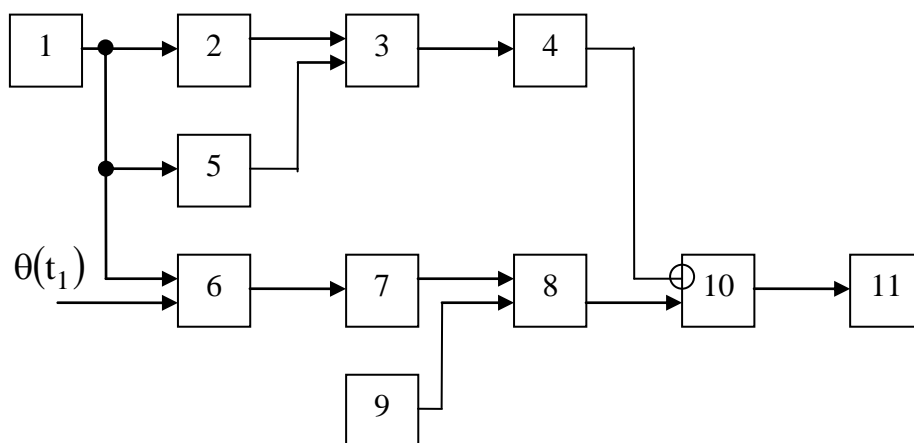


Рисунок 5 - Структурная схема для определения постоянной времени ТПИ: 1 – формирователь теплового воздействия; 2 – ТПИ; 3, 6 – пороговое устройство; 4, 7 – триггеры; 5 – дифференцирующее устройство; 8 – элемент И; 9 – генератор импульсов; 10 – элемент запрета; 11 – счетчик импульсов

Особенностью этого метода является то, что время определения величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ составляет не менее $(4 \div 5) \tau$.

Анализ всех методов определения величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ при их автономных испытаниях свидетельствует о том, что:

- в случаях, когда внешнее воздействие описывается выражениями (1), (2), алгоритмы определения динамического параметра ТПИ основаны на использовании операций дифференцирования или интегрирования выходных сигналов чувствительного элемента, которые применяются к амплитудным параметрам этих сигналов;

- в случае использования в качестве внешнего воздействия сигнала вида (3) алгоритм определения динамического параметра ТПИ основан на использовании временных параметров выходного сигнала;

- использование временных параметров выходного сигнала ТПИ является предпочтительным по сравнению с амплитудными параметрами, что обусловлено меньшим влиянием различного рода помех при проведении испытаний пожарных извещателей;

- использование входного воздействия вида (3) открывает возможность для комплексного подхода для формирования алгоритма автономных испытаний ТПИ;

- несмотря на достаточно большое количество методов определения величины постоянной времени чувствительного элемента ТПИ, отсутствует информация о количественных оценках, отражающих эффективность этих методов;

- остается открытым вопрос о выборе вида внешнего воздействия на чувствительный элемент ТПИ для определения величины его постоянной времени.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – АГЗУ, 2005. – 121 с.
2. Гвоздь В.М. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / В.М. Гвоздь. – Черкассы, 2005. – 181 с.
3. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х. : ХИПБ, 1993. – 288 с.
4. Касаткин А.С. Оценка эффективности автоматизированных систем контроля / А.С. Касаткин, Н.В. Кузьмин. – Л. : Энергия, 1987. – 428 с.
5. Балакирев В.С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов / В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников, А.М. Цырлин. – М. : Энергия, 1968. – 342 с.
6. Костенко О.Л. Способ определения динамического параметра пожарного извещателя / О.Л. Костенко, В.М. Гвоздь, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х. : Фолио, 2003. – Вып. 13. – С. 71-74.
7. Власов-Власюк О.Б. Экспериментальные методы в автоматике / О.Б. Власов-Власюк. – М. : Машиностроение, 1969. – 412 с.

УДК 614.84

М.В. Андрієнко, к.і.н, О.М. Тищенко, к.т.н, доц., Є.О.Тищенко,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО ВИТІКАННЯ І ГОРІННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

Розглядаються особливості аварійного витікання і горіння вуглеводнів. На основі порівняльного аналізу приведений оптимальний порядок визначення основних параметрів факела в залежності від режимів витікання вуглеводнів

Ключові слова: горіння, вуглеводні, факел полум'я.

Постановка проблеми. Пожежна небезпека нафтогазопереробних підприємств зумовлена наявністю великої кількості горючих газів, легкозаймистих рідин, горючих рідин, а також жорсткими умовами процесу їх переробки (при температурі більш ніж 250° С и тиску до 8,0 МПа).

Аварії з порушенням герметичності технологічного обладнання призводять до утворення значних вибухонебезпечних пароповітряних зон, в котрих можуть перебувати люди, аварійно-рятувальна і пожежна техніка. Вибух або послідовність вибухів руйнують апарати і трубопроводи з утворенням нових джерел загазованості і осередків горіння. Тому в таких аварійних ситуаціях вільне контрольоване горіння (чи вигоряння) з умов безпеки прийнятніше за безконтрольне загазування приміщень і прилеглих територій.

Утворення стійкого факельного горіння зв'язано з небезпекою інтенсивного нагріву тепловим потоком полум'я технологічного обладнання, що знаходиться в зоні аварії. На першому етапі ліквідації аварії необхідно зменшити теплові дії на вибухопожежонебезпечне обладнання, що знаходиться в аварійній зоні і створити умови для роботи аварійно-рятувальних служб. Тому дуже важливо визначити параметри струменя факела для того щоб прогнозувати обстановку на пожежі. Найбільш важливими параметрами факельного горіння горючих газів, легкозаймистих рідин, горючих рідин є геометричні розміри факелу і його теплорадіаційні властивості. За геометричними розмірами струменя факелу в залежності від характеру горіння і виду витікання визначають витрату аварійно витікаючого продукту, а по витраті – щільність теплового потоку на різній відстані від зони горіння.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Більшість дослідників обробку експериментальних даних ведуть в формі залежності відносної висоти факелу полум'я від деяких безрозмірних параметрів, котрі характеризують режим витікання і фізичні властивості речовини. Ряд авторів [1, 2] показали, що відносна довжина факелу залежить від швидкості витікання лише в деякій області їх початкових значень. Ця обставина дозволяє обробку експериментальних даних проводити в формі співвідношень:

$$\frac{l_{\phi}}{d_0};$$

де: l_{ϕ} - довжина факелу, м; d_0 - початковий діаметр струменя на виході з аварійного отвору, м.

Авторами [3, 5] відносна довжина факелу представлена в вигляді залежності від безрозмірних величин:

$$\frac{U_0^2}{gd_0} \quad \text{та} \quad \frac{v}{D};$$

де: U_0 - швидкість витікання на виході з аварійного отвору, м/с; g - прискорення вільного падіння, м/с²; ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с; D - коефіцієнт дифузії, см²/с.

Так для парів зріджених газів ця залежність має вид:

$$\frac{l_\phi}{d_0} = 56,3 \left(\frac{U_0^2}{gd_0} \right)^{0,165} \left(\frac{\nu}{D} \right)^{0,3} \quad (1)$$

Для сухих газів в області значень $\frac{U_0^2}{gd_0} \geq 2 \cdot 10^6$ відносна довжина факелу має постійну величину:

$$\frac{l_\phi}{d_0} = 220 \div 230 = const. \quad (2)$$

А в області значень $40 \leq \frac{U_0^2}{gd_0} < 10^5$, абсолютна довжина факелу залежить лише від об'ємної витрати газу:

$$l_\phi = 10V^{0,4} \quad (3)$$

де: V - об'ємна витрата газу, м³/с.

В роботах [6, 7] вперше зроблена спроба узагальнити експериментальні дані по витіканню зріджених вуглеводневих газів з круглого отвору:

$$G = 0,001l_\phi^{2,5} \quad (4)$$

а також з щілинних отворів:

$$l_\phi = 3,2G^{0,6} \quad (5)$$

Теплові потоки, що випромінюються даними факелами, обчислюються в залежності:

$$q = \frac{85G^{0,73}}{R}; \text{ Вт/м}^2 \quad (6)$$

де: R - відстань від факелу до досліджуваної точки, м; G - витрата з аварійного отвору, кг/с.

Недоліком узагальнення експериментальних даних в формі залежностей (1-5) є те, що вони не дають відомостей по конфігурації факелу, а при горінні легкозаймистих рідин, горючих рідин вимагають введення поправочних коефіцієнтів, що враховують випаровування і об'ємне розширення.

Постановка задачі і її розв'язання. Відомо, що при збільшенні швидкості витікання газу відбувається руйнування ламінарного полум'я і утворюються розвинене турбулентне горіння. Турбулентне полум'я значно ширше, в порівнянні з ламінарним. В дослідженнях [8-10] доведено, що при ламінарному горінні довжина факелу пропорційна швидкості витікання, а в перехідній області спостерігається нелінійна залежність. При визначених швидкостях потоку довжина факелу має максимум, а потім зменшується при збільшенні швидкості витікання. В області розвинутого турбулентного руху довжина факелу практично не залежить від швидкості витікання газу.

Схема фронтального горіння (рис. 1) припускає незначні зміни форми факелу дифузійного горіння, а схема розрахунку дає більш повну картину факелу – місце знаходження фронту, властиву йому повноту згорання, профілі усіх змінних, умови стійкості факелу, займання його і згасання. Схема розрахунку дифузійного факела незмішаних газів припускає подібність швидкості, температури і концентрації в факелі що не горить і горить. Результати такого розрахунку припускають, що фронт полум'я відповідає поверхні, на котрій струмені горючого і окисника знаходиться в стехіометричній залежності.

В кінцевому результаті, розрахунок аеродинаміки факела з тонким прикордонним фронтом полум'я зводиться до лінеаризації рівнянь вільного струминного трьохвимірною

прикордонного шару і зведенню їх шляхом заміни незалежних змінних до легко інтегрованого лінійного однорідного рівняння типу рівняння теплопровідності в ефективній площині.

Математичною основою такої заміни є те, що рівняння прикордонного шару відносяться до параболічних, канонічним типом котрих є рівняння типу теплопровідності.

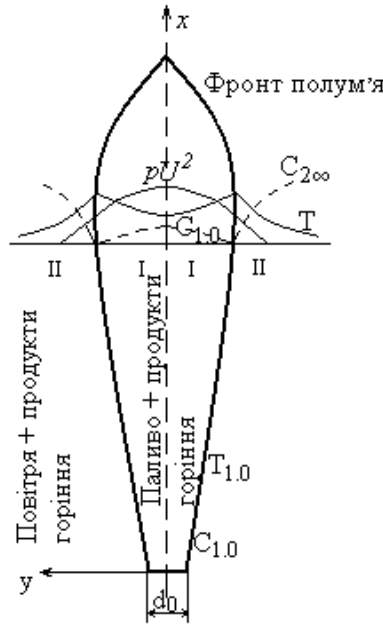


Рисунок 1 - Схема дифузійного затопленого газового факела незмішаних з повітрям газів

Фізичною основою є близькість процесів турбулентного переносу до молекулярних процесів.

Однак перехід до лінійних рівнянь відбувається без довільних допущень. Так, перехід від фізичних координат X і Y до ефективних (уявних) $\xi = \xi(x, y)$ і $Y = Y(x, y)$ здійснюється в формулах, взятих з експерименту.

Для цікавої нам задачі (вільний, прямоструминний, турбулентний струмінь), як доводить досвід багатьох дослідників [11-12], при побудові площини ефективних змінних достатньо тільки однієї деформації – розтягування координати X . Тоді формули заміни змінних матимуть вид:

$$\xi = \xi(x) \quad \text{і} \quad Y = Y(y) \approx y$$

Тоді в площині змінних $\xi - Y$ рівняння переносу матиме вид:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = \frac{1}{Y^\kappa} \frac{\partial}{\partial Y} \left(Y^\kappa \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \right) \quad (7)$$

де: $\kappa = 0$ чи $\kappa = 1$ для плоского чи вісесиметричного факела.

Граничні умови $x = \xi = 0$; $y = Y \rightarrow \infty$ залишаються тими ж самими, що і в площині $X - Y$.

Φ – символ, що означає надлишкову густину потоку імпульсу, теплоутримання чи речовини:

$$\rho U(U - U_\infty); \quad \rho U C(T - T_\infty) \quad \text{і} \quad \rho U(C - C_\infty).$$

де: ∞ - індекс, що відноситься до необмеженого спутного потоку (окислювачу).

Тут і в подальшому для кожної «субстанції» $\rho U(U - U_\infty); \rho U C(T - T_\infty); \rho U(C - C_\infty)$ вводиться своя координата ξ , причому відношення ξ_U для імпульсу і ξ_T для тепла (чи речовини ξ_C) приблизно постійні, тоді як $Y = y$ у всіх випадках.

Що узгоджується з дослідженнями [11-12], в результаті чого встановлено, що при відповідному виборі залежностей $\xi(x)$ дослідні і розрахункові профілі характерних величин

практично співпадають. Для затоплених струменів в першому наближені можна прийняти $\sqrt{\xi} \approx 0,04x$.

В випадках витікання сухих газів можна прийняти наближену формулу з коефіцієнтом 0,04.

В результаті досліджень [13,14] також перевірено схему розрахунку по методу еквівалентної задачі спочатку для витікання струменя з прямокутного отвору, пізніше з отвору в вигляді хреста. І в цьому випадку складна деформація швидкісного і температурного поля струменя добре піддається розрахунку за рівнянням:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Y^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \gamma^2} \quad (8)$$

де: $\sqrt{\xi} \approx 0,04x$; $Y = y$; $\gamma = z$.

Висновки. Таким чином досягається цілком задовільна відповідність розрахункових (за методом еквівалентної задачі) і дослідних даних. Інженерний розрахунок турбулентного прямоструминного газового факела може бути приведений до гранично простої форми, зручної для практичного застосування.

В загальному плані, матеріал з дослідження аеродинамічної структури факела є основною для вивчення можливої дії на факел як інтенсифікації горіння, так і його локалізації, гальмування і припинення горіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильяшенко С.М. Теория и расчёт прамоточных камер сгорания / С.М. Ильяшенко, А.В. Талантов. – М. : Машиностроение, 1964.
2. Левченко П.В. Основные закономерности газового факела /П.В. Левченко, Б.П. Катаев // Сталь. – 1952. – №3.
3. Гаусорн В. Смешивание и горение в турбулентных газовых струях / В.Гаусорн, Д. Уиддел, Г.Хотел // Вопросы горения. – М. : Изд-во иностранной л-ры, 1953. – Т. 1.
4. Шебеко Ю.Н. Флегматизация и ингибирование процессов горения: Юбилейный сборник трудов / Ю.Н. Шебеко. – М. : ВНИИПО МВД РФ, 1997. – С. 80-83.
5. Stenard F.R. Pradiction of the Height of Turbulent Diffusion Buoght Flames. Combustion Science and Technology / F.R. Stenard. – 1970. – Vol. 2. – P. 203-212.
6. Гришин В.В. Горение и теплообмен при пожаре на технологических установках / В.В. Гришин, П.С. Попов // Пожарная профилактика : сборник трудов ВНИИПО МВД СССР – М. : 1979. – Вып. 15.
7. Безбородный И.Ф. Современные технологии пожаротушения / И.Ф. Безбородный, В.А. Меркулов, А.Н. Гилетич // Юбилейный сборник трудов. – М. : ВНИИПО МВД РФ, 1997. – С. 346-349.
8. Хотел Г. Диффузия в пламени в ламинарном потоке / Г.Хотел, В.Гаусорн // Вопросы горения. – М. : Изд-во иностранной л-ры, 1953. – Т. 1
9. Воль К. Диффузионные пламена / К.Воль, К.У.Шипмен // Процессы горения. – М. : Физматгис, 1961.
10. Шолфид Д. Структура и устойчивость диффузионных пламен. / Д. Шолфилд, Д.М. Грасайд // Вопросы горения. – М. : Изд-во иностранной л-ры, 1953. – Т. 1.
11. Вулис Л.А. Теория струй вязкой жидкости / Л.А. Вулис, В.П. Кашкаров. – М. : Наука, 1965.
12. Ершин Ш.А. Экспериментальные исследования аэродинамики турбулентного факела при горении однородной смеси. / Ш.А. Ершин // Сборник проблем теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – Алма-Ата : Издательство АН Каз. ССР, 1964. – Вып. I.
13. Палатник И.Б. О распространении свободных турбулентных струй, вытекающих из насадка прямоугольной формы / И.Б.Палатник, Д.Ж. Темирбаев // Сборник проблем теплоэнергетики и прикладной теплофизики. – Алма-Ата : Издательство АН Каз. ССР, 1964. – Вып. I.
14. Ваграменко Я.А. Турбулентные составные струи / Я.А. Ваграменко. – МЖГ , 1971. – № 6. – С. 158-161.

УДК 678.5.046

А.И. Березовский, И.Г. Маладыка, к.т.н., доц., АПБ им. Героев Чернобыля
Н.В. Саенко, к.т.н., Р.А. Быков, к.т.н., ХГТУБА,
Н.А. Бруев, к.т.н., ГУ МЧС Украины в Харьковской области

ОЦЕНКА ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ И ГОРЮЧЕСТИ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ОЛИГОМЕРОВ

Изучена термоокислительная деструкция реакционноспособных олигомеров и горючесть по кислородному индексу. Установлено, что введение наполнителей позволяет существенно уменьшить экзотермический эффект в процессе термоокислительной деструкции, что приводит к снижению показателя горючести модифицированных олигоэфирциклокарбонатных олигомеров.

Ключевые слова: термоокислительная деструкция, антипирен, кислородный индекс, олигомер, энергия активации.

Постановка проблемы. Для снижения уровня шума и вибрации в различных областях техники и народного хозяйства широкое применение находят полимеры и полимерные композиционные материалы, обладающие специфическими динамико-механическими свойствами. Однако, существенным недостатком данного вида материалов является их высокая горючесть.

Анализ последних достижений и публикаций. В ходе литературно-патентных исследований было установлено, что одним из наиболее перспективных путей решения данных проблем, является использование модифицированных эпоксидных материалов.

Постановка задачи и её решение. Целью работы являлось изучение влияния соотношения компонентов олигомерной матрицы и антипирена на термоокислительную деструкцию реакционноспособных олигомеров и горючесть по кислородному индексу.

Изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных результатов. В качестве объектов исследований был выбран олигоэфирциклокарбонатный олигомер (ОЭЦК), модифицированный: эпоскидиановым (ЭД), кремнийсодержащим (КС) и алифатическим хлорсодержащим эпоксидными олигомерами (АХС). Для снижения горючести реакционноспособных олигомеров использовали, в качестве антипирена, наполнитель полиаммонийфосфат (ПАФ). Отверждение проводили отвердителем аминного типа.

Термоокислительную деструкцию реакционноспособных олигомеров изучали с помощью дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (весового) (ТГ) методов анализа. В проведенных исследованиях определяли такие характерные температурные точки, как температура начала разложения ($T_{н.р.}$), скорость разложения в точке перегиба ($\Delta m/\Delta t$), температура максимальной потери массы (T_{max}), а также величину коксового остатка ($M_{кокс.}$). По экспериментальным ТГ и ДТА кривым рассчитывали формальные макроскопические характеристики процессов – значения эффективной энергии активации ($E_{эф}$) [1, 2].

Результаты дериватографических исследований в виде ДТА и ТГ в зависимости от модификации олигоэфирциклокарбонатного олигомера, представлены на рис. 1 и 2:

где кривая 1 – олигоэфирциклокарбонатный олигомер, модифицированный эпоскидиановым олигомером (ОЭЦК+ЭД);

кривая 2 – олигоэфирциклокарбонатный олигомер, модифицированный кремнийсодержащим эпоксидным олигомером (ОЭЦК+КС);

кривая 1а – олигоэфирциклокарбонатный олигомер, модифицированный эпоскидиановым олигомером, наполненный полиаммонийфосфатом (ОЭЦК+ЭД+ПАФ);

кривая 2а – олигоэфирциклокарбонатный олигомер, модифицированный кремнийсодержащим эпоксидным олигомером, наполненный полиаммонийфосфатом (ОЭЦК+КС+ПАФ);

кривая 3 – олигоэфирциклокарбонатный олигомер, модифицированный алифатическим хлорсодержащим эпоксидным олигомером, наполненный полиаммонийфосфатом (ОЭЦК+АХС+ПАФ).

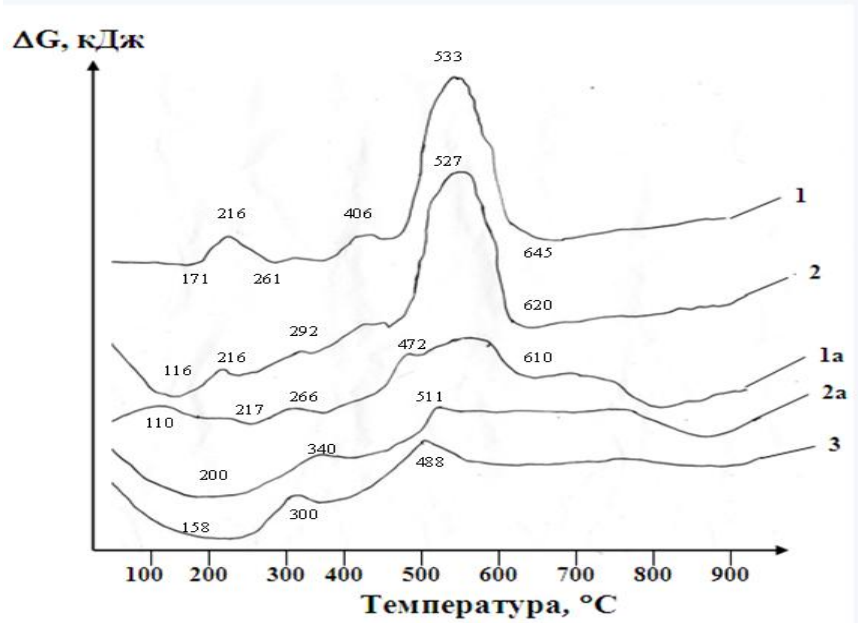


Рисунок 1 – Кривые ДТА в зависимости от модификации олигоэфирциклокарбонатного олигомера: ОЭЦК+ЭД (1), ОЭЦК +КС (2), ОЭЦК +ЭД+ПАФ (1а), ОЭЦК +КС+ПАФ (2а), ОЭЦК +АХС+ПАФ (3)

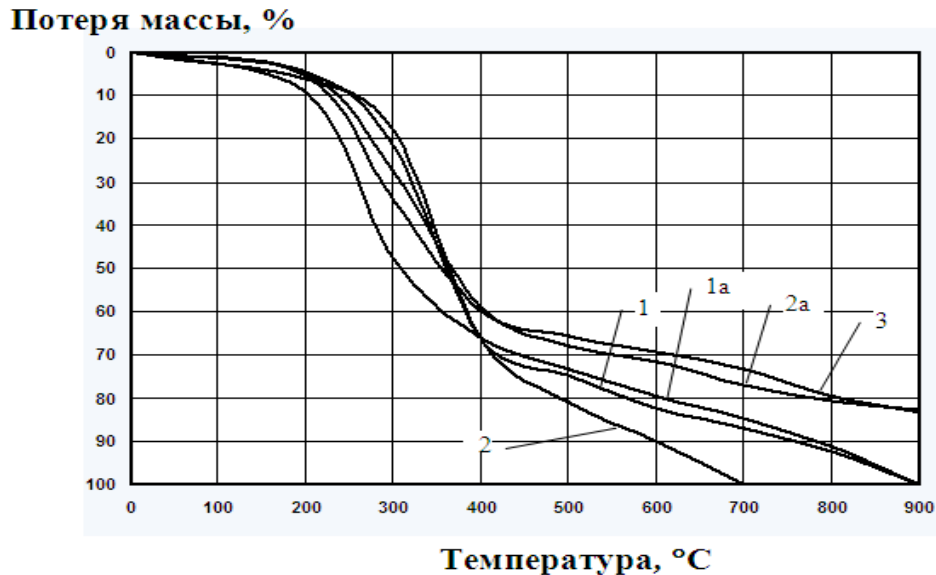


Рисунок 2 – Кривые ТГ в зависимости от модификации олигоэфирциклокарбонатного олигомера: ОЭЦК+ЭД (1), ОЭЦК +КС (2), ОЭЦК +ЭД+ПАФ (1а), ОЭЦК +КС+ПАФ (2а), ОЭЦК +АХС+ПАФ (3)

Температурно-массовые характеристики и рассчитанные эффективные кинетические параметры процессов представлены в таблице.

Таблица 1 – Температурно-массовые характеристики и эффективные кинетические параметры процессов термической и термоокислительной деструкции полимеров

Характеристики процесса	Стадия процесса	Состав композиции				
		ОЭЦК +ЭД	ОЭЦК +КС	с наполнителем ПАФ		
				ОЭЦК +ЭД	ОЭЦК +КС	ОЭЦК +АХС
Температурный интервал, °С	I	20-400				
T _{н.р.} , °С		205	210	200	185	210
T _{max} , °С		216	216	227	250	261
Δm/Δt, мг/мин		0,90	1,57	2,48	2,25	4,05
E _{эф} , кДж/моль		29,20	69,03	64,69	94,71	142,57
M _{кокс} , % при T=600 °С		17,65	10,00	20,35	28,45	30,70
Температурный интервал, °С	II	400-900				
T _{max} , °С		533	527	472	511	488
Δm/Δt, мг/мин		0,80	1,90	0,56	0,90	0,90
E _{эф} , кДж/моль		60,47	95,33	31,85	170,08	71,51
M _{кокс} , % при T=800 °С		12,88	–	14,50	19,45	20,50

Из представленных данных рис. 1 видно, что деструкция исследуемых ненаполненных олигомеров (кр.1 и кр.2) происходит в две стадии. Первая стадия (20-400 °С) соответствует интенсивному разложению полимера и связана в основном с термическими превращениями в полимерной цепи, сопровождается она небольшими экзотермическими эффектами. Невысокое тепловыделение указывает на то, что в этом температурном интервале протекают преимущественно термические процессы и их связывают обычно с гомо- и гетеролитическим разрывом наименее слабых связей и дегидратацией. Потеря массы на этой стадии достигает 21,6 % для кр.1 и 18 % для кр. 2. Введение в полимерную матрицу кремнийсодержащего эпоксидного олигомера (вместо эпоксидианового) увеличивает эффективную энергию активации E_{эф} в 2,3 раза и в 1,7 раза скорость разложения (Δm/Δt).

Вторая стадия (400-900 °С) – это термоокислительные процессы. Процессы, происходящие на этой стадии, можно отнести преимущественно к термоокислительному разложению карбонизованного каркаса полимерной композиции. На кривых ДТА для ненаполненных композиций в области температур 400-650°С имеются ярко выраженные экзотермические пики, свидетельствующие об окислительном характере процесса разложения полимера. На этой стадии выход коксового остатка составляет 12,88 % при скорости потери массы 0,8 мг/мин для олигоэфирциклокарбонатного олигомера, модифицированного эпоксидиановым (ОЭЦК+ЭД), E_{эф} составляет 60,47 кДж/моль. Введение в полимерную матрицу кремнийсодержащего эпоксидного олигомера (ОЭЦК+КС) приводит к смещению экзотермического пика с сторону меньших температур, что свидетельствует о начале термоокислительной деструкции на 10-15°С раньше, чем в системе олигомеров ОЭЦК+ЭД. Также приводит к увеличению скорости потери массы до 1,90 мг/мин и потере всей массы образца при увеличении энергии активации

Химико-минералогический состав, кислотно-основные поверхностные свойства наполнителя в значительной мере изменяют ход, как термической, так и термоокислительной стадий деструкции исследуемых композиций.

Из приведенной таблицы видно, что введение наполнителя ПАФ практически не оказывает влияние на температуру начала разложения полимера, кроме

олигоэфирциклокарбонатного олигомера, модифицированного кремнийсодержащим эпоксидным олигомером (ОЭЦК+КС) (кр. 2а), что приводит к смещению экзотермического пика в область меньших температур.

При введении наполнителя в полимерную матрицу на I стадии увеличивается скорость потери массы в 2 раза, увеличивается эффективная энергия активации $E_{эф}$: в 2,2 раза для олигоэфирциклокарбонатного олигомера, модифицированного эпоксидиановым олигомером (ОЭЦК+ЭД) и в 1,4 раза для олигоэфирциклокарбонатного олигомера, модифицированного кремнийсодержащим эпоксидным олигомером (ОЭЦК+КС).

На второй стадии процесса разложения введение в полимерную матрицу ОЭЦК+ЭД наполнителя приводит к снижению температуры максимальной потери массы на 39 °С по сравнению с другими системами. Энергия активации на второй стадии процесса наполненных композиций понижается почти в 2 раза для системы олигомеров ОЭЦК+ЭД (кр. 1а) и повышается в 2 раза для ОЭЦК +КС (кр.2а). Для всех систем наблюдается снижение скорости потери массы по сравнению с I стадией процесса и снижение начала термоокислительной деструкции. Это видимо, связано с тем, что ПАФ начинает разлагаться при невысоких температурах с образованием коксового теплоизоляционного слоя, который препятствует дальнейшему разложению. Для сравнительного анализа полученных данных и с практической точки зрения применения олигоэфирциклокарбонатный олигомер модифицировали алифатическим хлорсодержащим эпоксидным олигомером и наполнителем ПАФ (ОЭЦК+АХС+ПАФ, кр. 3). Такая система олигомеров на I стадии увеличивает скорость потери массы ($\Delta m/\Delta t$), энергию активации $E_{эф}$ почти 2 раза по сравнению с другими наполненными системами и увеличивает выход коксового остатка.

На основе проведенных исследований термоокислительной деструкции олигоэфирциклокарбонатного олигомера, модифицированного кремнийсодержащим олигомером (ОЭЦК+КС (кр.2)), можно сделать следующие выводы, что эта система характеризуется более высокой скоростью разложения ($\Delta m/\Delta t$), что приводит к потере массы всего образца и увеличению эффективной энергии активации $E_{эф}$ в 2,3 раза по сравнению с олигомером, модифицированным эпоксидиановым олигомером (ОЭЦК+ЭД, кр. 1).

Введение наполнителей позволяет существенно уменьшить экзотермический эффект в процессе термоокислительной деструкции, что приводит к снижению горючести модифицированных наполненных олигоэфирциклокарбонатных олигомеров.

Оценку горючести наполненных эпоксидных полимеров проводили по величине кислородного индекса (КИ) [3].

На рис. 3 представлена зависимость влияния количественного содержания модификаторов на величину КИ.

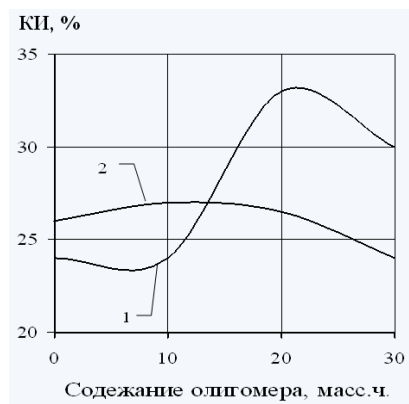


Рисунок 3 – Изменение кислородного индекса от содержания олигомера: ОЭЦК+ЭД+ПАФ (1); ОЭЦК+КС+ПАФ (2)

Как видно из рис. 3, наибольшее значение КИ=33% достигается при содержании олигомерной части 22 масс.ч в системе, модифицированной эпоксидиановым олигомером. Дальнейшее увеличение модификатора приводит к снижению КИ. Существенного повышения КИ для системы, модифицированной кремнийсодержащим олигомером, не происходит, а при содержании олигомера более 20 масс.ч, наоборот, приводит к повышению горючести.

Проведенные исследования позволяют перевести разработанные олигоэфирциклокарбонатные олигомеры, модифицированные эпоксидиановым олигомером и наполнителем полиаммонийфосфатом, в группу трудногорючих веществ (КИ=33%).

Выводы. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что введение наполнителей позволяет существенно уменьшить экзотермический эффект в процессе термоокислительной деструкции, и снизить показатель горючести модифицированных олигоэфирциклокарбонатных олигомеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Paulik F. Derivatography. A complex method in thermal analysis / K. Paulik, L. Edrey. – Jalanta, 1966. – vol. 13, № 10 – pp. 1405 – 1430.
2. Скляр М.Г. Исследование кинетики термического разложения углей / М.Г.Скляр, В.И.Шустиков, И.В.Вирозуб //Химия твердого топлива. – 1986. – №3. – С. 2 – 32.
3. Оценка горючести полимеров по кислородному индексу / [Асеева Р.М., Рубан Л.В., Серков Б.Б. и др.] // Пластические массы. – 1983. – №4. – С. 34-37.

УДК 658.382.3: 614.841

В.І.Биков, д.т.н., проф., В.Л.Цікановський,
Черкаський державний технологічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВХІДНОГО ІМПЕДАНСУ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК ОПЕРАТОРА ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ВОГНЕГАСНИКІВ

Представлено експериментальний стенд, який дозволяє досліджувати вхідний імпеданс верхніх кінцівок оператора під час дії навантажень, аналогічних тим, що виникають при застосуванні імппульсних вогнегасників.

Ключові слова: імппульсний вогнегасник, імппульс віддачі, вхідний імпеданс.

Постановка проблеми. Одним з головних недоліків існуючих переносних імппульсних вогнегасників є великий імппульс віддачі, який встановлює обмеження на максимальну вагу вогнегасної речовини, що викидається («IFEX», «Гайфун» – 1кг води), її початкову швидкість, дальність розпилення, вогнегасну ефективність, вагу пристрою в цілому. Тому виникла необхідність дослідження питань, пов'язаних з методами гасіння енергії віддачі, що виникає при розпиленні вогнегасних речовин переносними імппульсними системами. Рятувальників, що застосовують переносні імппульсні вогнегасники, з певними уточненнями можна прирівняти до операторів ручних пристроїв ударного типу. Тому ми маємо можливість дослідити вже накопичений досвід з захисту операторів ручних пристроїв ударного типу.

Вирішуючи проблеми вібраційного захисту оператора під час застосування імппульсних вогнегасників, необхідно враховувати динаміку системи оператор – ручний пристрій – середовище, що впливає. Механічна взаємодія рук людини-оператора з ручним пристроєм залежить від індивідуальних особливостей людини, сил, що розвиваються м'язами рук і всього тіла, пози оператора, просторової конфігурації рук під час роботи, фізичного і психічного стану оператора, реалізації його вольових рішень, форми і розташування рукояток пристрою, умов зовнішнього середовища.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Ряд моделей руки оператора, що пропонувалися, зводилися до варіантів порівняно нескладних детермінованих лінійних систем з постійними параметрами і малим числом ступенів свободи [1]. Це давало підставу характеризувати руки оператора імпедансом, залежним від частоти вібрації і деяких величин, для визначення яких використовувалася відповідна методика ідентифікації.

При числі ступенів свободи моделі більшому двох, імпеданс виражається досить складною залежністю від частоти і параметрів моделі, які ще більш ускладнюються із збільшенням числа пружин, демпферів і інерційних елементів в моделі. Проведені експерименти не дають достовірного значення параметрів і достатньої упевненості в допустимості прийнятої моделі. Доводиться констатувати значне розходження експериментальних даних і суперечливі висновки.

У роботі [2] викладені результати дослідження і імітації імпедансу руки клепальника при паспортному режимі роботи клепального молотка. Використовувалася розроблена установка для прямого вимірювання модуля і аргументу імпедансу руки за різних умов натиснення і обхвату, різних кутів згину ліктя і кисті. Різними були вік, стаж роботи і фізіологічні характеристики випробовуваних. Виявилось, що модуль і аргумент імпедансу мали складну частотну залежність з чітко вираженим резонансом у проміжку від 35 до 60 Гц і помітним антирезонансом у проміжку від 6 до 11 Гц. На форму частотної залежності значний вплив здійснювали сила натиснення, сила обхвату, кути згину ліктьового і кистьового суглобів, форма і спосіб утримання рукояті. Була вибрана одновимірною моделлю у

вигляді одного інерційного елемента, двох пружин і двох демпферів. Підбір коефіцієнтів проведений за даними статистичної обробки результатів експериментів. На підставі моделі був розроблений імітатор імпедансу в діапазоні частот від 5 до 200 Гц.

У роботі [3, с. 148-150] вказано, що при 63 Гц був встановлений невеликий резонанс (6 дБ по амплітуді), не пов'язаний з властивостями руки, а викликаний кутовою вібрацією рукояті на віброзбуджувачі без руки людини. Резонансна частота залежала від моменту інерції рукояті і могла бути зміщена в ту або іншу сторону. Якщо виключити цей резонанс, то рука поводитися як пружний полімер.

У роботі [4, с. 91-94] визначено, що на імпеданс істотно впливає поза оператора. У запропонованій моделі плече і передпліччя – стрижні певної довжини і маси, плечовий і ліктьовий суглоби – шарніри, тіло людини – нерухома опора, м'язи, що рухають плече, згинаючи лікоть і долоню – пружини з деякою жорсткістю. Враховані кути згину суглобів. Отриманий імпеданс був суто уявним. Якщо в системі були втрати, то вводили комплексну частоту.

У [4, с. 95-99] відзначено, що імпеданс руки був дуже чутливий до змін кутів згину ліктя і кисті.

Постановка задачі та її розв'язання. Для оптимізації системи гасіння віддачі необхідно розробити експериментальний стенд, який дозволить дослідити вхідний імпеданс людини в умовах, які максимально наближені до реальних умов застосування потужних імпульсних вогнегасників, а також дозволить більш об'єктивно оцінювати ефективність систем гасіння віддачі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Результати досліджень у вищенаведених роботах показують недостатнє оволодіння даною проблемою. У цій ситуації виникає необхідність в експериментальних дослідженнях, які в умовах максимально наближених до реальних умов застосування потужних імпульсних вогнегасників дозволять більш точно визначити залежність механічного імпедансу системи «кисть-рука» від різноманітних факторів.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Розроблено експериментальний стенд, який дозволить дослідити вхідний імпеданс оператора. В процесі вимірювань механічного імпедансу системи «кисть-рука» будуть зберігатись задані положення тіла, способи і сила охопту пристрою, значення і напрямлення управляючих зусиль, у відповідності з умовами реального процесу. В перспективі стенд дозволить оцінювати ефективність систем гасіння віддачі з урахуванням вхідного імпедансу людини. (Рис. 1).

Експериментальний стенд може використовуватись в чотирьох основних режимах:

Перший режим. Режим калібрування акселерометрів і вимірювального обладнання без участі оператора, а трос (9) і газова пружина (14) від'єднанні від макету вогнегасника. В першому режимі балістичний маятник (2) відхиляється на заданий кут, відпускається і наносить удар з заданими параметрами по макету вогнегасника (6), який вільно розташовується на підвісах (8). Швидкості руху та кути відхилення молота (2) і ковадла (6) фіксує відеокамера (1), що дозволяє розрахувати параметри удару і співставити з показниками віброметра (10) та осцилографа (11).

Другий режим. Режим калібрування газових пружин без участі оператора. В другому режимі кожна встановлена газова пружина (14) зводиться до заданого положення і фіксується, при цьому тиск в газовій пружині контролюється манометром (13), а макет вогнегасника (6) вільно розташовується на підвісах (8). Газова пружина (14) відтворює імпульс з заданими параметрами, який через трос (9) передається макету вогнегасника (6). Швидкість руху та кут відхилення ковадла (6) фіксує відеокамера (1), що дозволяє розрахувати параметри удару і співставити з показниками віброметра та осцилографа.

Третій режим. Режим вимірювання параметрів вхідного механічного імпедансу системи «кисть-рука» піддослідних операторів. Коли кожна з встановлених газових пружин (14) зводиться до заданого положення і фіксується, при цьому тиск контролюється манометром (13), а макет вогнегасника (6) утримується верхніми кінцівками оператора в заданих положеннях (під різними кутами). Потім газова пружина (14) відтворює імпульс з заданими параметрами, який через трос (9) передається макету вогнегасника (6). Положення рук і швидкість їх руху фіксують відеокамери (1), що дозволяє встановити взаємозв'язок між параметрами удару, реакцією рук оператора і показниками віброметра та осцилографа.

Четвертий режим. Режим вимірювання ефективності системи гасіння віддачі з урахуванням вхідного механічного імпедансу системи «кисть-рука» піддослідних операторів. Вогнегасник попередньо зважується і на його рукоятках закріплюються акселерометри. Далі стенд працює в третьому режимі з однією різницею - трос (9) під'єднується до вузла вогнегасника, який в реальній ситуації повинен метати вогнегасну речовину. Положення рук і швидкість їх руху фіксують відеокамери (1), що дозволяє встановити взаємозв'язок між параметрами удару, реакцією рук оператора і показниками віброметра та осцилографа.

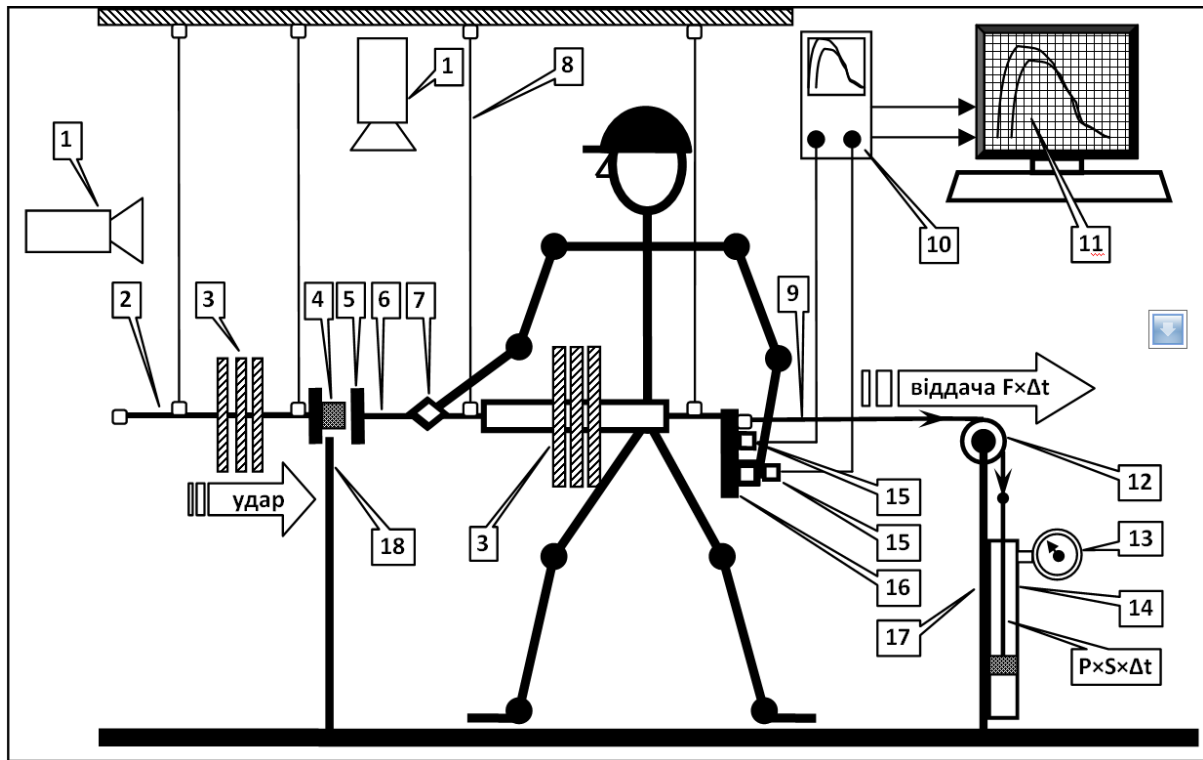


Рисунок 1 – Схема експериментального стенду:

1-відеокамера; 2-балістичний маятник (молот-відтворює удар); 3-баласт (диски масою 0,5 та 1кг); 4-ударник (змінний); 5-диск для передачі ударних навантажень; 6-балістичний маятник (ковадло-макет вогнегасника); 7-рукоятка вогнегасника; 8-підвіси молота і ковадла; 9-трос; 10-віброметр; 11-комп'ютер-осцилограф; 12-блок; 13-манометр тиску; 14-газова пружина (відтворює імпульс віддачі); 15-акселерометр; 16-рукоятка вогнегасника; 17-стійка; 18-обмежувач руху молота.

Для розшифровки законів прискорень, записаних за допомогою п'єзоелектричних датчиків і вимірювальної апаратури, датчики були протаріровані, а вимірювальна апаратура прокалібрована. Для ударного тарірування п'єзодатчиків було використано балістичний маятник. При таріруванні датчиків використовувалось співвідношення [5,6]:

$$m_2(\Delta v_2)_\tau = \int_0^\tau P dt, \quad (1)$$

де $(\Delta v_2)_\tau$ - приріст швидкості ковадла до моменту часу τ (при цьому відносна швидкість зближення молота і ковадла звертається в нуль).

Як було показано, для балістичного маятника:

$$(\Delta v_2)_\tau = \frac{v_0}{1 + \xi}, \quad (2)$$

де $\xi = \frac{m_2}{m_1}$ - відношення мас ковадла m_2 і молота m_1 .

Введемо позначення:

$$\left. \begin{aligned} P &= \mu_P y; \\ t &= \mu_t x, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де μ_P та μ_t - масштаби по контактній силі і часу відповідно;
 y і x – ордината і абсциса під кривою.

Підставляючи дані рівнянь (2) і (3) в рівняння (1), отримаємо:

$$\frac{m_2 v_0}{1 + \xi} = \mu_P \mu_t \int_0^{x_{\max}} y dx = \mu_P \mu_t S_\tau, \quad (4)$$

де $S_\tau = \int_0^{x_{\max}} y dx$ - площа під кривою до максимуму.

Таким чином, з рівняння (4) можна визначити масштаб по силі:

$$\mu_P = \frac{m_2 v_0}{(1 + \xi) \mu_t S_\tau}. \quad (5)$$

Поділивши почленно рівняння (5) на вагу ковадла $q_2 = m_2 g$, отримаємо масштаб по перевантаженню:

$$\mu_k = \frac{v_0}{(1 + \xi) g \mu_t S_\tau}. \quad (6)$$

Початкова швидкість v_0 з точністю до 2-3 % визначається за формулою:

$$v_0 = 2 \sin \frac{\varphi_0}{2} \sqrt{gL}, \quad (7)$$

де φ_0 – кут початкового відхилення молота;

L – довжина підвіски молота.

Знаючи масштаб по силі (або перевантаженню), визначаємо чутливість датчика.

Для визначення динамічних характеристик тіла людини залучали чоловіків вагою 70 ± 10 кг і розділили їх по віковим групам: 18-20, 20-29, 29-39, 39-45 років.

При вимірюванні спектрів і коректованого по частоті значення параметрів вібрації, якщо різниця вимірюваних значень перевищує 3дБ (в 1,5рази), проводилось два додаткових вимірювання. По різниці між максимальним і мінімальним рівнями за п'ять вимірювань визначали коефіцієнт «К» з допустимою імовірністю 0,95, по найближчому більшому до вирахованого значення «К» знаходили необхідну кількість вимірювань. У випадку необхідності проводили додаткові вимірювання, розраховували «К» до тих пір, поки розрахований коефіцієнт «К» не буде менше табличного.

Для визначення комплексної частотної характеристики піддослідного під впливом випадкових стаціонарних імпульсів реєструємо реалізації випадкових процесів віброшвидкості (віброприскорення) на вході і на виході об'єкта.

Модуль динамічної характеристики кожного піддослідного під впливом випадкових стаціонарних імпульсів для вхідного імпедансу розраховуємо по залежності:

$$|Z_{BX}(j\omega)| = \frac{\tilde{S}_{F_1 F_1}(\omega)}{\tilde{S}_{V_1 V_1}(\omega)}, \quad (8)$$

де $\tilde{S}_{V_1 V_1}(\omega)$ - оцінка спектральної щільності віброшвидкості на вході при частоті (ω) , $\text{м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{Гц}$;

$\tilde{S}_{F_1 F_1}(\omega)$ - оцінка спектральної щільності сили на вході при частоті (ω) , $\text{Н}^2/\text{Гц}$.



Рисунок 2 – Значення модулю вільного механічного імпедансу системи «кисть-рука» у точці збудження за напрямком z_h , на центральних частотах третьоктавних смуг

На рисунку 2 наведено результати першого циклу експериментів з наступними вхідними даними: маса оператора – 76,8 кг, вік оператора – 34 роки, початковий кут між передпліччям та плечем лівої руки – 110 град, початковий кут між передпліччям та плечем правої руки – 90 град, початкова сила охопту лівої рукоятки – 180Н, початкова сила охопту правої рукоятки – 40Н, маса моделі вогнегасника – 16 кг, кут вісі вогнегасника відносно горизонталі – 0 град, хід газової пружини – 100мм, початковий тиск в газовій пружині – 2,55МПа.

Висновки. В роботі наведено розроблений авторами експериментальний стенд, який працює в чотирьох режимах, це дозволяє калібрування акселерометрів, вимірювального обладнання, газових пружин і дозволяє дослідити вхідний механічний імпеданс людини в умовах, які максимально наближені до реальних умов застосування потужних імпульсних вогнегасників. В процесі вимірювань механічного імпедансу системи «кисть-рука» будуть зберігатись положення тіла, способи і сила охопту пристрою, значення і напрямлення управляючих зусиль, у відповідності з умовами реального процесу.

На рисунку 2 наведено перші результати експериментів - значення модулю вільного механічного імпедансу системи «кисть-рука» у точці збудження за напрямком z_h , на центральних частотах третьоктавних смуг. Дослідження показують, що верхні кінцівки людини спільно зі всім її тілом є достатньо складною нелінійною системою з розподіленими параметрами, що містить внутрішні джерела енергії. Параметри цієї

системи істотно змінюються у однієї і тієї ж людини залежно від багатьох чинників, частина яких має випадковий характер.

Перспективи подальших досліджень.

В перспективі стенд планується удосконалити, тобто зробити чотири вимірювальних канали для того, щоб отримувати одночасно сигнали з обох рукояток вогнегасника. Також планується встановити два вимірювальних канали для тензодатчиків в кожній рукоятці вогнегасника, що дозволить отримувати динаміку зміни сил охопту рукояток вогнегасника.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Быховский И.И. Основы конструирования виброопасных ручных машин / И.И. Быховский, Б.Г. Гольдштейн – М. : Машиностроение, 1982. – 224 с.
2. Пути снижения вибрации и шума ручных машин // Тезисы докладов научно-технической конференции. Москва-Даугавпилс, сентябрь 1973 г. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1973. –108 с.
3. Основные направления повышения технического уровня механизированного инструмента (ручных машин) : тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Даугавпилс, сентябрь 1976 г. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. – 162 с.
4. Влияние вибраций на организм человека и проблемы виброзащиты : тезисы докладов. Москва-Левково, 4 февраля 1974 г. – М. : Наука, 1974. – 848 с.
5. Инженерные методы исследования ударных процессов / [Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.А.]. – М.: Машиностроение, 1969. – 251 с.
6. Ивович В.А. Защита от вибрации в машиностроении / В.А.Ивович, В.Я.Онищенко. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

УДК 536.241.46

В.А. Ващенко, д.т.н., проф., ЧГТУ, П.И. Заика, к.т.н., доц., О.В.Кириченко, к.т.н., доц.,
С.В. Щепак, А.Д. Блащук, АПБ им. Героев Чернобыля

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЧАСТИЦ МАГНИЯ В ЗОНУ ПЛАМЕНИ ПРИ ГОРЕНИИ НИТРАТНО-МАГНИЕВЫХ СИСТЕМ

Рассмотрен физический механизм влияния небольших угловых скоростей осесимметричного вращения ($\omega \leq 10000$ об/мин) на процесс горения конденсированных нитратно-магниевых систем. Проведен анализ экспериментальных исследований действия на частицы магния силы лобового сопротивления, подъемной и центробежной сил.

Ключевые слова: угловые скорости осесимметричного вращения, нитратно-магниева система, сила лобового сопротивления, подъемная сила, центробежная сила, интенсивность диспергирования.

Постановка проблемы. Рассматривается физический смысл влияния небольших угловых скоростей осесимметричного вращения ($\omega \leq 10000$ об/мин) на процесс горения смеси $Mg + NaNO_3$. При указанных значениях ω , как показывают проведенные экспериментальные исследования, не происходит нарушения прочности образца и практически отсутствует растекание системы (тонкий приповерхностный слой) к стенкам металлической оболочки.

Постановка задачи и её решение. При горении нитратно-магниевых систем в условиях небольших угловых скоростей осесимметричного вращения большое значение приобретает рассмотрение поведения частиц Mg в газифицирующемся слое системы, прилегающим к поверхности горения, откуда происходит унос частиц металла в зону пламени и к стенкам металлического корпуса. Для этого проводится сравнительная оценка факторов, обуславливающих унос частиц Mg (диспергирование) из газифицирующегося слоя поверхности горения.

Рассматриваются следующие основные силы, действующие на частицы металла и обуславливающие их диспергирование:

1. Сила лобового сопротивления, возникающая при обтекании частицы металла газообразными продуктами термического разложения $Mg + NaNO_3$ (газовая смесь $O_2 + N_2$), направленными от поверхности горения, нормально к ней.
2. Подъемная сила, возникающая при вращении частицы в газовом потоке.
3. Центробежная сила от нутационного движения объекта.

Проведённой оценкой ускорения частицы под воздействием каждой из этих сил определяется вклад каждой из сил в процессе диспергирования частиц Mg с поверхности горения.

Ускорение, создаваемое силой лобового сопротивления при обтекании частиц Mg газовым потоком определяется как

$$\frac{dV}{dt} = \frac{3}{8} \cdot \frac{\rho_r}{\rho_M} \cdot \frac{C_x}{r_u} \cdot V^2, \quad (1)$$

где ρ_r и ρ_M – соответственно плотности газа и магния;
 r_u – средний эквивалентный радиус частицы (радиус Соттера для случая сферы радиусом $r \equiv r_u$);

V – относительная скорость газа при обтекании частицы;

C_x – коэффициент лобового сопротивления частицы Mg (установлено, что для значений критерия Рейнольдса $Re < 10^3$ ($Re = d_u \cdot V / \gamma_r$, d_u - средний эквивалентный диаметр частицы);

γ_r – коэффициент кинематической вязкости газа (значения C_x для горящих и негорящих частиц Mg совпадают).

Экспериментальные исследования скорости оттока газообразных продуктов разложения показывают, что скорость их относительного движения вблизи поверхности горения составляет 0,1...10 м/с, что дает диапазон изменения числа Рейнольдса $0,04 < Re < 850$, а зависимость $C_x = f(Re)$ хорошо аппроксимируется формулой (погрешность 1...2%):

$$C_x = \pi \cdot (0,128 + 12,8 \cdot Re^{-1}) \quad (2)$$

Проведена оценка ускорения подъемной силы, действующей на вращающуюся частицу. После того, как частица Mg утрачивает связь со своим основанием, она начинает под действием центробежных сил перемещаться вдоль поверхности горения. При этом в зависимости от формы частицы ее перемещение может осуществляться как скольжением, так и перекачиванием. Однако, вследствие непрерывного воздействия опрокидывающего момента при столкновении частицы с неровностями поверхности (постоянно действующая центробежная сила) наиболее характерной формой движения является перекачивание с возможными отрывами от поверхности при упругих соударениях с неровностями, т.е. вращательные движения частицы. При движении вращающейся частицы в газовом потоке возникает подъемная сила, стремящаяся выбросить частицу с поверхности горения в зону пламени.

В настоящее время нет строгих зависимостей для определения указанной силы, оценить ее значение можно приближенно, исходя из известной формулы Жуковского для подъемной силы, возникающей при обтекании сферы:

$$F_n = 4 \cdot \pi \cdot r_u^3 \cdot \rho_m \cdot V_u \cdot \omega_u, \quad (3)$$

где F_n - скорость поступательного перемещения частицы, равная окружной скорости вращения для места уноса частицы в зону пламени;

ω_u - угловая скорость вращения частицы, которая определяется как

$$\omega_u = \frac{R}{r_u} \cdot \omega, \quad (4)$$

где R - радиус места уноса частицы в зону пламени;

ω - угловая скорость вращения образца.

Тогда ускорение подъемной силы имеет вид:

$$g_n = \frac{F_n}{m_M} = 3 \cdot \frac{\rho_{\text{он}}}{\rho_M} \cdot V_u \cdot \omega_u. \quad (5)$$

Унос частицы Mg с поверхности горения в зону пламени может осуществляться также центробежными силами, появляющимися при нутации изделия, содержащего горящий образец. Максимальное ускорение, действующее на частицу Mg при нутации, определяется как:

$$g_{H \max} = l \cdot \beta^2 \cdot \delta_{\max}^2, \quad (6)$$

где l - расстояние от поверхности горения до центра тяжести изделия; δ_{\max} - максимальный угол нутации; $\beta = C\omega/2A$ (C - полярный момент инерции изделия, A - эквивалентный момент инерции, ω - угловая скорость вращения изделия).

Таким образом, при небольших значениях ($\omega \leq 10000$ об/мин) основными силами, определяющими интенсивность диспергирования частиц Mg в зону пламени является сила лобового сопротивления (F_c), возникающая при обтекании частиц металла газообразными продуктами термического разложения NaN_3 и подъемная сила (F_n), возникающая при локальных вращениях частицы Mg при ее перемещении вдоль поверхности горения под действием центробежных сил; при этом величина силы F_n резко возрастает при удалении от оси вращения и на расстоянии 5...10 мм уже превосходит величину силы F_c более, чем на 2 порядка. Это приводит к тому, что при вращении количество диспергированных частиц Mg (особенно при приближении к металлической оболочке системы) значительно возрастает. Указанное диспергирование частиц Mg приводит к уносу в зону пламени части массы системы и к увеличению концентрации частиц Mg вдоль радиуса к стенке оболочки. Увеличению числа частиц Mg вдоль радиуса заряда системы способствуют также центробежные силы, которые действуют на диспергированные частицы Mg вблизи поверхности горения.

Вывод. В результате проведенных исследований процесса горения нитратно-магниевых систем при небольших угловых скоростях осесимметричного вращения установлено, что каждая окисляющаяся или горящая частица Mg остается на поверхности горения и вблизи нее более длительное время. Благодаря этому увеличивается количество тепла, которое она передает в исходную систему, что приводит, в конечном итоге, к увеличению скорости ее горения. Возникающий градиент плотности частиц в радиальном направлении (имеет место существенное увеличение концентрации реагирующих частиц Mg от центра к оболочке) приводит к возрастанию теплового потока из зоны пламени в исходную систему и поверхность горения приобретает выпуклую форму, при этом на боковых стенках оболочки заряда системы в результате действия указанных сил накапливаются конденсированные продукты сгорания, количество которых увеличивается с ростом ω и содержанием Mg в системе.

Перспективы последующих исследований.

В Украине не в полной мере проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния небольших угловых скоростей осесимметричного вращения изделий пиротехнического назначения на процесс горения нитратно-магниевых систем. Целью последующих исследований является рассмотрение влияния на процесс горения нитратно-магниевых систем встречного обдува потоком воздуха и внешнего давления.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ващенко В.А. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / В.А. Ващенко, Н.А. Силин, Л.Я. Кашпоров. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Ващенко В.А. Проектування оптимальних технологічних режимів взаємодії хвилі горіння з металізованими конденсованими системами / В.А. Ващенко // Вісник АІНУ. – 1995. – № 2. – С. 12-18.
3. Залежність швидкості горіння конденсованих систем магній+нітрат натрію від кутової швидкості обертання / [Ващенко В.А., Заїка П.І., Стащенко С.І., Кикоть Ю.І.] // Праці IV міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека-99»: науковий збірник. – Черкаси: ЧПБ, 1999. – Ч. 1. – С. 178-180.

УДК 533.6.011.6:614.628

А.Г.Виноградов, к.ф.-м.н., доц.,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

РОЗРАХУНОК ТРАЄКТОРІЙ ВОДЯНИХ КРАПЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ РЕАЛЬНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ АЕРОДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА

Представлено математичну модель руху сферичної краплі води в повітряному середовищі. Розглянуто випадки постійного аеродинамічного коефіцієнта та його експериментально визначеної залежності від числа Рейнольдса, заданої за допомогою апроксимуючої функції. На основі отриманих розрахункових формул виконані порівняльні чисельні розрахунки і побудовані графічні залежності для обох випадків.

Ключові слова: траєкторії крапель, аеродинамічний коефіцієнт, теоретичний розрахунок.

Постановка проблеми. Теоретичний аналіз процесу формування розпиленого водяного струменя є актуальною науковою проблемою в зв'язку з широким застосуванням розпиленої води у практичній діяльності пожежної охорони для гасіння пожеж та теплового екранування. Представлені в даній роботі дослідження виконуються з метою побудови загальної математичної моделі розпилених водяних струменів.

Виконані в попередніх роботах розрахунки траєкторних параметрів руху сферичних крапель води в повітрі [1–3] використовували найбільш просте наближення сталого аеродинамічного коефіцієнта. Це наближення дозволило спростити математичні рівняння й отримати в аналітичній формі співвідношення для розрахунків траєкторій та швидкостей руху сферичних крапель. За допомогою цих рівнянь були також отримані розрахункові формули для дослідження просторового розподілу концентрації крапель водяних завіс [4–6]. Однак використане в цих роботах наближення сталого аеродинамічного коефіцієнта є досить грубим, а тому воно може стати причиною значних похибок при використанні відповідних рівнянь для практичних розрахунків. Тому необхідно проаналізувати питання щодо умов, за яких використання даного наближення є виправданим.

Із експериментальних досліджень відомо, що аеродинамічний коефіцієнт C для тіл сферичної форми має складну залежність від числа Рейнольдса Re (див., наприклад, [7, 8]). Її аналіз дозволяє зробити висновок, що C можна вважати приблизно сталим лише для $Re > 500$. Однак елементарний розрахунок свідчить, що для крапель пожежних розпилених струменів для більшої частини їх траєкторій $Re < 500$. Отже, застосування вказаного наближення під час розрахунків траєкторій крапель повинно призводити до значних похибок, величина яких має зростати при зменшенні числа Рейнольдса (тобто при зменшенні розмірів крапель та при сповільненні їх руху).

Постановка завдання. В даній роботі поставлена задача виконати два альтернативних розрахунки траєкторій сферичних крапель та залежностей швидкості краплі від просторової координати для наступних теоретичних моделей: 1) модель сталого аеродинамічного коефіцієнта; 2) врахування реальної залежності аеродинамічного коефіцієнта від числа Рейнольдса за допомогою відповідної функції апроксимації. Порівняння результатів цих розрахунків допоможе правильно зробити висновок щодо доцільності застосування моделі сталого аеродинамічного коефіцієнта в тих чи інших випадках.

Математичне моделювання

Розглянемо більш детально залежність аеродинамічного коефіцієнта від числа Рейнольдса та обчислимо типові значення числа Рейнольдса для об'єкту дослідження

(крапель із розпилених водяних струменів, які використовуються під час гасіння пожеж). Число Рейнольдса рухомої сферичної краплі визначається наступною формулою:

$$Re = \frac{\rho_n \cdot v \cdot d}{\mu}, \quad (1)$$

де ρ_n – густина повітря, v – швидкість краплі, d – її діаметр, μ – динамічна в'язкість повітря.

При атмосферному тиску і при температурі 30–50°C для повітря $\mu \approx 20$ мкПа·с, $\rho_n \approx 1,2$ кг/м³. В результаті розрахунку за формулою (1) отримаємо: для $d = 1$ мм $Re \approx 60 \cdot v$; для $d = 0,1$ мм $Re \approx 6 \cdot v$. Отже, при початковій швидкості $v_0 = 30$ м/с для початкової ділянки траєкторії $Re \approx 1800$ (при $d = 1$ мм) і $Re \approx 180$ (при $d = 0,1$ мм). Для середини і кінця траєкторії швидкість краплі внаслідок її гальмування є значно меншою, а тому й число Re є меншим від вказаних значень.

Згідно з даними експериментальних досліджень [7], отримані наступні значення аеродинамічного коефіцієнта сферичного тіла в залежності від числа Рейнольдса (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення аеродинамічного коефіцієнта сферичного тіла в залежності від числа Рейнольдса

Re	C	Re	C	Re	C	Re	C
0,05	480	1	26,5	20	2,55	500	0,55
0,1	240	2	14,4	50	1,5	1000	0,46
0,2	120	5	6,9	100	1,07	2000	0,42
0,5	49,5	10	4,1	200	0,77	5000	0,385

Графічно ці значення представлені на рис. 1 (крапки). Згідно з [7], аналіз даної залежності у більш широкому діапазоні чисел Рейнольдса дозволяє приблизно розбити її на 3 характерні ділянки:

- 1) $Re > 500$, де $C \approx 0,44$ і приблизно сталий (закон Ньютона);
- 2) проміжний діапазон ($0,2 < Re < 500$), в якому наявна складна функціональна залежність C від Re ;
- 3) $Re < 0,2$, де справедливим є закон Стокса: $C = 24/Re$.

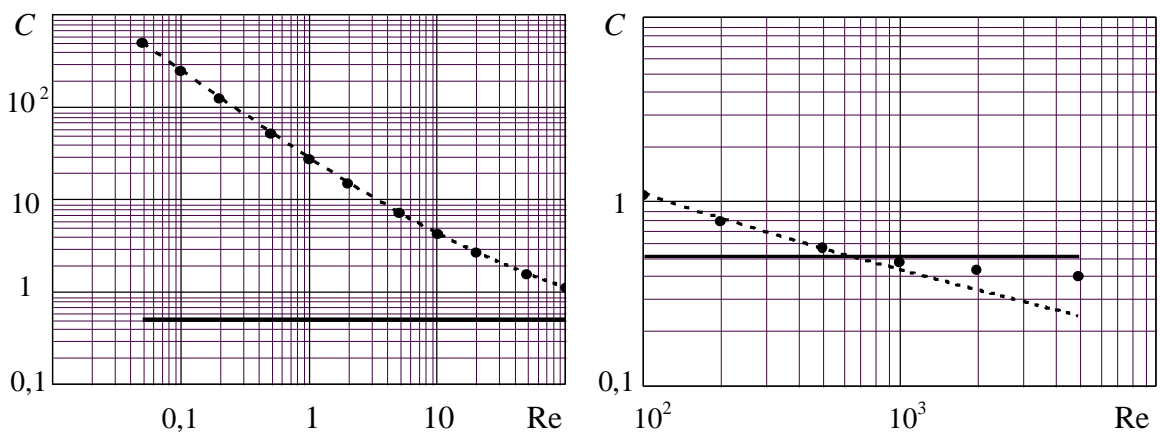


Рисунок 1 – Залежність $C(Re)$: крапки – експеримент (табл. 1), суцільна лінія – $C = 0,5$; пунктир – апроксимація (7). Масштаб осей логарифмічний.

Згідно з наведеними вище оцінками щодо величини числа Рейнольдса для крапель розпилених струменів, його типові значення для більшої частини траєкторій крапель (враховуючи їх гальмування) відповідають проміжному діапазону ($0,2 < Re < 500$), який є найбільш складним для аналізу.

Існує велика кількість запропонованих різними авторами функцій апроксимації для емпіричної залежності $C(\text{Re})$, які відповідають різним діапазонам чисел Рейнольдса [7, 8]. Однією з них для проміжного діапазону чисел Рейнольдса є наступна:

$$C = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}}} = \frac{24 \cdot \mu}{\rho_n \cdot d \cdot v} + \frac{4 \cdot \sqrt[3]{\mu}}{\sqrt[3]{\rho_n \cdot d \cdot v}} \quad (2)$$

Для перевірки її відповідності експериментальним даним за допомогою пакету MathCAD за формулою (2) побудований графік (пунктир), представлений разом із експериментальними точками на рис. 1. Згідно з розрахунками, для всіх значень $\text{Re} < 1000$ отримане майже точне співпадіння експериментальних і розрахункових значень коефіцієнта C . Для $\text{Re} < 2000$ відхилення не перевищує 20%, і лише для $\text{Re} > 2000$ воно суттєво зростає.

Таким чином, функція (2) може бути застосована для теоретичного аналізу руху крапель пожежних розпилених струменів.

Розглянемо рух сферичної краплі масою m і діаметром d , що має початкову швидкість v_0 , спрямовану під кутом α_0 до горизонту. Будемо вважати, що в початковий момент часу крапля знаходиться в початку координат (рис. 2). Поточні значення швидкості й кута нахилу траєкторії до горизонту позначимо, відповідно, v і α .

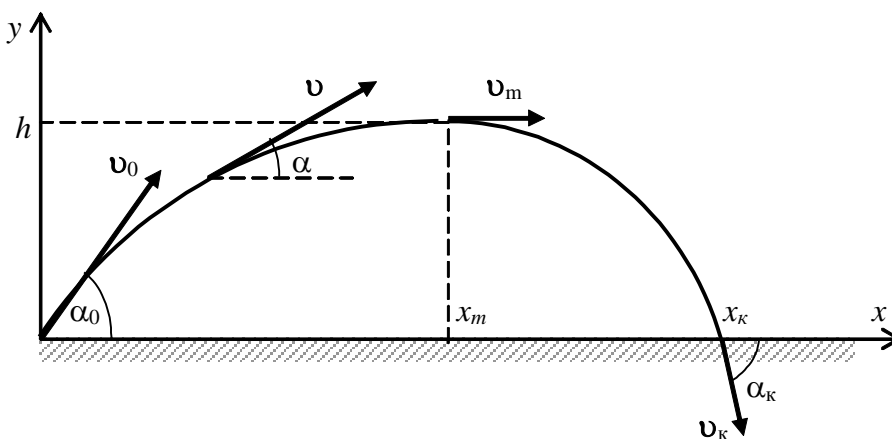


Рисунок 2 – Схема руху краплі

Під час руху на краплю діють сила тяжіння mg і сила опору F з боку повітряного середовища. Рівняння руху краплі:

$$m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}, \quad (3)$$

де маса краплі:

$$m = \rho_w \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6},$$

сила опору:

$$F = C \cdot p \cdot S = C \cdot \frac{\rho_n \cdot v^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (4)$$

C – аеродинамічний коефіцієнт; p – аеродинамічний тиск, S – площа міделевого перерізу краплі, ρ_w – густина води.

Використаємо рівняння руху (3) для побудови траєкторії краплі засобами чисельного інтегрування за допомогою комп'ютера.

На рис. 3 представлена схема розташування векторів, що входять до складу рівняння руху, відносно траєкторії краплі. Після проектування (3) на тангенціальний $\vec{\tau}$ і нормальний \vec{n} напрямки відносно траєкторії в даний момент часу отримаємо два рівняння:

$$\frac{dv}{dt} = -g \cdot \sin \alpha - \frac{F}{m}, \quad (5)$$

$$\frac{v^2}{R} = g \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

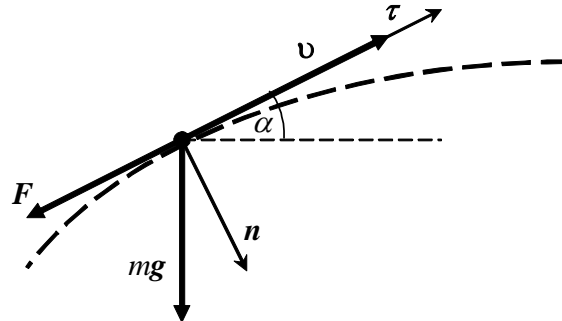


Рисунок 3 – Схема розташування векторів

Радіус кривизни траєкторії R представимо через інші параметри. Елементарна довжина ділянки траєкторії:

$$dl = -R \cdot d\alpha,$$

звідки:

$$R = -\frac{dl}{d\alpha} = -\frac{dl}{dt} \cdot \frac{dt}{d\alpha} = -\frac{v}{\frac{d\alpha}{dt}}.$$

Після підстановки в рівняння (6) отримаємо:

$$v \cdot \frac{d\alpha}{dt} = -g \cdot \cos \alpha. \quad (7)$$

Щоб виключити залежність від часу, поділимо (5) на (7):

$$\frac{1}{v} \cdot \frac{dv}{d\alpha} = \tan \alpha + \frac{F}{m \cdot g \cdot \cos \alpha}. \quad (8)$$

Розглянемо більш детально силу опору F (див. (4)). З урахуванням функції апроксимації (2) отримаємо:

$$F = \left(\frac{24 \cdot \mu}{\rho_n \cdot d \cdot v} + \frac{4 \cdot \sqrt[3]{\mu}}{\sqrt[3]{\rho_n \cdot d \cdot v}} \right) \cdot \frac{\rho_n \cdot v^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

і рівняння (8) набуде вигляду:

$$\frac{dv}{d\alpha} = v \cdot \tan \alpha + \left(\frac{24 \cdot \mu}{\rho_n \cdot d \cdot v} + \frac{4 \cdot \sqrt[3]{\mu}}{\sqrt[3]{\rho_n \cdot d \cdot v}} \right) \cdot \frac{3 \cdot \rho_n \cdot v^3}{4 \cdot \rho_v \cdot d \cdot g \cdot \cos \alpha},$$

або:

$$\frac{dv}{d\alpha} = \left(v \cdot \sin \alpha + \frac{18 \cdot \mu}{\rho_v \cdot d^2 \cdot g} \cdot v^2 + \frac{3 \cdot \rho_n}{\rho_v \cdot d \cdot g} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho_n \cdot d}} \cdot v^{\frac{8}{3}} \right) \cdot \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (9)$$

Для чисельного інтегрування даного рівняння засобами пакету MathCAD необхідно позбутися дробових показників степеня в ньому. Із цією метою використаємо заміну:

$$v = \xi^3. \quad (10)$$

Рівняння (9) набере вигляду:

$$\frac{d\xi}{d\alpha} = \left(\frac{\sin \alpha}{3} \cdot \xi + \frac{6 \cdot \mu}{\rho_v \cdot d^2 \cdot g} \cdot \xi^4 + \frac{\rho_n}{\rho_v \cdot d \cdot g} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho_n \cdot d}} \cdot \xi^6 \right) \cdot \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

Для більш компактної форми запису даного рівняння введемо умовні позначення для сталих коефіцієнтів:

$$\gamma = \frac{6 \cdot \mu}{\rho_v \cdot d^2 \cdot g}, \quad (12)$$

$$\delta = \frac{\rho_n}{\rho_v \cdot d \cdot g} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu}{\rho_n \cdot d}}. \quad (13)$$

З їх використанням отримаємо з (11):

$$\frac{d\xi}{d\alpha} = \left(\frac{\sin \alpha}{3} \cdot \xi + \gamma \cdot \xi^4 + \delta \cdot \xi^6 \right) \cdot \frac{1}{\cos \alpha}. \quad (14)$$

Чисельне інтегрування засобами MathCAD дозволяє отримати розв'язок даного рівняння в дискретній формі.

Для побудови траєкторії краплі скористаємося співвідношенням для координати x :

$$dx = dl \cdot \cos \alpha = v \cdot dt \cdot \cos \alpha.$$

Щоб перейти від змінної t до змінної α , з рівняння (7) знайдемо:

$$dt = -\frac{v \cdot d\alpha}{g \cdot \cos \alpha}.$$

Після підстановки отримаємо:

$$dx = -\frac{v^2}{g} \cdot d\alpha.$$

Для координати y :

$$dy = dx \cdot \tan \alpha = -\frac{v^2}{g} \cdot \tan \alpha \cdot d\alpha.$$

Використовуючи (10), із останніх двох співвідношень знайдемо:

$$x = \frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha}^{\alpha_0} \xi^6 d\alpha, \quad (15)$$

$$y = \frac{1}{g} \cdot \int_{\alpha}^{\alpha_0} \xi^6 \tan \alpha \cdot d\alpha. \quad (16)$$

Рівняння (15) і (16) представляють траєкторію краплі в інтегральній параметричній формі (параметром є кут α). Траєкторію можна побудувати графічно засобами MathCAD, використовуючи розв'язок рівняння (14) у вигляді таблиці дискретних значень. Для отримання залежності швидкості від координати x у параметричній формі необхідно скористатися рівняннями (10) і (15).

Розглянутий метод побудови траєкторій крапель можна вважати достатньо строгим та теоретично обґрунтованим. Його недоліком є відносна складність внаслідок використання складної функції апроксимації (2). Диференціальне рівняння (14), яке можна розв'язати лише методом чисельного інтегрування, дозволяє отримати невідому функцію ξ лише у дискретному вигляді. Всі подальші операції з нею внаслідок цього також мають характер чисельного інтегрування, що виключає можливість отримання результатів методом аналітичних перетворень.

Більш простим та зручним для розрахунків є метод, що використовує наближення сталого аеродинамічного коефіцієнта (зазвичай приймають $C = 0,5$). В даному методі використовуються відомі функції від неперервної змінної, що значно спрощує розрахунки. Аналогами формул (15)–(16) в наближенні сталого аеродинамічного коефіцієнта є наступні (див. [1, 2]):

$$x = \frac{1}{g} \int_{\alpha}^{\alpha_0} \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha \cdot \{A - B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]\}}, \quad (17)$$

$$y = \frac{1}{g} \int_{\alpha}^{\alpha_0} \frac{\tan \alpha \cdot d\alpha}{\cos^2 \alpha \cdot \{A - B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]\}}, \quad (18)$$

де використані позначення:

$$A = \frac{1}{v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha_0} + B \cdot [\tan \alpha_0 \cdot \sec \alpha_0 + \ln(\tan \alpha_0 + \sec \alpha_0)],$$

$$B = \frac{C \cdot \rho_n \cdot S}{2 \cdot m \cdot g} = \frac{3 \cdot \rho_n \cdot C}{4 \cdot \rho_e \cdot d \cdot g}.$$

Для розрахунку поточної швидкості руху краплі в даному випадку використовується співвідношення:

$$v = \frac{1}{\cos \alpha \cdot \sqrt{A - B \cdot [\tan \alpha \cdot \sec \alpha + \ln(\tan \alpha + \sec \alpha)]}}. \quad (19)$$

Чисельні розрахунки та графічні залежності

Порівняємо результати розрахунків траєкторій та швидкостей крапель за представленими вище двома математичними моделями. Із цією метою виконаємо чисельні розрахунки й побудуємо траєкторії та графіки залежностей швидкості краплі від її координати для цих двох моделей при однакових початкових умовах.

Для моделі змінного аеродинамічного коефіцієнта (рівняння (14)–(16)) обчислення в середовищі MathCAD виконуються наступним чином. Для розв'язування рівняння (14) використовується вбудований оператор Vulstoer, який реалізує метод Булирша-Штера рішення задачі Коші, заданої в стандартній формі. Початковими умовами в даному випадку є початковий кут краплі α_0 та її початкова швидкість v_0 (і, згідно з (10), початкове значення ξ_0). Границі зміни аргумента α визначаються від α_0 до $-\pi/2$. Цей інтервал рівномірно розбивається на M точок, в яких обчислюються значення функції ξ . При зростанні параметра M підвищується точність обчислення дискретної функції ξ . Для виконання обчислень за рівняннями (15)–(16) (інтеграли зі змінними границями) функцію ξ необхідно перетворити з дискретної в неперервну форму. Для цього в середовищі MathCAD використовуються оператори cspline та integr, які виконують таке перетворення за допомогою кубічної сплайн-інтерполяції. За допомогою отриманої в результаті неперервної функції ξ виконується інтегрування відповідно до формул (15)–(16) і визначаються залежності координат $x(\alpha)$ та $y(\alpha)$. Їх можна використати в MathCAD для побудови траєкторій безпосередньо, але результат буде більш якісним, якщо їх перевести в дискретну форму рівномірним розбиттям всього інтервалу зміни кута α .

Для побудови траєкторій в моделі сталого аеродинамічного коефіцієнта використовуються розрахункові формули (17)–(18). Для розрахунку залежностей швидкості

від координати $u(x)$ в даних двох математичних моделях використовуються формули (10) і (15) для першої моделі, та (19) і (17) – для другої. Для якісної побудови графіків результати розрахунків за цими формулами також переводяться в дискретну форму.

На рис. 4 представлені побудовані за допомогою пакету MathCAD траєкторії крапель для різних значень їх діаметрів та початкових швидкостей, величини яких вказані на відповідних графіках. Початковий кут α_0 для всіх траєкторій взято однаковим і рівним 30° . Траєкторії, що відповідають апроксимації (2), представлені суцільною лінією (розрахунки за рівняннями (14)–(16)), а траєкторії, побудовані в наближенні сталого аеродинамічного коефіцієнта ($C = 0,5$) представлені пунктиром (розрахунки за рівняннями (17)–(18)).

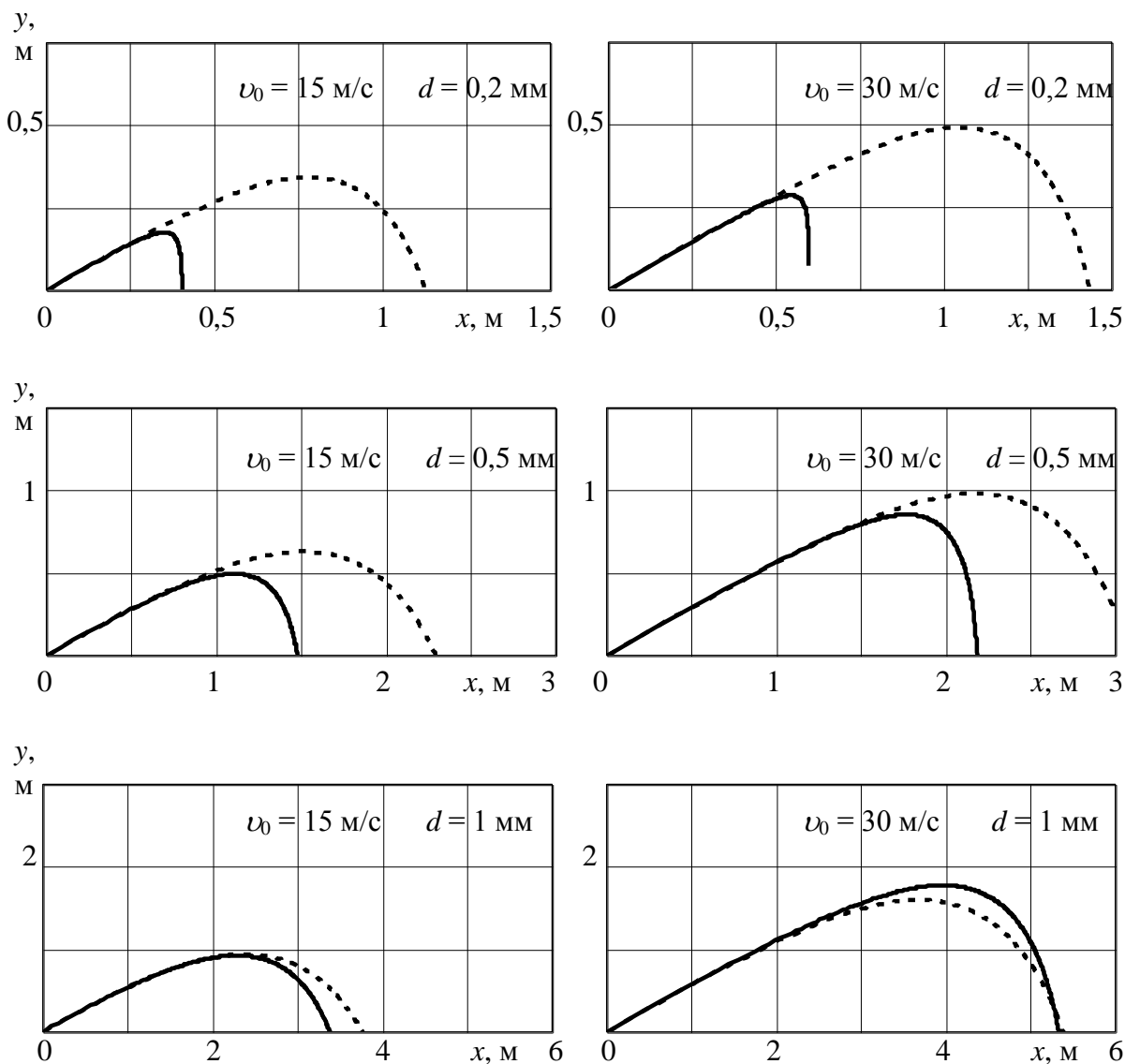


Рисунок 4 – Розрахункові траєкторії сферичних крапель для різних значень їх початкової швидкості й діаметра для двох апроксимацій аеродинамічного коефіцієнта:

----- $C = 0,5$; — $C = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}$.

Аналіз представлених на рис. 4 траєкторій дозволяє зробити висновок, що траєкторії, побудовані за двома моделями, збігаються лише на початковій ділянці, де краплі мають достатньо високу швидкість руху. Це можна пояснити тим, що ця ділянка траєкторії є майже прямолінійною, розташованою під кутом α_0 до горизонту, а тому залежність сили опору від швидкості краплі на її форму практично не впливає.

Периферійна ділянка траєкторії, найбільш віддалена від її початку, суттєво залежить від обраної математичної моделі. Для діаметра крапель $d = 1$ мм різниця траєкторій є доволі незначною, і в деяких випадках нею можна знехтувати. Але при зменшенні діаметра до 0,5 мм і нижче траєкторії суттєво відрізняються як за розмірами, так і за формою. Це пояснюється тим, що при малих значеннях Re аеродинамічний коефіцієнт за апроксимацією (2) значно перевищує 0,5, а тому гальмування за цією моделлю є значно більш ефективним, а траєкторія – більш короткою.

На рис. 5 представлені розраховані для тих же початкових умов залежності поточної швидкості крапель v від горизонтальної координати x . Вони також свідчать про близькість результатів розрахунків для $d = 1$ мм і про збільшення різниці результатів при зменшенні діаметра.

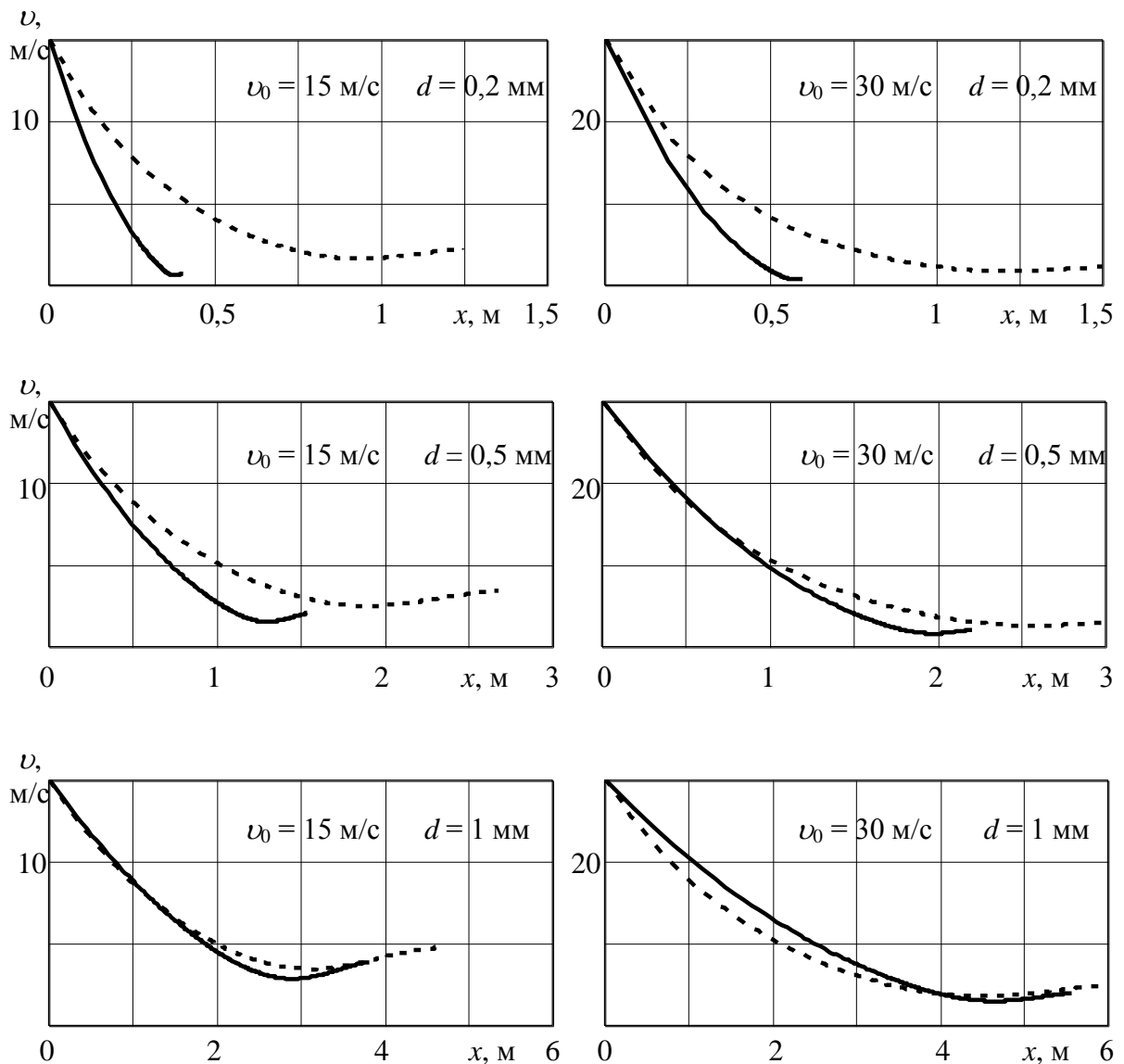


Рисунок 5 – Розрахункові залежності швидкості крапель від горизонтальної координати для різних значень їх початкової швидкості й діаметра для двох апроксимацій аеродинамічного коефіцієнта:

$$\text{----- } C = 0,5; \quad \text{——— } C = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}.$$

Якщо порівнювати результати розрахунків для двох різних значень початкової швидкості u_0 при однаковому значенні діаметра краплі, можна побачити, що більш суттєвою є різниця результатів для меншого значення u_0 . Результати розрахунків майже співпадають для $d > 0,5$ мм і $v > 10$ м/с, що відповідає значенням числа Рейнольдса $Re > 300$. Таким чином, значення $Re_{гр} \approx 300$ можна вважати граничним при обґрунтуванні можливості застосування моделі сталого аеродинамічного коефіцієнта для розрахунків параметрів руху крапель води у складі розпиленних водяних струменів. Зважаючи на відомі значення параметрів $\mu \approx 20$ мкПа·с і $\rho_n \approx 1,2$ кг/м³, умову доцільності застосування моделі сталого аеродинамічного коефіцієнта можна написати в такому вигляді:

$$v \cdot d > 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Висновки

Виконані два альтернативні розрахунки траєкторій сферичних крапель та залежностей їх швидкості від просторової координати для наступних математичних моделей: 1) модель сталого аеродинамічного коефіцієнта; 2) реальна залежність аеродинамічного коефіцієнта від числа Рейнольдса, задана відповідною функцією апроксимації. За отриманими в роботі розрахунковими формулами за допомогою пакету MathCAD побудовані відповідні графіки для типових значень діаметра крапель та їх початкової швидкості. Їх порівняння дозволило встановити суттєву відмінність результатів розрахунків, виконаних із застосуванням вказаних вище двох моделей. Ця відмінність зростає при зменшенні діаметра крапель та при зменшенні швидкостей їх руху. Встановлено орієнтовну величину граничного значення числа Рейнольдса рухомої краплі води $Re_{гр} \approx 300$, нижче якого модель сталого аеродинамічного коефіцієнта є неадекватною.

Розрахунки виконані для руху водяних крапель у нерухомому повітрі. В наступних роботах необхідно врахувати генерацію повітряного потоку розпиленням водяним струменем та виконати розрахунок руху крапель цього струменя всередині даного повітряного потоку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виноградов А.Г. Розрахунки траєкторних параметрів крапель водяної завіси у вертикальній площині / А.Г. Виноградов // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. – 2008. – № 53. – с. 84-88.
2. Виноградов А.Г. Розрахунок векторного поля швидкостей крапель водяної завіси / А.Г. Виноградов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2008. – №2 (49). Частина 2 – с. 42-44.
3. Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений / В.В. Севриков. – Киев-Донецк: Вища школа, 1979. – 188 с.
4. Виноградов А.Г. Методика розрахунку просторового розподілу концентрацій крапель водяної завіси / А.Г. Виноградов // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – № 4. – с. 38-44.
5. Виноградов А.Г. Аналіз просторового розподілу концентрації крапель у дренчерних системах протипожежного захисту / А.Г. Виноградов // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», сер. Машиностроение. – 2010. – № 59. – с. 188-192.
6. Виноградов А.Г. Теоретический анализ пространственного распределения концентрации капель водяной завесы / А.Г. Виноградов // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – т. 19. – №1. – с. 45-49.
7. Бусройд Р. Течение газа со взвешенными частицами / Р. Бусройд ; пер. с англ. В.С. Данилина и Ф.Е. Спокойного. – М.: Мир, 1975. – 378 с.
8. Каминер А.А. Гидромеханика в инженерной практике / А.А. Каминер, О.М. Яхно. – К.: Техніка, 1987. – 175 с.

УДК 614.841

Б.Б. Григор'ян, доц., к.т.н., С.В. Цвіркун, к.т.н., М.Б. Григор'ян,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ «ЕНДОТЕРМ 210104»

В роботі викладене визначення теплофізичних характеристик вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104» за даними результатів вогневих випробувань, а також визначення вогнезахисної здатності покриття, на основі отриманих теплофізичних характеристик.

Ключові слова: теплофізичні характеристики, вогнезахисні покриття, обернені задачі теплопровідності, вогнезахисна здатність.

Актуальність проблеми й аналіз останніх публікацій. У будівництві широко застосовуються металеві несучі будівельні конструкції. Такі конструкції мають велику міцність, відносну легкість і довговічність. Однак, під впливом високих температур швидко нагріваються, деформуються і втрачають несучу здатність, тобто мають низьку вогнестійкість. Одним із способів підвищення вогнестійкості несучих металоконструкцій є застосування вогнезахисних покриттів та облицювань. Для проектування металевих конструкцій із заданими межами вогнестійкості необхідно вміти розраховувати тепловий стан цих конструкцій разом з вогнестійкими покриттями на поверхні конструкцій. Результатом таких розрахунків є мінімальна товщина покриття, яка задовольняє заданій вогнестійкості розглянутої металевої конструкції. Для таких розрахунків, як правило, необхідна інформація про теплофізичні характеристики (ТФХ) матеріалу покриття. ТФХ вогнезахисних покриттів визначаються методами обернених задач за даними вимірювання температури в окремих точках зразків «покриття-металева конструкція» при випробуванні цих зразків у вогневих печах.

Метою роботи є визначення ТФХ вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104», а також визначення вогнезахисної здатності даного покриття.

Викладення основного матеріалу дослідження. Випробуванням піддавалися десять сталевих колон, які облицьовані вогнезахисним покриттям «Ендотерм 210104». Випробування проводилося, згідно вимог ДСТУ Б В.1.1-4-98* та ДСТУ Б.В.1.1-17:2007 [5,6].

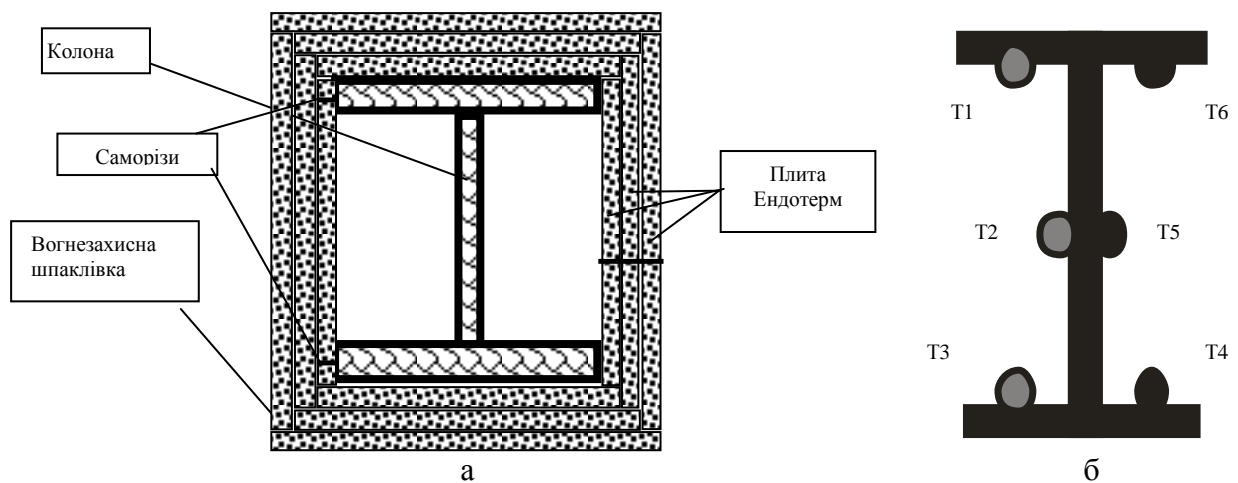


Рисунок 1 – Схема проведення випробувань (а), а також схема розташування термопар (б)

Плити „Ендотерм 210104” закріплювалися на зразках саморізами діаметром 3,5 мм кроком 150 мм до сталевого каркасу. Каркас виконаний зі сталевих оцинкованих профілів UD 28 мм × 24 мм × 0,7 мм, які закріплювалися саморізами на полках зразків за допомогою кутників 35 мм × 35 мм × 4 мм довжиною 15 мм (рис 1, а).

Під час облицювання стики плит „Ендотерм 210104” та саморізи оброблялися вогнезахисною шпаклівкою. До облицювання на кожній колоні згідно з ДСТУ Б.В.1.1-17 встановлювалося по шість термопар (рис 1, б). Температурний режим у випробувальній печі стандартний, згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* (обігрів з чотирьох сторін) [6].

Таблиця 1 – Параметри облицювань, які піддавалися випробуванням

Профілі	Кількість шарів	Вид конструкції	Товщина облицювання, мм	№ випробувань	№ зразка
HEM280	1	Колона	19,8	1	1
HEB450	2	Колона	40,20	2	2
HEB300	1	Колона	20,30	1	3
HEA300	1	Колона	20,80	1	4
HEA300	2	Колона	40,80	2	5
HEA200	1	Колона	19,30	1	6
HEA200	2	Колона	40,40	2	7
HEA200	3	Колона	60,80	2	8
IPE200	2	Колона	40,20	1	9
IPE200	3	Колона	60,40	2	10

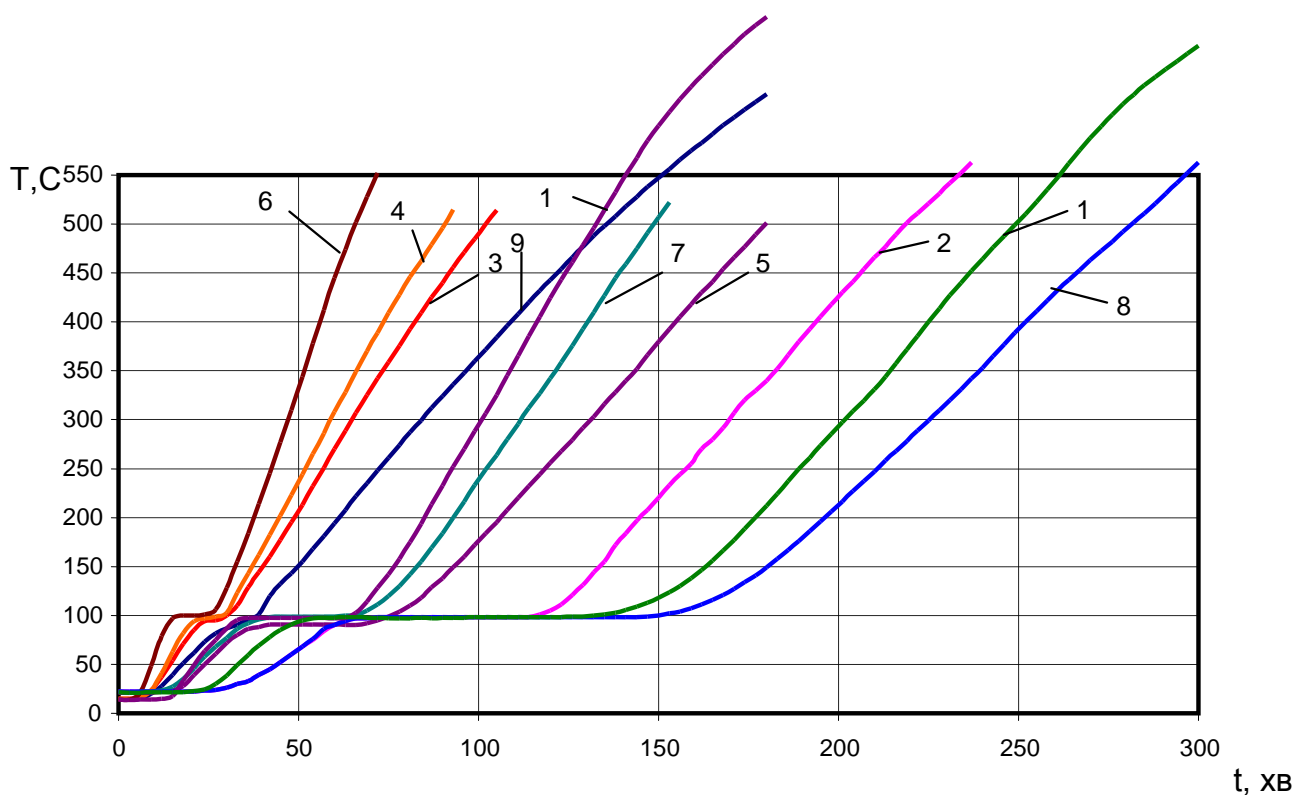


Рисунок 2 – Середні значення показників термопар вимірювальних зразків



а



б

Рисунок 3 – Вигляд зразків колон до (а) та після випробування (б).

Для визначення коефіцієнтів теплопровідності та питомої об'ємної теплоємності покриттів за даними вимірів застосовується метод рішення обернених задач [1-3]. Методика визначення теплофізичних характеристик використовує так званий розрахунково-експериментальний підхід, оснований на рішенні обернених задач. Для цього була створена комп'ютерна модель теплового стану досліджуваного зразка (одномірною моделлю теплопровідності), яка дозволяє розрахувати розподілення температур у всіх просторових точках зразків в часі. При визначенні теплофізичних характеристик (коефіцієнтів теплопровідності λ та питома об'ємна теплоємність C_v) використовувалися ітераційна процедура Ньютона-Гаусса.

Комп'ютерна чисельна модель (метод кінцевих різниць) враховує радіаційно-конвективний теплообмін між нагріваемою поверхнею покриттів та гарячих газів печі і конвективний теплообмін між металевою конструкцією та навколишнім повітрям. Коефіцієнт конвективного теплообміну від гарячих газів у печі до нагріваної поверхні покриттів приймався рівним $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, ступінь чорноти нагріваної поверхні покриттів приймалася рівним $0,5$. Коефіцієнт теплопровідності металевих конструкцій приймався рівним $45 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С})$, а питома об'ємна теплоємність $1\cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [1,2]. Коефіцієнти ефективної теплопровідності та питомої об'ємної теплоємності покриття були шуканими характеристиками. Для їх знаходження використовували рівняння Фур'є.

Математично методика полягає в мінімізації критерію [1]

$$\phi = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [T_i^{\text{Э}} - T_i^{\text{P}}(\lambda, C)]^2} \longrightarrow \min \quad (1)$$

де: $T_i^{\text{Э}}$ - експериментальні значення температур;

T_i^{P} - розрахункові значення температур у точках розташування термопар;

n – загальна кількість точок вимірів температур у просторі та й у часі.

Процедура рішення обернених задач, розглянута в [1,3], дозволяє використати результати декількох випробувань одночасно, що дозволяє різко підвищити стійкість (звідси й точність) рішення обернених задач. В результаті розв'язку оберненої задачі ми отримали значення коефіцієнтів теплопровідності вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104», що становить $0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{С})$ та питомої об'ємної теплоємності $1\cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Середньоквадратичне відхилення значень температур (експериментальних та розрахункових) склало $7,6 \text{ }^\circ\text{С}$, що свідчить про достатньо високу збіжність отриманих експериментальних даних з розрахунковими. Порівняння температурних кривих в представлено на рис. 4-5.

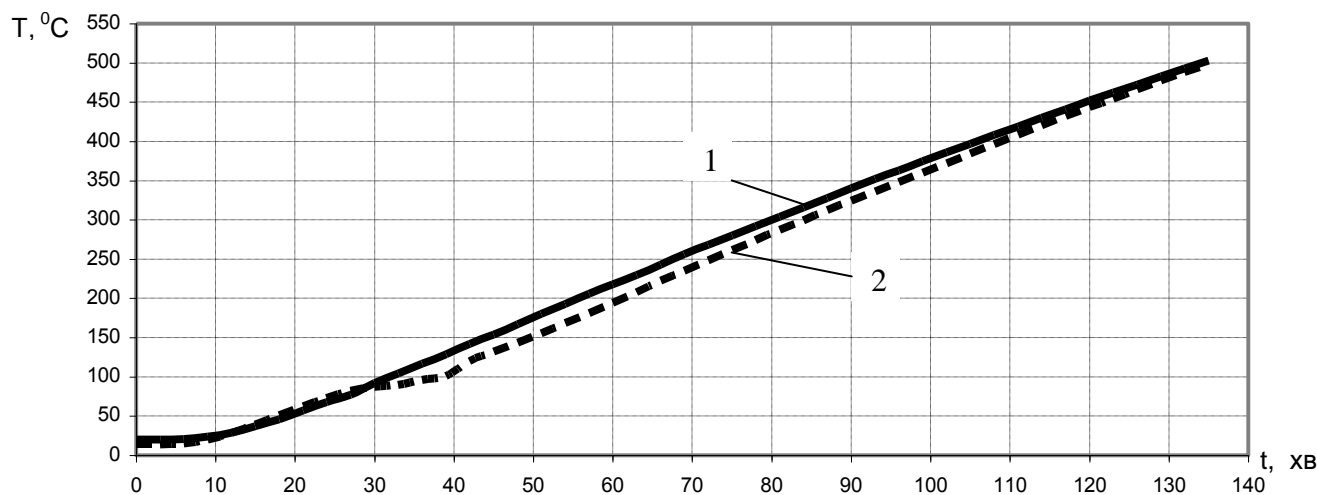


Рисунок 4 – Залежність експериментальних і розрахункових температур від часу на поверхні зразка №1.

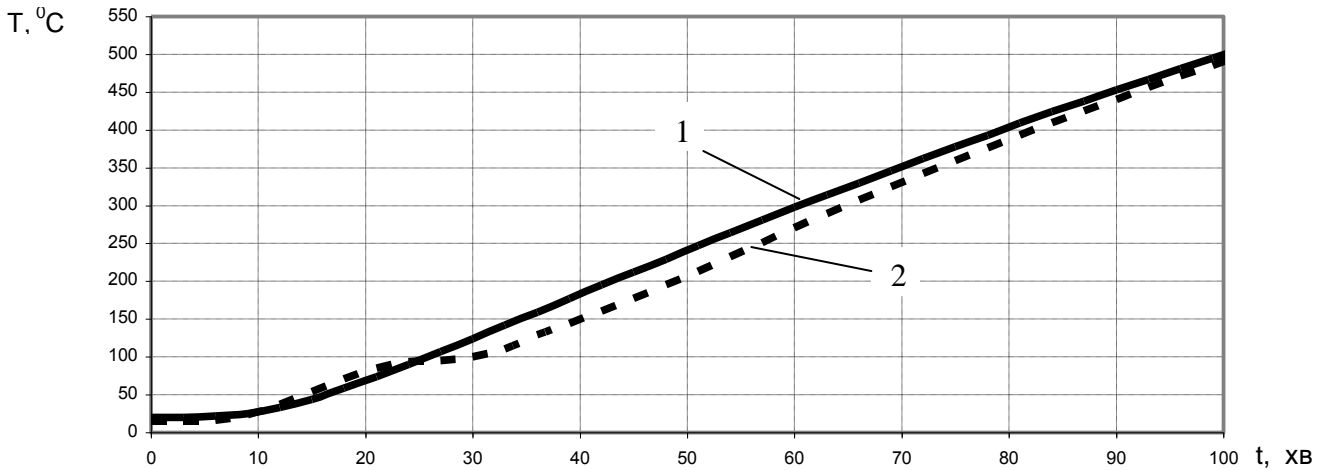


Рисунок 5 – Залежність експериментальних і розрахункових температур від часу на поверхні зразка №3: 1 - суцільна крива – дані, отримані розрахунковим методом, засновані на розв’язанні уточненого диференційного рівняння теплопровідності; 2 - пунктирна крива – дані, отримані експериментальним методом.

Після визначення ТФХ вогнезахисного покриття найбільшу практичну цінність представляють визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів, що представляють собою залежність товщини вогнезахисного покриття від товщини коробчастої металевої конструкції для різних значень меж вогнестійкості.

Залежності (рис. 6.) були отримані шляхом багаторазового рішення задач теплопровідності для двохшарової пластини з різними товщинами вогнезахисного покриття і товщини коробчастої металевої конструкції, з урахуванням коефіцієнтів теплопровідності і теплоємності даного покриття.

У роботі [4] піднімалися питання про особливості застосування та похибки при використанні методів стандарту ДСТУ Б.В.1.1-17:2007, тому цікаво було б порівняти ці методи на результатах реальних випробувань. Отримані результати залежності були порівняні з розрахунками. Оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття здійснювалася за методом чисельної регресії.

$$t = a_0 + a_1 d_p + a_2 \frac{d_p}{V/A_p} + a_3 \theta_{sc} + a_4 d_p \theta_{sc} + a_5 d_p \frac{\theta_{sc}}{V/A_p} + a_6 \frac{\theta_{sc}}{V/A_p} + a_7 \frac{l}{V/A_p} \quad (2)$$

де t – час досягнення проектної температури, хв;

d – товщина облицювання мм;

T – проектна температура, °C;

V/A_p – зведена коробчата товщина, мм;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ – константи.

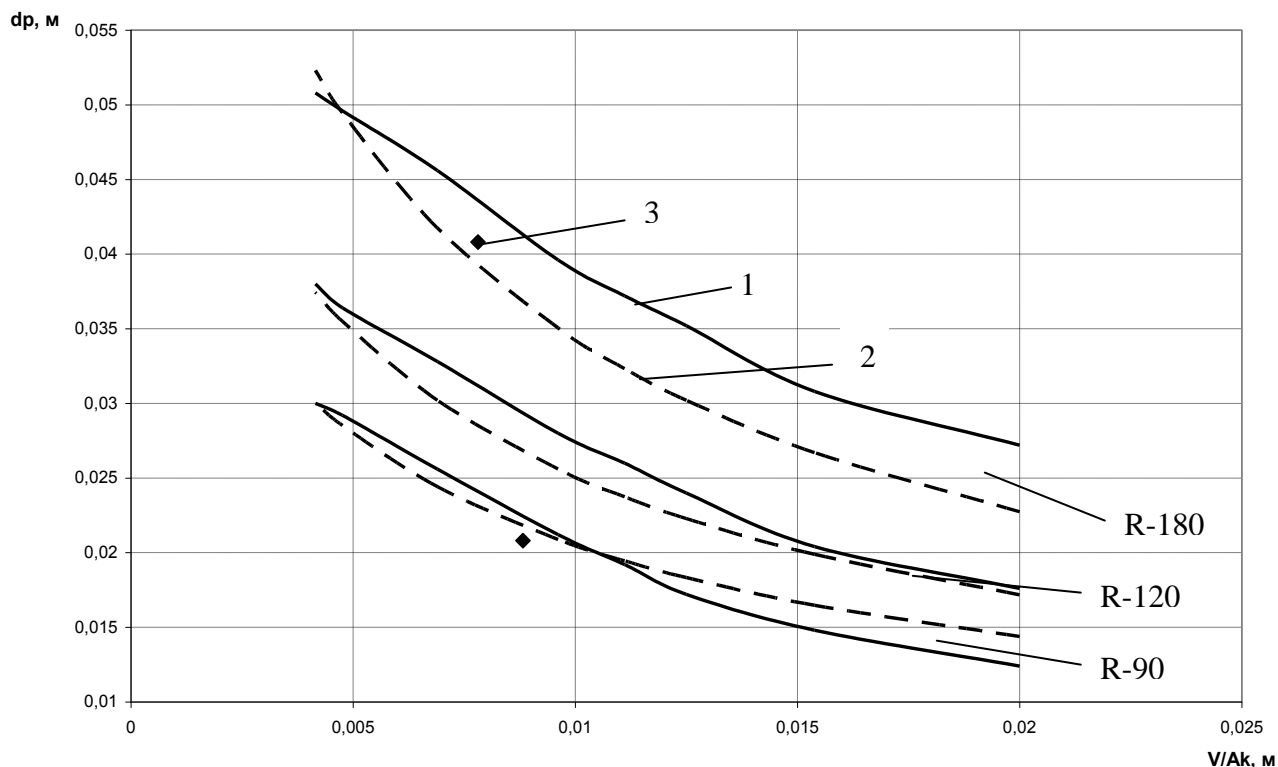


Рисунок 6 – Залежність товщини коробчастої металевої конструкції та товщини облицювання для значень вогнестійкості (90, 120, 180 хв) при проектній температурі 500 °С.

1 - суцільна крива – метод оцінювання, заснований на розв’язанні уточненого диференційного рівняння теплопровідності; 2 - пунктирна – метод чисельної регресії; 3 - точки – значення з експерименту.

Як видно з рис. 6. різні методи стандарту ДСТУ Б.В.1.1-17:2007 дають неоднакові результати, що в свою чергу підтверджує доцільність проведення методичних (тестових) задач у яких натурний експеримент (випробування) замінюється обчислювальним експериментом, за допомогою якого стає можливим проведення дослідження особливостей та області застосування цих методів [4].

Висновок: Визначені постійні значення коефіцієнтів теплопровідності та питомої об’ємної теплоємності вогнезахисного покриття «Ендотерм 210104» за умовами стандартного режиму пожежі. Отримана залежність товщини коробчастої металевої конструкції та товщини облицювання для значень вогнестійкості (90, 120, 180 хв) при проектній температурі 500 °С.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса / П.Г. Круковский. – К. : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с. – (Общий инженерный подход).
2. Сучасні підходи до оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів несучих металевих конструкцій / [Новак С.В., Нефедченко Л.М., Довбиш А.В., Круковський П.Г.] // Будівництво та безпека. – 2008. – № 4(8). – С. 40 – 44.
3. Круковский П.Г. Универсальный программно-методический подход к решению обратных задач тепломассопереноса (программа FRIEND) / П.Г. Круковский // В кн. Идентификация динамических систем и обратные задачи : труды II Межд. конф.. – С.-Петербург, 1994. – Т. 1. – С. А.8.1 – А.8.12.
4. Цвіркун С.В. Особливості та області застосування методів визначення характеристики вогнезахисної здатності покриттів металевих конструкцій / С.В. Цвіркун,

- Б.Б. Григор'ян, М.Б. Григор'ян //Пожежна безпека: теорія і практика. – 2010. – №6. – С.30-34.
5. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV13381-4:2002, NEQ): ДСТУ Б В. 1.1-17:2007 . – [Чинний від 2008-01-01]. – К. : Укрархбудинформ, 2007. – 53 с. – (Державний стандарт України).
 6. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. – К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21 с. – (Державний стандарт України).

УДК 614.841

О.О. Дядюшенко, к.т.н., В.І. Томенко, к.т.н., доц., О.В. Міненко,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

МОДЕЛЬ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ЗА ФАКТОМ ПОЖЕЖІ

Представлено математичну модель первинної обробки даних за фактом пожежі для спеціалізованих засобів обчислювальної техніки мобільного зв'язку. Запропоновано функцію керування інформаційними потоками даних у мережі масового обслуговування з очікуванням, що функціонує на основі двоканальної системи передачі даних. Виконано чисельні розрахунки та представлені графічні залежності.

Ключові слова: моделі інтенсивності потоків, збирання інформації, інспектор держпожнадзора

Вступ. У процесі первинної обробки даних за фактом пожежі інспектор держпожнадзора, що здійснює пожежно-технічне розслідування за фактом пожежі, взаємодіє з рядом посадових осіб служб та відомств (підрозділами МВС України, медичними службами, фінансовими службами тощо) [1, 2] для отримання необхідних даних за фактом пожежі.

Основним службовим документом щодо здійснення обліку пожеж є картка обліку пожежі [2], яка складається з 90 позицій, які необхідно заповнити за результатами кожної пожежі, що підлягає обліку. Складність заповнення картки залежить, в першу чергу, від специфіки пожежі та її наслідків. Згідно діючого законодавства з питань організації обліку та аналізу пожеж, протягом 10 робочих днів інспектор держпожнадзора повинен надіслати заповнену картку обліку пожеж до територіального органу держпожнадзора в аналоговому вигляді, де відповідна посадова особа відділу вносить дані з масивів карток обліку пожеж до спеціальної комп'ютерної програми «Pog_stat». Після чого, вже в електронному вигляді дані по кожній області надсилаються до урядового органу держпожнадзора. Так як процес обробки первинних і передачі первинних даних за фактом пожежі розтягнутий у часі, це призводить до значної кількості помилок і неточностей, а також витрачається значна кількість робочого часу інспектора держпожнадзора. Виникає необхідність розробки моделі первинної обробки даних за фактом пожежі, що буде використовуватися для підготовки інформаційної технології для спеціалізованих засобів обчислювальної техніки мобільного зв'язку.

Аналіз основних публікацій з даної тематики. В останні роки велика увага приділяється процесам автоматизації підготовки звітності інспектором держпожнадзора [3, 4]. Проте питанням комплексної оцінки можливості застосування спеціалізованої обчислювальної техніки засобів мобільного зв'язку для забезпечення ефективного функціонування каналів обробки та передачі даних приділяється недостатньо уваги.

Мета роботи. Розробити модель процесу первинної обробки даних за фактом пожежі інспектором держпожнадзора.

Основний матеріал. Представимо систему первинної обробки та передачі даних з урахуванням наступних особливостей: схема складається з мережі територіально розподілених об'єктів передачі даних, кожний з яких має власну продуктивність (μ); до складу системи первинної обробки даних входить безліч клієнтів, вони формують запити й посилають на сервери заявки (λ); взаємозв'язок між серверами й клієнтами (у цьому випадку - інспектор держпожнадзора, що проводить розслідування на місці виникнення пожежі) здійснюється через GSM-канал; кількість заявок у мережі не обмежена й обумовлена тим, що клієнт може кілька разів звертатися до серверної системи для одержання будь-яких даних.

Таким чином, моделювання двоканальної системи передачі даних дозволить розділити потік заявок на обслуговування між двома паралельними каналами, що у свою чергу підвищить швидкодію всієї системи передачі даних і зменшить імовірність виникнення колізій. У рамках вирішення поставленого завдання моделювання, запропонована функція керування інформаційними потоками даних у мережі масового обслуговування з очікуванням - мережа територіально розподілених серверів. Як критерії оцінки продуктивності використаний ряд характеристик роботи системи:

- коефіцієнт завантаження системи – ρ ;
- середня кількість заявок у системі – \bar{k} ;
- середній час перебування заявки в системі – \bar{T}_{np} ;
- абсолютну пропускну здатність – A ;
- імовірність виникнення черги – $P_{оч}$.

Виділяємо два ключових моменти: по-перше - рівномірне завантаження серверів й, по-друге, досягнення максимуму продуктивності системи. Критерієм оцінки продуктивності системи є середня кількість заявок, що обслуговуються.

Досліджувану нами систему можна визначити як систему масового обслуговування.

Допущення про пуассонівський характер потоку заявок і про експонентний час розподілу обслуговування цінні тим, що дозволяють застосувати в теорії масового обслуговування апарат Марківських випадкових процесів [5, 6].

Застосуємо дане твердження до конкретного випадку. Для більшої наочності представимо мережу, що складається із двох елементів (серверів) – a й b , що володіють різною інтенсивністю обслуговування. Ці елементи у випадкові моменти часу й незалежно один від іншого закінчують обробку заявки.

Параметри потоку заявок, для елементів a й b , різні й рівні відповідно λ_a й λ_b . При надходженні заявки на вхід системи один з каналів негайно приступає до її обслуговування. Час, витрачений на обслуговування заявок, розподілено за експонентним законом [7] з параметром μ_a (якщо заявку використає елемент a) і μ_b (якщо заявку використає елемент b).

Кінцеві множини станів:

- x_0 – всі елементи вільні, у системі немає заявок,
- x_1 – зайнятий елемент a , обслуговується заявка,
- x_2 – зайнятий елемент b , обслуговується заявка (рис.1).

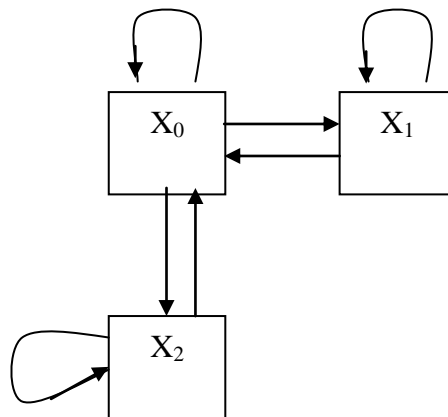


Рисунок 1 – Схема можливих переходів

Даний процес володіє Марківською властивістю. Нехай, наприклад, у момент часу t_0 система перебувала в стані x_0 (відсутність заявок). Тому що потік заявок представляється найпростішим, то момент надходження заявки не залежить від того, скільки часу в системі не було заявок. Тому ймовірність того, що у майбутньому система залишиться в стані x_0 або піде з нього не залежить від «передісторії» процесу. Припустимо, що система в момент часу t_0 перебуває в стані x_1 (зайнятий елемент a). Таким чином, процес, що протікає в досліджуваній системі є Марківським.

Для побудови аналітичних залежностей, скористаємося технікою вирішення завдання, розглянутої в [8], для випадку декількох не однакових приладів.

Розглянемо випадок, коли в системі кількість каналів обслуговування дорівнює двом ($n=2$). Кожен канал обслуговування в системі має власну інтенсивність обслуговування μ_1, μ_2 . Інтенсивності обслуговування каналів, за умовами завдання, мають різне значення. Дана умова має ключове значення, внаслідок того, що нас цікавить саме випадок декількох неоднакових приладів.

Повна інтенсивність обслуговування складе:

$$\mu = \sum_{i=1}^2 \mu_i \quad (1)$$

Отримане рівняння визначає середнє число вимог, що обслуговують в одиницю часу, коли всі прилади зайняті.

Вибираємо прилад i з імовірністю φ_i , на який надходить вимога в момент відсутності в системі інших вимог (рис.2).

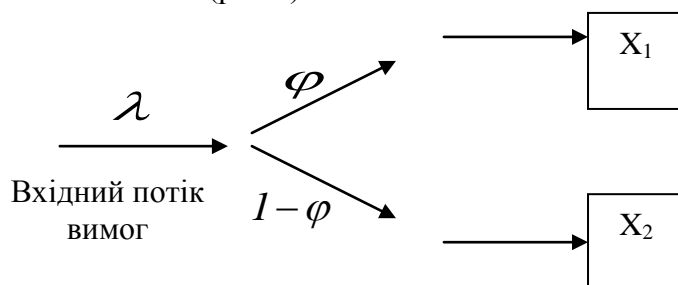


Рисунок 2 – Двоканальна система з паралельними каналами

Нехай,

$$\varphi_1 = \varphi \text{ і } \varphi_2 = 1 - \varphi, \quad 0 \leq \varphi \leq 1.$$

За умовами завдання [8], випадок декількох не однакових приладів, продуктивність одного з каналів буде менше продуктивності іншого, нехай $\mu_1 > \mu_2$. Таким чином, одержимо:

- при $\varphi = 0$ вимога завжди вибирає повільнодіючий канал (X_2 , рис. 3);
- при $\varphi = 0,5$ вимоги випадково вибирає один із двох каналів;
- при $\varphi = 1$ вимога завжди вибирає швидко діючий канал (X_1 , рис. 3).

Можливі проміжні значення φ .

Масове обслуговування залежить від чотирьох параметрів:

λ - обсягу вхідного потоку даних;

μ_1, μ_2 - інтенсивності обслуговування каналів;
 φ_1, φ_2 - імовірності вибору більш «швидкого» або більш «повільного» каналу обслуговування.

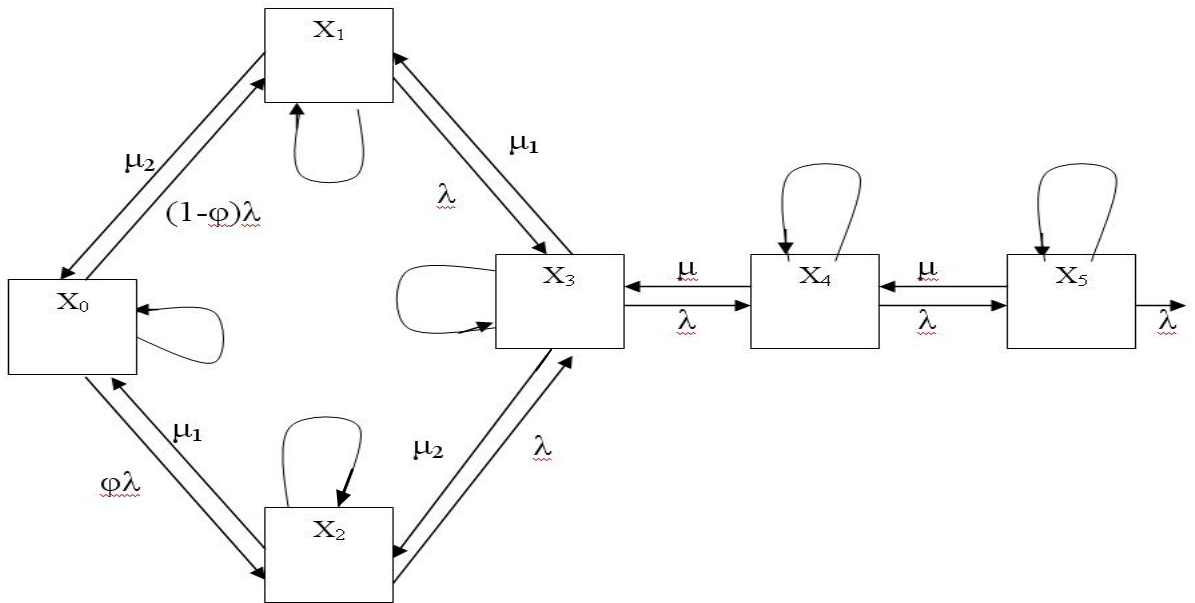


Рисунок 3 – Граф станів системи з паралельними й послідовними каналами

Необхідно розрізнити випадок, коли зайнятий прилад 1, від випадку, коли зайнятий прилад 2. Розглянемо можливі стани систем й їхньої ймовірності, як p_1, p_2 .

(2)

$$p_0(t), p_1(t), p_2(t), p_3(t), \dots, p_n(t)$$

Для будь-якого моменту часу:

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1 \quad (3)$$

За допомогою математичного методу опису систем масового обслуговування [9] складемо диференціальні рівняння для всіх ймовірностей, починаючи з $p_0(t)$. Визначимо момент часу t і знайдемо ймовірність $p_0(t + \Delta t)$ того, що в момент $t + \Delta t$ система буде перебувати в стані X_0 (всі канали вільні). Це може відбутися по трьох причинах:

A – у момент часу t система перебуває в стані X_0 , а за час Δt не перейшла в стан X_1 .

B – у момент часу t система перебувала в стані X_1 , а за час Δt канал звільнився, і система перейшла в стан X_0 .

C – у момент часу t система перебувала в стані X_2 , а за час Δt канал звільнився, і система перейшла в стан X_0 .

За теоремою додавання ймовірностей одержимо:

$$p_0(t + \Delta t) \approx P(A) + P(B) + P(C) \quad (4)$$

Імовірність того, що в момент часу t система могла X_0 , дорівнює $p_0(t)$. Імовірність того, що за час Δt не прийде жодної заявки, дорівнює $e^{-\lambda\Delta t}$.

Звідси
$$e^{-\lambda\Delta t} \approx 1 - \lambda\Delta t.$$

$$P(A) \approx p_0(t)(1 - \lambda\Delta t). \tag{5}$$

Знайдемо $P(B)$. Імовірність того, що в момент часу t система могла X_1 , дорівнює $p_1(t)$. Імовірність того, що за час Δt канал звільнився, дорівнює $1 - e^{-\mu_1\Delta t}$.

Одержимо
$$1 - e^{-\mu_1\Delta t} \approx \mu_1\Delta t.$$

$$P(B) \approx p_1(t)\mu_1\Delta t. \tag{7}$$

Аналогічним чином знайдемо $P(C)$.
У результаті одержимо:

$$p_0(t + \Delta t) \approx p_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + \mu_2 p_1(t)\Delta t + \mu_1 p_2(t)\Delta t. \tag{8}$$

При $\Delta t \rightarrow 0$, одержимо диференціальне рівняння для $p_0(t)$;

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu_2 p_1(t) + \mu_1 p_2(t). \tag{9}$$

За аналогією підготуємо диференціальні рівняння й для інших станів системи. Таким чином, одержимо для станів систему диференціальних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0(t)}{dt} = (1 - \lambda)p_0(t) + \mu_1 p_2(t) + \mu_2 p_1(t) \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = [1 - (\lambda + \mu_2)]p_1(t) + \mu_1 p_3(t) + (1 - \varphi)\lambda p_0(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = [1 - (\lambda + \mu_1)]p_2(t) + \mu_2 p_3(t) + \varphi\lambda p_0(t) \\ \dots \\ \frac{dp_n(t)}{dt} = [1 - (\lambda + \mu)]p_n(t) + \mu\varphi_{n+1}(t) + \lambda p_{n-1}(t) \end{array} \right. \tag{10}$$

Уведемо позначення відношення інтенсивностей обслуговування α

$$\frac{\lambda}{\mu_1 + \mu_2} = \frac{\lambda}{\mu} = \alpha. \tag{11}$$

Нова величина - це наведена щільність потоку заявок α , є не що інше, як середнє число заявок, що доводиться на середній час обслуговування однієї заявки.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda m_{\text{тв}}. \quad (12)$$

За умови, що

$$\sum_{k=0}^n p_k = 1. \quad (13)$$

Вирішимо систему щодо невідомих p_0, p_1, \dots, p_n .

З першого рівняння одержимо:

$$p_1 = \frac{\alpha}{1+2\alpha} \frac{1+\gamma}{\gamma} (\alpha+1-\varphi) p_0. \quad (14)$$

Із другого,

$$p_2 = \frac{\alpha}{1+2\alpha} (1+\gamma)(\alpha+\varphi) p_0, \quad (15)$$

з будь-якого рівняння,

де $\gamma = \frac{\mu_2}{\mu_1}$.

$$p_n = \frac{\alpha^n}{1+2\alpha} \frac{1+\gamma}{\gamma} [1 + (1+\gamma)\alpha - (1-\gamma)\varphi] p_0. \quad (16)$$

Визначимо середнє число вимог \bar{k} , що знаходиться в системі. Помітимо, що щільність вихідного потоку заявок, дорівнює інтенсивності вхідного потоку λ , усередненої по n .

$$\lambda = 0 p_0 + \mu_2 p_1 + \mu_1 p_2 + \sum_{n=3}^{\infty} \mu \varphi p_n. \quad (17)$$

Звідси середнє число вимог, що знаходиться в системі буде дорівнювати:

$$\bar{k} = \frac{\alpha(1+\gamma)[1 + (1+\gamma)\alpha - (1-\gamma)\varphi]}{\gamma(1+2\alpha) + \alpha[1 + (1+\gamma^2)\alpha - (1-\gamma^2)\varphi]}. \quad (18)$$

Величину \bar{k} можна визначити як критерій продуктивності системи, тобто чим менше значення \bar{k} при однаковому потоці заявок, тим швидше працює система. Досліджуємо вплив на неї величин γ (відношення інтенсивностей обслуговування) і φ (імовірність вибору каналу). Для цього, наприклад, прийемо наведену щільність потоку заявок α , що дорівнює 0,6.

При аналізі залежності \bar{k} від γ при різних φ й $\alpha = 0,6$, \bar{k} приймає найменше значення при $\varphi = 1$ й $\gamma = 0,6$.

Таким чином, можна сказати, що при зменшенні γ від 1 до 0, \bar{k} зростає, досягаючи значення 1, що відповідає випадку системи з одним приладом (все це при $\alpha = 0,6$, тобто при тому самому значенні сумарної інтенсивності обслуговування).

Якщо γ близько до 1, а φ досить далеко від 0, то значення \bar{k} близько до величини, що відповідає $\gamma = 1$. Наприклад, при $\gamma = 0,6$, маємо $\bar{k} = 0,762$, для $\varphi = 0,5$ й $\bar{k} = 0,739$ для

$\varphi = 1$, таким чином, одержимо зміну величини \bar{k} на $\pm 1,6\%$ у порівнянні зі значенням $\bar{k} = 0,75$ при $\gamma = 1$.

Висновки. Задачу оперативної та продуктивної взаємодії інспектора держпожнадзора зі службами та відомствами щодо розслідування причин та наслідків пожежі під час первинної обробки даних за фактом пожежі доцільно реалізовувати на базі доступних і надійних засобів зв'язку, таких як мобільні телефони. Так як у моделі первинної обробки даних за фактом пожежі використовується система, що базується на передачі даних через GSM-канали, вона може бути реалізована на засобах спеціалізованої обчислювальної техніки вбудованої в мобільні телефони.

В результаті аналізу отриманих результатів встановлено, що для збільшення продуктивності системи введений параметр φ , змінюючи значення якого, можна впливати на продуктивність системи. Оцінкою продуктивності системи визнана кількість заявок, що знаходиться в системі первинної обробки даних за фактом пожежі. У результаті аналізу роботи системи, приріст її продуктивності склав $1,6\%$, що в свою чергу забезпечує покращення роботи інспектора держпожнадзора та економію робочого часу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про інформування органів державного пожежного нагляду про звернення чи доставку до медичних закладів осіб з тілесними пошкодженнями чи отруєннями, отриманими під час пожежі : Наказ МНС та МОЗ України від 7.06.2005 р. №38/253.
2. Про Заходи щодо організації виконання постанови Кабінету Міністрів України від 26 грудня 2003 року № 2030 : Наказ МНС України від 29.01.2004 № 39.
3. Рудницький В.М. Модель підтримки прийняття рішень інспектором держпожнадзора / В.М. Рудницький, І.В. Шостак, О.О. Дядюшенко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Харків. – 2009. – Вип. 2 (76). – С. 124-128.
4. Шостак І.В. Математичне забезпечення підтримки прийняття рішень інспектором державного пожежного нагляду при проведенні збору інформації по пожежі. / І.В. Шостак, О.О. Дядюшенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – Київ. – 2009. – Вип. 4(8). – С. 155-157.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1962. – 564 с.
6. Вентцель Е.С. Задачи и упражнения по теории вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – М. : Высшая школа, 2000. – 366 с.
7. Олзоева С.И. Моделирование и расчет распределенных информационных систем /С.И. Олзоева. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2004. – 67 с.
8. Кофман А. Массовое обслуживание. Теория и приложения / А. Кофман, Р. Крюон. – М. : Мир, 1965. – 302 с.
9. Жожикашвили В.А. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВ / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишневский. – М. : Радио и связь, 1988. – 192 с: ил.

УДК 614.841.332

Е.В. Качкар, к.т.н., Б.Б. Григорьян, к.т.н., доц.,
С.Н. Быченко, к.и.н., АПБ им. Героев Чернобыля,
И.Н. Грицина, к.т.н., доц., НУЦЗУ, Ю.А. Куприенко

ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ СЕНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ С МИНЕРАЛОВАТНЫМИ ПЛИТАМИ

В статье определено и обосновано количество огневых испытаний трехслойных перегородок, данные температурных измерений которых обеспечивают достаточную точность для идентификации ТФХ внутреннего заполнения перегородки и получения зависимости минимальной толщины перегородки от требуемого предела огнестойкости.

Ключевые слова: огнестойкость, параметры, трехслойные перегородки, моделирование

Постановка проблемы. В вопросах обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, где применяются перегородки из сэндвич-панелей, первоочередной задачей их применения ставится определение предела огнестойкости перегородок, для чего при тепловом проектировании огнестойких ограждающих конструкций необходимо знание зависимости минимальной толщины перегородки от требуемого предела огнестойкости. Необходимость такого исследования диктуется, кроме научного интереса, высокой стоимостью проведения испытаний и необходимостью обеспечения максимально возможной информативности и достоверности получаемых экспериментальных данных при минимально возможном количестве проводимых испытаний.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1,2,3] представлены модели теплового состояния строительных конструкций различной сложности и назначения. Однако в этих моделях присутствуют параметры, которые являются индивидуальными для каждой строительной конструкции и известны с недостаточной точностью, поэтому точность решения задач теплопроводности в значительной мере определяется точностью задания параметров модели, что обеспечивает ее адекватность реальным процессам теплообмена в исследуемых строительных конструкциях.

Постановка задачи и ее решение. Задачей исследования является определение минимально необходимого количества образцов для огневых испытаний перегородок состоящих из сэндвич-панелей, которая обеспечивает достоверность расчетов зависимости минимальной толщины перегородки от необходимого предела огнестойкости.

При проведении реального эксперимента, согласно [4] имеются погрешности измерений, которые учитываются в вычислительном эксперименте путем введения в значения температур искусственных ошибок случайного характера, соответствующих уровню реальных ошибок измерений. Обратные задачи, решаются как на «точных» значениях температур (без учета погрешностей экспериментальных измерений), так и на «возмущенных» значениях температур, чтобы показать влияние случайных составляющих ошибок измерений, на точность определения параметров модели. Влияние систематических составляющих ошибок измерений – вопрос сложный в практике реальных измерений, их учет также возможен в вычислительном эксперименте и анализе идентифицируемости, но нами не рассматривается.

Под идентифицируемостью параметров подразумевается процедура, которая показывает, во-первых, принципиальную возможность нахождения параметров с помощью

решения обратных задач и, во-вторых, если они находятся, то с какой погрешностью. Обратные задачи обеспечивают нахождение таких значений параметров модели, которые дают близость экспериментальных и расчетных значений температур в точках измерения исследуемых трехслойных перегородок [5].

Анализ идентифицируемости параметров модели, обычно проводится путем решения тестовых задач [4,6], в которых значения температур в предполагаемых точках измерения определяются из вычислительного эксперимента (расчета температур при заданных параметрах модели, решение прямых задач).

В тестовых задачах с помощью модели, заданных теплофизических характеристик (ТФХ) и граничных условий (ГУ) решением прямых задач теплопроводности, получают нестационарное температурное распределение в перегородке $T(t)$. Затем точки полученной зависимости возмущаются, имитируя ошибки δ измерения температур, и по температурам с погрешностями $T(t) \pm \delta$, обратными задачами определяются ТФХ и ГУ, которые далее сравниваются с заданными. Это дает возможность исследовать алгоритм определения этих ТФХ и ГУ с необходимой точностью, а также установить необходимое количество испытуемых образцов для определения этих параметров модели и зависимости толщины перегородки от предела огнестойкости [6].

Изложение основного материала исследования.

Для определения влияния погрешностей измерений температур на зависимость толщины перегородки от предела огнестойкости, решен ряд тестовых задач, в которых с помощью генератора случайных чисел имитировались ошибки в измерении температуры при испытании. Погрешности измерений вводились с максимальной амплитудой до 10% и представлены на рис 1. Видно, что максимальные различия между температурами достигают 10 °С и больше.

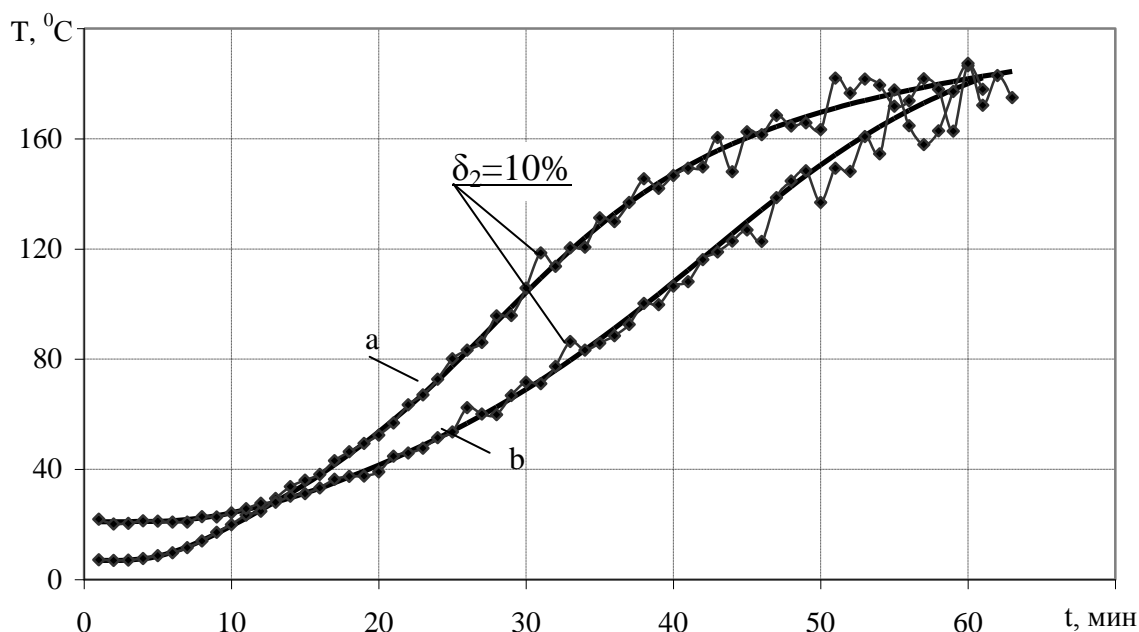


Рисунок 1 – Расчетные и возмущенные до 10 % значения температур на необогреваемой стороне перегородок с толщиной теплоизоляционного слоя 60 (a) и 80 (b) мм

Ниже представлены результаты решения двойных ОЗТ, при которых идентифицировались ТФХ по данным испытаний образцов перегородки с толщиной 60 и 80 мм одновременно. В результате решения двойной ОЗТ получены зависимости коэффициентов теплопроводности (рис. 2) и удельной объемной теплоемкости (рис. 3), которые показывают влияние погрешностей измерений температуры. При этом критерий среднеквадратичного отклонения составил 3,93 °С.

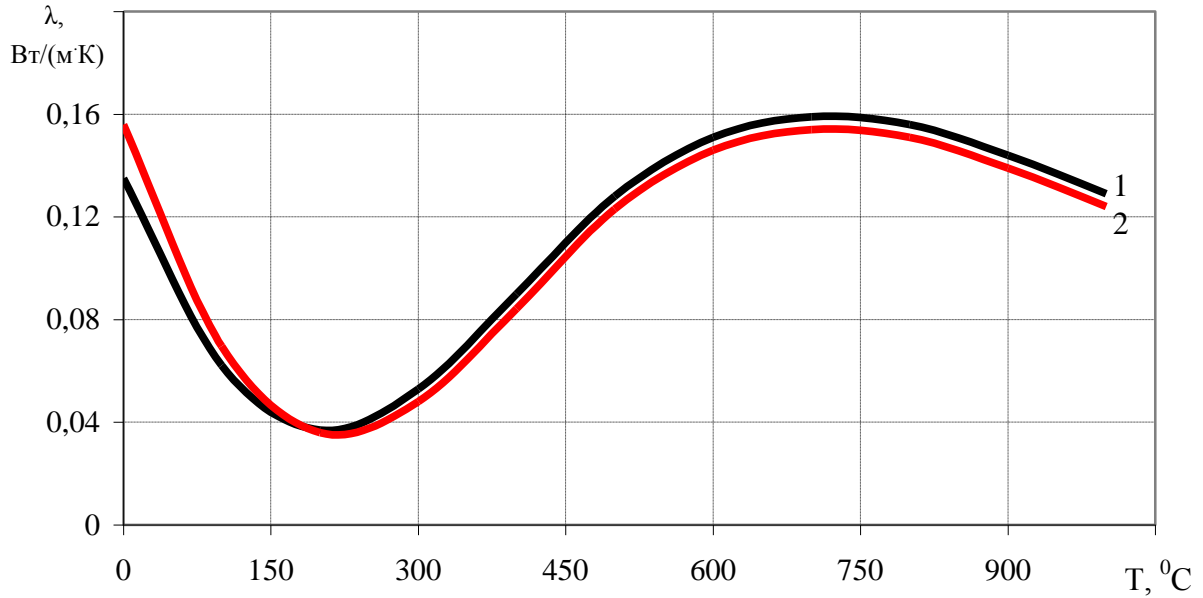


Рисунок 2 – Зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности трехслойных перегородок от температуры, полученных при решении двойной ОЗТ с толщиной теплоизоляционного слоя в перегородках 60 и 80 мм. Кривая 1 – рассчитана при точных значениях температур, 2 – при возмущенных значениях температур до 10%

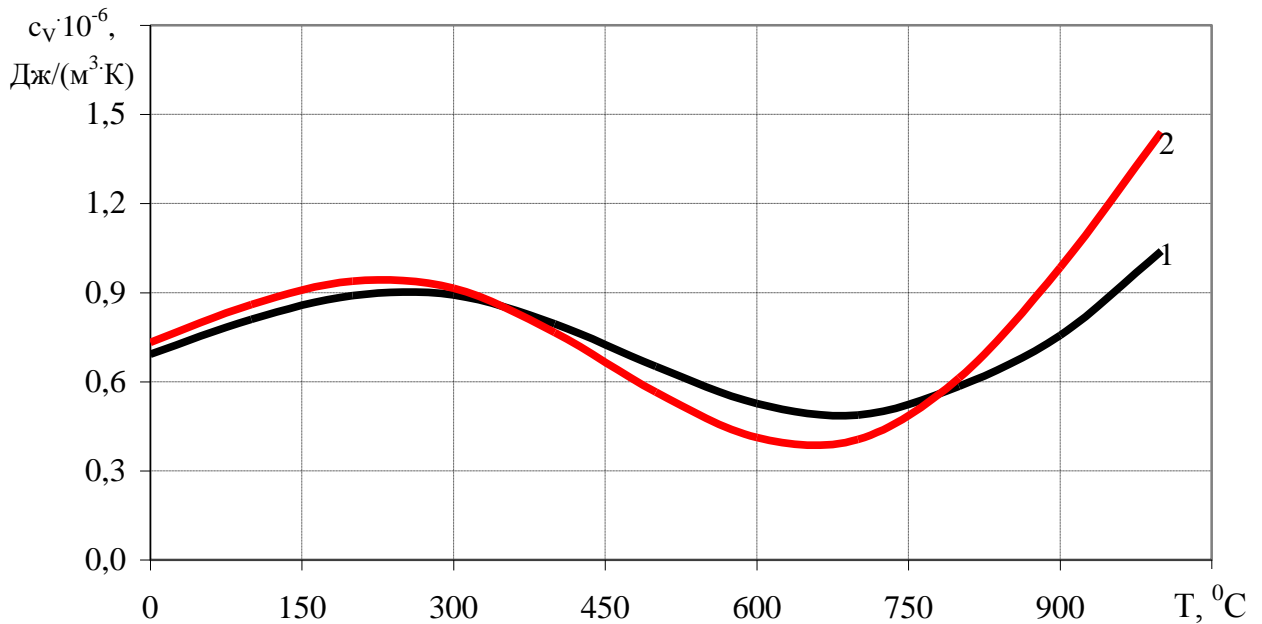


Рисунок 3 – Зависимости эффективных коэффициентов удельной объемной теплоемкости трехслойных перегородок от температуры, с толщиной теплоизоляционного слоя 60 и 80 мм. Кривая 1 – рассчитана при точных значениях температур, 2 – при возмущенных значениях температур до 10%

Из рисунков 1,2 видно, что зависимости ТФХ исследуемых образцов трехслойных перегородок реагируют на весьма существенные погрешности в температурах, но качественно и количественно они не сильно отличаются от точных.

Определение влияния погрешностей измерений температур на зависимость толщины перегородки от предела огнестойкости заключалось в поиске таких ее значений толщины перегородки, для которых температура на не обогреваемой поверхности перегородки составляла 160 °С. При этом во время решения прямой задачи теплопроводности задавали следующие значения параметров модели:

$\alpha_{c1} = 25 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2} \times \text{К}^{-1}$; $\varepsilon = 0,65$; $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{С}$; α_{c2} - значения полученные согласно зависимости (1) и представлены на рис. 4.

$$\alpha_{c2} = 1,66 (|T(X,t) - T_{c2}| + 60 v_B^2 / h)^{0,33} + \varepsilon C_0 [(T(X,t)/100)^4 - (T_{c2}/100)^4] / (T(X,t) - T_{c2}), \quad (1)$$

На рис. 5 представлены результаты исследования влияния количества использованных образцов трехслойных перегородок на зависимость толщины перегородки от предела огнестойкости.

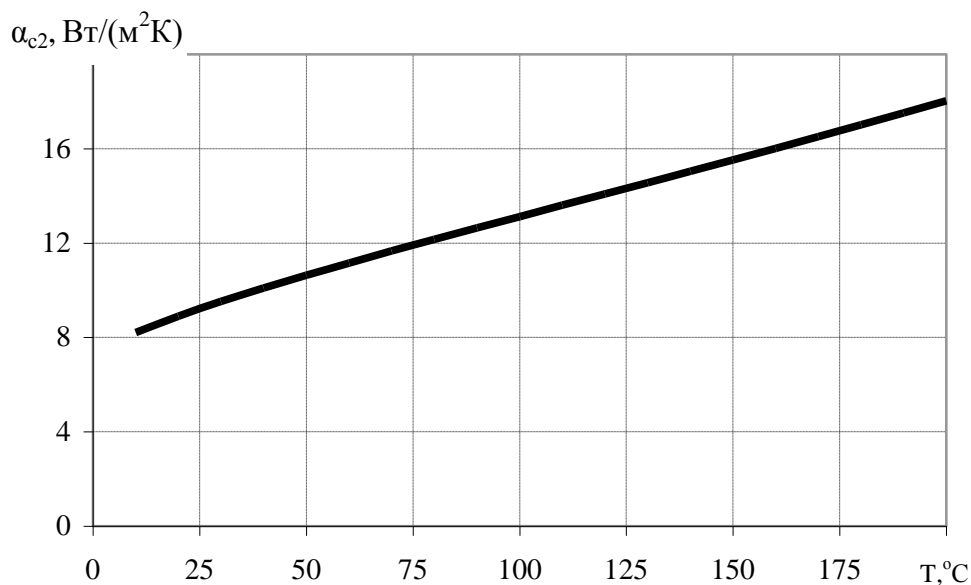


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента теплоотдачи α_{c2} от температуры на поверхности перегородки при $v_B = 1 \text{ м/с}$

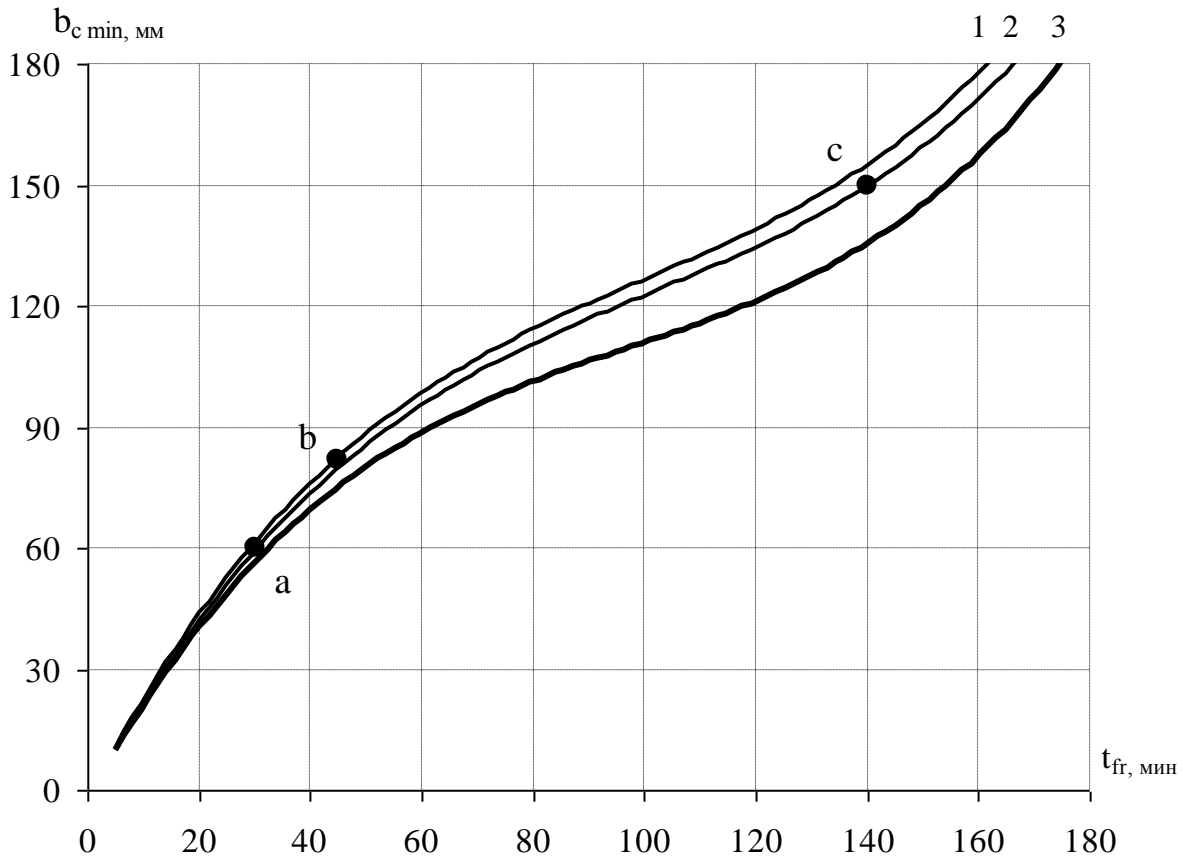


Рисунок 5 – Залежності мінімальної товщини перегородки від виможаного межового часу опірності, отримані за результатами розв'язання тестових завдань

На рис. 5 крива 1 розрахована за температурами з похибкою в виміренні до 10% для перегородки товщиною 60 мм, 2 - за температурами з похибкою в виміренні до 10% для перегородок з товщиною 60 і 80 мм, 3 - за точними температурами. Точки a, b та c значення межового часу опірності, отримані за даними вогневих випробувань зразків перегородок товщиною 60, 80 і 150 мм відповідно окремо. Розходження залежності, знайденої за точними температурами (крива-3) від залежності, знайденої за виміряними температурами для перегородки товщиною 60 мм (крива - 1) і одночасно для перегородки з товщиною 60 і 80 мм (крива - 2) становить 13% і 8% відповідно. Спостерігається також задовільне збігання розрахованого межового часу опірності для перегородки товщиною 80 мм (точка - b) з межовими часами опірності перегородок з товщиною 60 і 150 мм (точки - a, c).

Ці дослідження показали, що для достовірного (в межах 13%) визначення залежності мінімальної товщини перегородки від межового часу опірності в діапазоні 10-180 мин, достатньо результатів температурних вимірень, отриманих при випробуванні перегородки з однією товщиною, наприклад з товщиною 80 мм. Використання результатів температурних вимірень двох зразків, з товщиною 60 і 80 мм, дає незначительне підвищення точності кривої (на 5%).

Для підтвердження отриманого результату, було розв'язано ряд тестових завдань, при постановці яких використовувалися результати температурних вимірень, отриманих в натурних вогневих експериментах, для досліджуваної перегородки [7]. Згідно процедури проведення ідентифікації ТФХ досліджуваної трьохшарової перегородки, описаної вище,

получены зависимости толщины перегородок от предела огнестойкости для перегородок толщиной 60, 80 и 150 мм в отдельности.

Выводы.

1. В работе решена задача определения минимально необходимого количества образцов перегородок при проведении огневых испытаний, для достоверного расчета зависимости минимальной толщины перегородки от предела огнестойкости (в пределах до 13%), которая обеспечивает наилучшую идентифицируемость параметров модели теплопередачи в трехслойной перегородке.

2. Проведенный анализ идентифицируемости параметров модели тепловых процессов в перегородках показал возможность определения ТФХ и зависимости толщины перегородки от пределов огнестойкости по данным температурных измерений при проведении испытания одной перегородки. Это подтверждается для случая построения зависимости толщины перегородки от предела огнестойкости перегородки SANDWICHROCK, фирмы ROCKWOOL толщиной 60 мм и удовлетворительным совпадением расчетного предела огнестойкости с пределами огнестойкости перегородок SANDWICHROCK фирмы ROCKWOOL толщиной 80 и 150 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новак С.В. Вогнезахисна здатність гіпсокартонних плит для сталевих будівельних конструкцій / С.В.Новак, А.В.Довбиш // Науковий вісник УкрНДПБ. – К., 2004. – № 2 (10). – С.102-105.
2. Круковский П.Г. Особенности и сравнение методик огнезащитной способности покрытий металлических конструкций / П.Г.Круковский, С.В.Цвиркун // Науковий вісник УкрНДПБ. – К., 2006. – № 1(13). – С. 13-23.
3. Новак С.В. Математическое моделирование процессов теплообмена в огнестойких конструкциях: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.14.05 «Теоретическая теплотехника» / С.В. Новак. – Харьков, 1996. – 24 с.
4. Защита от пожара. Перегородки. Метод испытания на огнестойкость. Общие требования. (EN 1364-1:1999, NEQ) ДСТУ Б В. 1.1-15-2007 [Чинний від 2007-01-28]. К.: Укрархбудинформ, 2009. – 17 с.
5. Коздоба Л.А. Методы решения обратных задач теплопереноса / Л.А.Коздоба, П.Г.Круковский. – Киев : Наукова думка, 1982. – 360 с.
6. Круковский П.Г. Идентифицируемость параметров модели теплового режима типовой двухкомнатной квартиры / П.Г.Круковский, О.Ю.Тадля // Промышленная теплотехника. – Киев, 2007.– № 5. – С. 54-63.
7. Круковский П.Г., Розробка й апробація методичного забезпечення застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення залежності товщини перегородок від межі вогнестійкості / П.Г.Круковський, Є.В.Качкар // Пожежна безпека: теорія і практика. – Черкаси : АПБ, 2009. – № 3. – С. 98-111.

УДК 614.841:536.46

О. В. Кириченко, к.т.н.,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ТЕРМОДИНАМІЧНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МАГНІЄВИХ СУМІШЕЙ

Наведено результати термодинамічних розрахунків температури та складу продуктів згорання піротехнічних сумішей магнію з нітратом натрію та добавками парафіну, стеарину, нафталіну та антрацену (коефіцієнт надлишку окислювача $\alpha = 0,1...6,0$; відносний вміст добавки $\varepsilon = 0,05...0,20$; зовнішній тиск $P = 10^5...10^7$ Па), які визначають їх пожежну небезпеку для навколишніх об'єктів при передчасному спрацьовуванні як в умовах зберігання, так й при запуску з різних установок.

У теперішній час піротехнічні суміші магнію з нітратом натрію та добавками органічних речовин (парафіну, стеарину, нафталіну та антрацену) широко використовуються у різних галузях народного господарства та військової техніки (суміші для феєрверків, освітлювальні та сигнальні склади, піротехнічні ІЧ-випромінювачі, піропатрони для аерокосмічної техніки тощо) [1, 2, 5, 9 – 31]. При їх спрацьовуванні відбувається руйнування піротехнічних виробів, якими вони споряджаються для отримання спеціальних ефектів (світлових, кольорових, теплових, реактивних тощо), що супроводжується проявом різних чинників пожежі (полум'я або високотемпературний струмінь продуктів згорання, дисперговані продукти (осколки металевих корпусів, розжарені частини зарядів сумішей, іскри тощо)), які можуть призводити до руйнування навколишніх об'єктів, людських жертв та завдають значних матеріальних збитків. Результати використання різних піротехнічних сумішей [5, 9, 16, 17, 23, 26, 30, 31] показують, що до числа найбільш важливих параметрів, які визначають їх пожежну небезпеку при передчасному спрацьовуванні як в умовах зберігання, так й при запусках (в земних умовах, або з літальних апаратів, що рухаються великими швидкостями) є температура та склад продуктів згорання. Особливу пожежну небезпеку мають високотемпературні конденсовані продукти згорання (конденсат), які розлітаються у різні боки, надаючи інтенсивних теплових та силових впливів навколишнім об'єктам. Тому важливо на стадії проектування та стендових випробувань виробів на основі піротехнічних сумішей вміти прогнозувати можливі значення температури та складу продуктів їх згорання залежно від різних чинників (співвідношення компонентів, зовнішнього тиску, складу навколишнього середовища тощо). У теперішній час відсутні експериментальні та теоретичні дослідження вказаних вище пожежонебезпечних властивостей розглядуваних трьохкомпонентних сумішей. При цьому високі температури продуктів згорання, їх хімічна активність та сучасний рівень вимірювальної техніки утруднюють безпосереднє вимірювання цих властивостей. Є лише окремі експериментальні дані з вимірювання температури продуктів згорання та високотемпературного конденсату, включаючи й неокислений метал, для інших піротехнічних сумішей: вимірювання температури горіння проводилися за допомогою вольфрам-ренієвих термопар, спаї яких були захищені спеціальними екранами від налипання металу та його оксиду, а відбір високотемпературних конденсованих продуктів з зони полум'я здійснювався за допомогою спеціальних зондів [3, 5, 9, 13, 26, 27]. Тому основними методами дослідження температури згорання піротехнічних сумішей та складу продуктів їх згорання на даний момент є методи термодинамічних розрахунків, докладний опис яких можна знайти в роботах [5 – 9, 31 – 33]. Зіставлення результатів термодинамічних розрахунків з вказаними окремими експериментальними даними показало, що точність цих методів знаходиться в межах 10...12 %. Метою даної роботи є термодинамічні розрахунки і аналіз впливу співвідношення

компонентів та зовнішнього тиску на температуру та склад продуктів згорання піротехнічних сумішей магнію з нітратом натрію та добавками парафіну, стеарину, нафталіну та антрацену.

Результати термодинамічних розрахунків та їх аналіз

Аналіз результатів розрахунків (рис. 1 – 4) показує, що незалежно від природи добавки крива $T_2(\alpha)$ при різних тисках має максимум T_{2max} . Вплив добавки на температуру T_2 полягає в наступному. По-перше, при введенні добавок парафіну, нафталіну і антрацену в суміш значення T_2 при $\alpha = 0,1$, на відміну від суміші з добавкою стеарину, більше, ніж при $\alpha = 6,0$. По-друге, введення добавки стеарину в суміш незалежно від коефіцієнта надлишку окислювача і тиску призводить до помітного зменшення T_2 . Введення ж добавок парафіну, нафталіну і антрацену в суміш призводить до помітного зменшення T_2 незалежно від α тільки в області знижених тисків, в області ж підвищених тисків для великих α ($\alpha > 5,0$), навпаки, збільшення добавок вказаних речовин призводить до зростання T_2 .

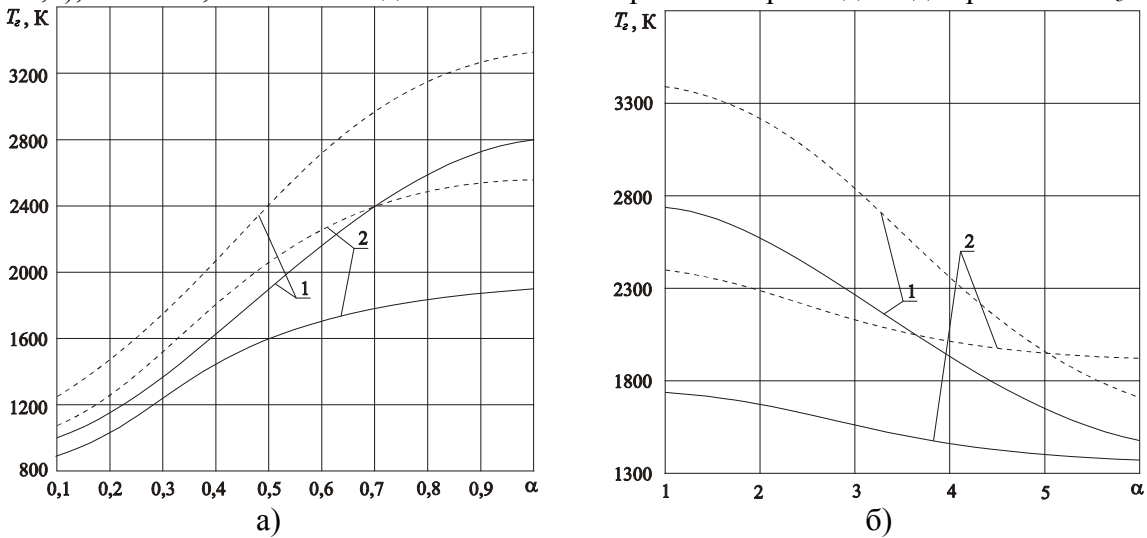


Рисунок 1 – Вплив добавок парафіну на залежність температури продуктів згорання суміші магнію з нітратом натрію від коефіцієнта надлишку окислювача: 1 – 4 % парафіну; 2 – 20 % парафіну; ————— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па; а) – криві для співвідношень $\alpha = 0,1...1,0$; б) – криві для співвідношень $\alpha = 1,0...5,0$

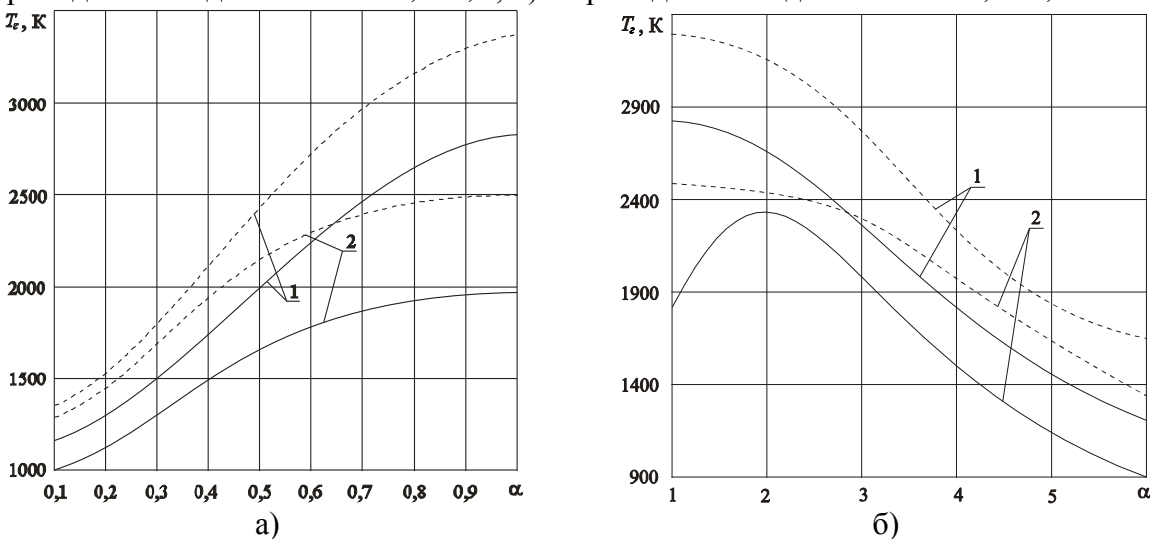


Рисунок 2 – Вплив добавок стеарину на залежність температури продуктів згорання суміші магнію з нітратом натрію від коефіцієнта надлишку окислювача: 1 – 5 % стеарину; 2 – 20 % стеарину; ————— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па; а) – криві для співвідношень $\alpha = 0,1...1,0$; б) – криві для співвідношень $\alpha = 1,0...6,0$

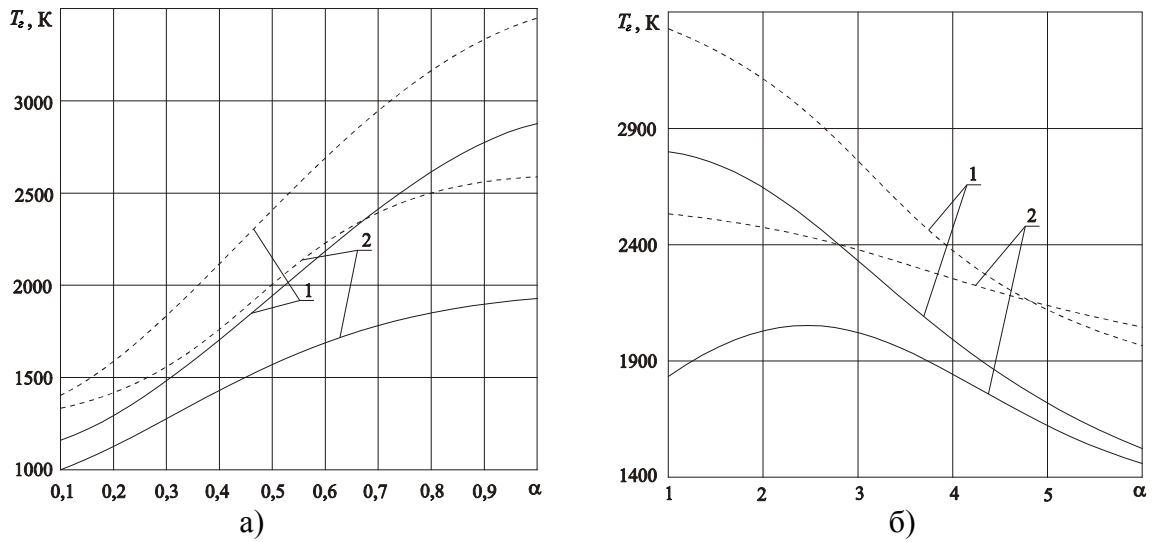


Рисунок 3 – Вплив добавок нафталіну на залежність температури продуктів згорання суміші магнію з нітратом натрію від коефіцієнта надлишку окислювача: 1 – 5 % нафталіну; 2 – 20 % нафталіну; ————— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па; а) – криві для співвідношень $\alpha = 0,1...1,0$; б) – для співвідношень $\alpha = 1,0...6,0$

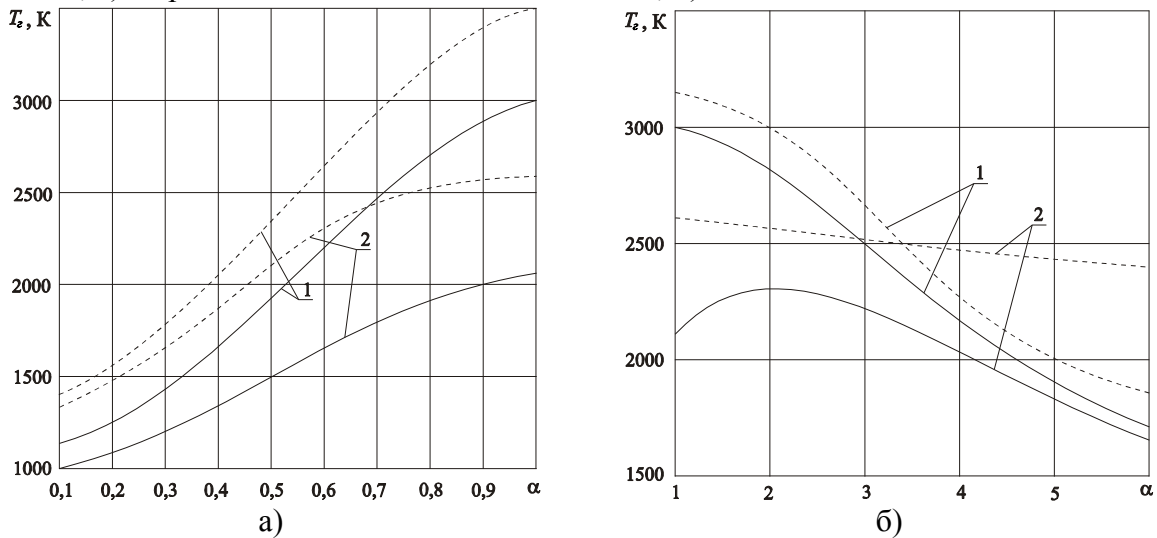


Рисунок 4 – Вплив добавок антрацену на залежність температури продуктів згорання суміші магнію з нітратом натрію від коефіцієнта надлишку окислювача: 1 – 5 % антрацену; 2 – 20 % антрацену; ————— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па; а) – криві для співвідношень $\alpha = 0,1...1,0$; б) – криві для співвідношень $\alpha = 1,0...5,0$

По-третє, при введенні добавок стеарину, нафталіну і антрацену в суміш відбувається зсув положення максимуму T_{zmax} у бік надлишку окислювача (з $\alpha_{T_{zmax}} = 0,9...1,0$ для подвійної суміші на $\alpha_{T_{zmax}} = 2,0...3,0$ для потрійної суміші), чого не спостерігається при введенні добавки парафіну в суміш. При цьому, збільшення тиску від 10^4 Па до 10^7 Па, наприклад, при введенні добавки парафіну в суміш практично не позначається на положенні вказаного максимуму, а у разі введення добавок стеарину, нафталіну і антрацену в суміш – максимум зміщується у бік стехіометрії (з $\alpha_{T_{zmax}} = 2,0...3,0$ для $P = 10^5$ Па на $\alpha_{T_{zmax}} = 0,9...1,0$ для $P = 10^7$ Па). І, нарешті, збільшення добавки парафіну в суміші незалежно від тиску практично не позначається на характері залежності $T_z(\alpha)$, тоді як збільшення добавок стеарину, нафталіну і антрацену в суміші при зниженому тиску призводить до зсуву положення максимуму у бік стехіометрії, а при підвищеному тиску – також не позначається на характері залежності $T_z(\alpha)$.

Введення в суміш добавок парафіну, стеарину, нафталіну і антрацену суттєво впливає на якісний і кількісний склад продуктів згорання. За даними розрахунку незалежно від природи добавки основними продуктами згорання (десяті і соті частки) є: гази – H_2^{Γ} , N_2^{Γ} , CO^{Γ} , Na^{Γ} , Mg^{Γ} ; конденсати – Mg^{K} , MgO^{K} . Якщо порівняти отриманий склад продуктів згорання з складом продуктів згорання подвійної суміші, то можна побачити, що за наявності добавок в суміші газоподібних продуктів згорання відсутній O_2 і MgO , а серед конденсованих продуктів згорання – $\text{Na}_2\text{O}^{\text{K}}$. На рис. 5 – 8 на прикладі суміші магнію з нітратом натрію і добавками нафталіну показана залежність концентрацій продуктів згорання, що містяться в найбільшій кількості, від коефіцієнта надлишку окислювача і тиску. З цих даних можна бачити, що якісний і кількісний склад продуктів згорання найбільш сильно залежить від коефіцієнта надлишку окислювача і менш сильно – від тиску. При цьому, результати розрахунків показують, що вплив природи добавки на склад продуктів згорання практично такий же, як для концентрації неокисленого магнію (рис. 9).

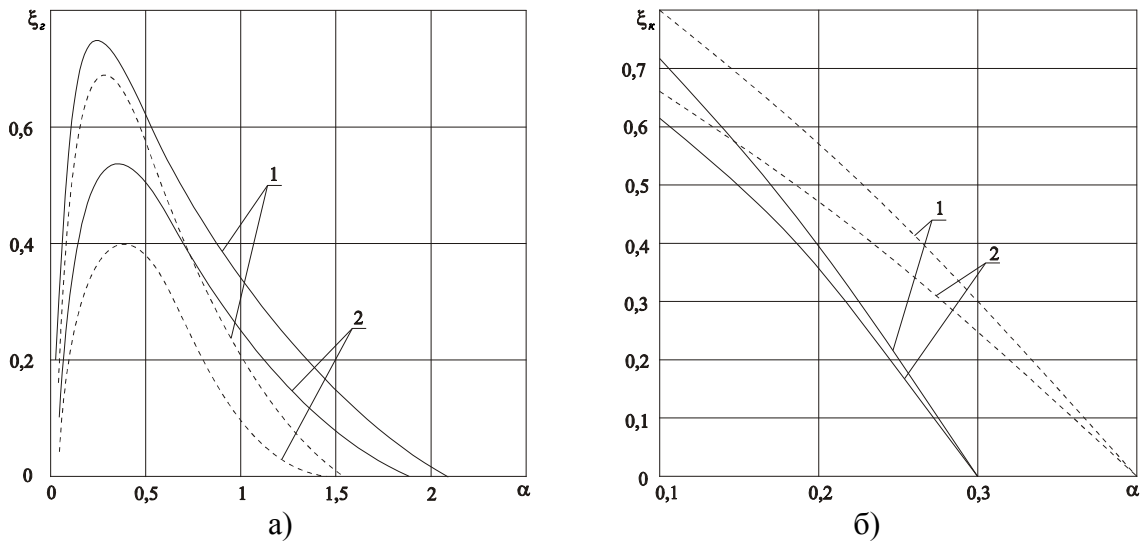


Рисунок 5 – Вплив добавок нафталіну на залежність від α об'ємного вмісту Mg^{Γ} (а) і масової частки конденсованого Mg^{K} (б) в продуктах згорання суміші магнію з нітратом натрію: 1 – 5 % нафталіну; 2 – 20 % нафталіну; ———— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па

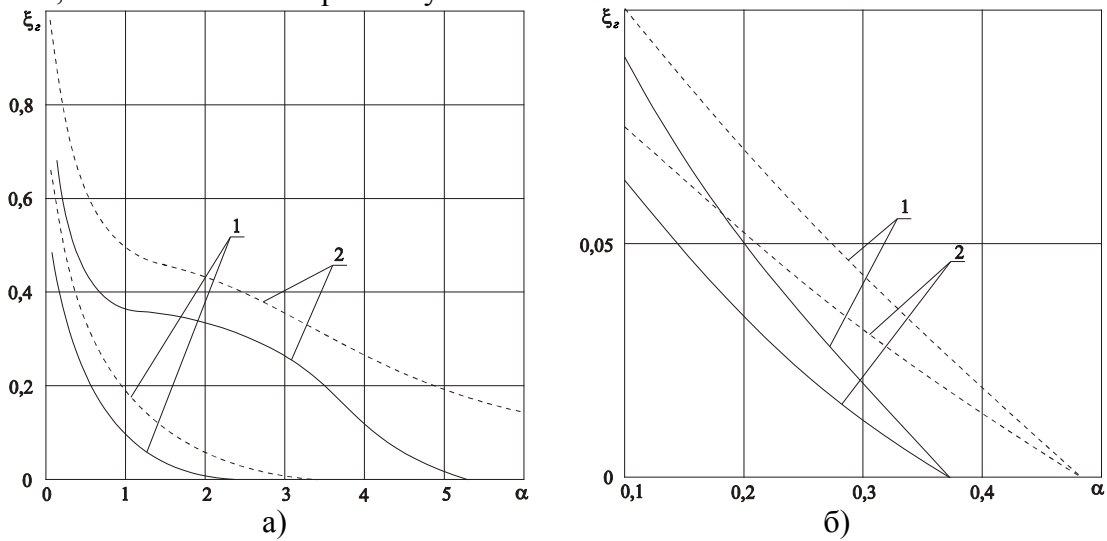


Рисунок 6 – Вплив добавок нафталіну на залежність від α об'ємного вмісту H_2^{Γ} (а) і N_2^{Γ} (б) в продуктах згорання суміші магнію з нітратом натрію: 1 – 20 % нафталіну; 2 – 5 % нафталіну; ———— – при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - – при тиску $P = 10^7$ Па

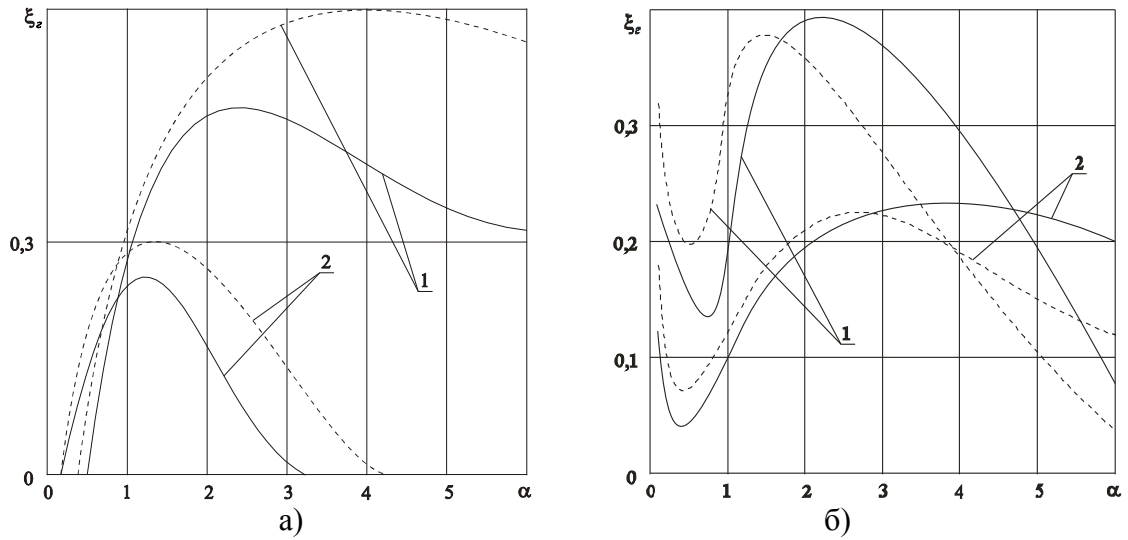


Рисунок 7 – Вплив добавок нафталіну на залежність від α об'ємного вмісту CO^{Γ} (а) і Na^{Γ} (б) в продуктах згорання суміші магнію з нітратом натрію: 1 – 20 % нафталіну; 2 – 5 % нафталіну; ————— при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - при тиску $P = 10^7$ Па

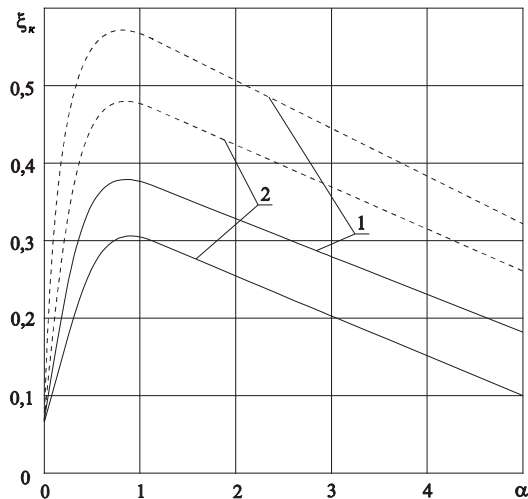


Рисунок 8 – Вплив добавок нафталіну на залежність від α масової частки конденсованого MgO^{κ} в продуктах згорання суміші магнію з нітратом натрію: 1 – 5 % нафталіну; 2 – 20 % нафталіну; ————— при тиску $P = 10^5$ Па; - - - - - при тиску $P = 10^7$ Па

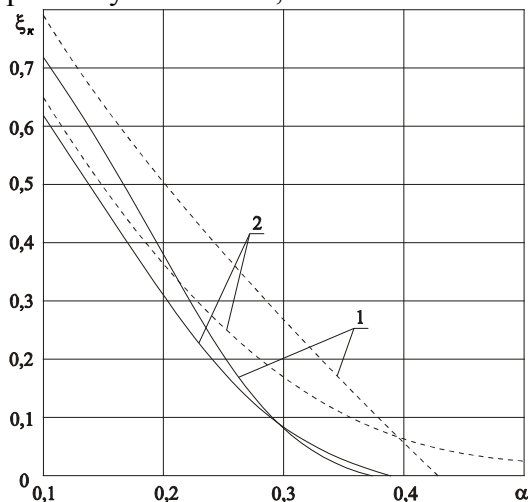


Рисунок 9 – Вплив добавок нафталіну на залежність від α масової частки неокисленого Mg^{κ} в продуктах згорання суміші магнію з нітратом натрію (решта позначень аналогічна рис. 8)

Висновки

1. Встановлено, що незалежно від природи органічної добавки та її відносного вмісту в суміші ($\varepsilon = 0,05 \dots 0,20$) для діапазону зміни коефіцієнта надлишку окислювача $\alpha = 0,1 \dots 6,0$ та зовнішнього тиску $P = 10^5 \dots 10^7$ Па залежність температури продуктів згорання $T_2(\alpha)$ має максимум $T_{2max} = 1810 \dots 3153$ К – для парафіну, $1818 \dots 2396$ К – для стеарину, $1838 \dots 3253$ К – для нафталіну, $1840 \dots 3257$ К – для антрацену.

2. Отримано, що збільшення зовнішнього тиску від $P = 10^5$ Па до $P = 10^7$ Па не впливає на положення максимуму на кривій $T_2(\alpha)$ при введенні у суміш добавок парафіну, та, навпаки, призводить до його зміщення з $\alpha_{T_{2max}} = 2,0 \dots 3,0$ до $\alpha_{T_{2max}} = 0,9 \dots 1,0$ – для добавок стеарину, нафталіну та антрацену.

3. Встановлено, що незалежно від природи органічної добавки основними продуктами згорання сумішей є наступні газоподібні та конденсовані речовини (десяті та соті частки): H_2^r , N_2^r , CO^r , Na^r , Mg^r , Mg^k , MgO^k ; при цьому їх кількісний вміст найбільш сильно залежить від коефіцієнта надлишку окислювача та менш сильно – від зовнішнього тиску.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шидловский А.А. Основы пиротехники / А.А. Шидловский – М. : Машиностроение, 1973. – 320 с.
2. Шидловский А. А. Пиротехника в народном хозяйстве / А.А. Шидловский, А.И.Сидоров, Н.А. Силин. – М. : Машиностроение, 1978. – 231 с.
3. Силин Н.А. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / Н.А. Силин, В.А. Ващенко, Л.Я. Кашпоров. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
4. Силин Н.А. Окислители гетерогенных конденсированных систем / Н.А.Силин, В.А.Ващенко, Л.Я. Кашпоров. – М.: Машиностроение, 1978. – 456 с.
5. Силин Н.А. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем / Н.А.Силин, В.А.Ващенко, Л.Я. Кашпоров. – М. : Машиностроение, 1982. – 232 с.
6. Калмыков В.В. Термодинамический расчет высокометаллизированных конденсированных систем / В.В. Калмыков, В.Л. Климов // Тезисы докладов II Всесоюзной конференции по технологическому горению. – Черногловка: ОИХФ АН СССР, 1978. – с. 49.
7. Климов В.Л. Расширенный вариант методики термодинамического расчета плотных гетерогенных систем / В.Л. Климов, Э.А. Качина, Т.Г. Данилова // Химия и химическая технология, 1970. – 13. – вып. 6.
8. Методы термодинамического прогнозирования пожароопасных свойств металлизированных конденсированных систем / [О.В.Кириченко, В.В. Цыбулин, В.А.Ващенко и др.] // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2006. – № 1. – С. 146 – 152.
9. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, Ю. Г. Лега и др.]. – К.: Наукова думка, 2008 – 745 с.
10. Экспериментально-статистические модели для расчета зависимостей скорости и концентрационных пределов горения пиротехнических нитратных систем от скорости обдува потоком воздуха / [О. В.Кириченко, В. Д. Акиншин, Б. О. Яхно и др.] // Вестник НТУУ “КПИ”. – К.: Машиностроение, 2008. – № 52. – С. 58 – 66.
11. Экспериментальные исследования различных режимов горения пиротехнических нитратных систем в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха и осесимметричного вращения / [В. А. Ващенко, О. В. Кириченко, В. Д. Акиншин и др.] // Науковий вісник УкрНДІПБ, 2008. – № 2(18). – с. 102 – 109.

12. Кириченко О. В. Определение участков на поверхности металлических корпусов пиротехнических изделий, подвергающихся разрушениям в условиях эксплуатации / О. В. Кириченко // Вісник Черкаського державного технологічного університету, 2008. – № 1. – С. 149 – 154.
13. Кириченко О.В. Моделирование предельных, неустойчивых режимов горения пиротехнических нитратных систем с учетом агломерации металлического горючего/ О. В. Кириченко // Науковий вісник УкрНДПБ, 2008. – № 1(17). – С. 78 – 86.
14. Зависимости скорости горения пиротехнических нитратных систем от соотношения компонентов, нахождение концентрационных пределов горения в условиях повышенных скоростей обдува потоком воздуха / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Вісник Приазовського державного технічного університету, 2008. – вип. 18. – С. 257 – 261.
15. Кириченко О. В. Влияние повышенных угловых скоростей вращения на скорость и концентрационные пределы горения пиротехнических нитратных систем / О. В. Кириченко // Вісник Приазовського державного технічного університету, 2008. – вип. 19. – С. 131 – 135.
16. Обоснование условий повышения эффективности применения пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха и осесимметричного вращения / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Науковий вісник УкрНДПБ, 2008. – № 2(18). – С. 91 – 101.
17. Кириченко О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения / О. В. Кириченко // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 2. – С. 89 – 94.
18. Кириченко О. В. Дослідження впливу температури нагріву та зовнішнього тиску на залежності швидкості горіння ПНС від співвідношення компонентів та концентраційні межі горіння / О. В. Кириченко // Сб. “Труды Одесского национального политехнического университета”, 2010. – вып. 2(6). – С. 191 – 196.
19. Кириченко О. В. Дослідження впливу надзвукового обдуву потоком повітря та вісесимметричного обертання на залежності швидкості горіння ПНС від співвідношення компонентів та концентраційні межі горіння / О. В. Кириченко // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 3. – С. 95 – 100.
20. Экспериментально-статистические модели для расчета зависимостей скорости и концентрационных пределов горения пиротехнических нитратных систем от скорости обдува потоком воздуха / [О.В.Кириченко, В.Д.Акиншин, Б.О. Яхно и др.] // Вестник НТУУ “КПИ”. Машиностроение. – 2008. – № 52. – С. 58 – 66.
21. Зависимости скорости горения пиротехнических нитратных систем от соотношения компонентов, нахождение концентрационных пределов горения в условиях повышенных скоростей обдува потоком воздуха / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Вісник Приазовського державного технічного університету, 2008. – вип. 18. – С. 257– 261.
22. Экспериментальные исследования различных режимов горения пиротехнических нитратных систем в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха и осесимметричного вращения / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2008. – № 2. – С. 102 – 109.
23. Обоснование условий повышения эффективности применения пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха и осесимметричного вращения / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2008. – № 2(18). – С. 91 – 101.
24. Влияние сверхзвукового обдува потоком воздуха и осесимметричного вращения на предельные неустойчивые режимы горения пиротехнических систем / [В.А.Ващенко, О.В. Кириченко, В.В.Цыбулин и др.] // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 2. – С. 77 – 82.

25. Влияние повышенных температур нагрева и внешних давлений на режимы горения пиротехнических нитратных систем / [О.В.Кириченко, П.И.Заика, В.В.Цыбулин и др.] // Вісник ЧДТУ, 2008. – № 3. – С. 172 – 176.
26. Моделирование пожаровзрывоопасных режимов горения нитратных систем при применении пиротехнических изделий / [Кириченко О.В., Цыбулин В.В., Яценко И.В., Ващенко В.А.] // Вісник ЧДТУ, 2008. – № 4. – С. 35 – 41.
27. Комплекс випробувальних установок, що моделюють реальні умови застосування піротехнічних нітратовмісних виробів / [В.А. Ващенко, О.В. Кириченко, В.Д.Акиншин и др.] // Науковий вісник УкрНДПБ, 2009. – № 1(19). – С. 127 – 137.
28. Реакції, що протікають у конденсованій фазі та полум'ї при горінні піротехнічних нітратно-алюмінієвих систем / [Кириченко О.В., Ващенко В.А., Заїка П.І., Цибулін В.В.] // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 4. – С. 75 – 80.
29. Аналіз реакцій, що протікають у конденсованій фазі та полум'ї при горінні піротехнічних нітратно-магнієвих систем / [Кириченко О.В., Ващенко В.А., Заїка П.І., Цибулін В.В.] // Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – № 2. – С. 60 – 66.
30. Вибухонебезпечні режими горіння потрійних піротехнічних нітратовмісних систем в умовах зустрічного обдуву потоком повітря та обертання / [Кириченко О.В., Ващенко В.А., Заїка П.І., Цибулін В.В.] // Вісник ЧДТУ, 2010. – № 2. – С. 152 – 158.
31. Вплив органічних домішок на вибухонебезпечні режими горіння піротехнічних нітратовмісних систем в умовах підвищених температур нагріву і зовнішніх тисків / [О.В. Кириченко, В.А.Ващенко, П.І. Заїка та ін.] //Вісник ЧДТУ, 2010. – № 3. – С. 37 – 43.
32. Термодинамічні розрахунки температури та складу продуктів згорання нітратно-цирконієвих сумішей / [Кириченко О.В., Ващенко В.А., Заїка П.І., Тупицький В.М.] // Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – № 3. – С. 53 – 57.
33. Термодинамічні розрахунки температури та складу конденсату в продуктах згорання піротехнічних нітратно-титанових сумішей / [Кириченко О.В., Ващенко В.А., Заїка П.І., Цибулін В.В.] // Вісник ЧДТУ, 2010. – № 4. – С. 173 – 177.

УДК 614

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., С.Ю. Дмитровський, к.т.н.,
Я.Б. Кирилів, к.т.н., О.В. Хлевной, ЛДУБЖД

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

В роботі проаналізовано температурні режими, що застосовуються при випробуванні будівельних конструкцій на вогнестійкість. На основі математичної моделі проведене розрахункове порівняння температурних полів в будівельних конструкціях при стандартному температурному режимі та при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою. На основі отриманих даних обґрунтовано необхідність детального дослідження температурного режиму пожеж в машинних залах АЕС.

Ключові слова: стандартний температурний режим, вуглеводнева крива, водень, машинний зал АЕС

Постановка проблеми. В Україні перші енергоблоки атомних електростанцій були введені в експлуатацію в період з 1981 по 1987 рік, в найближчі 10 років завершується їх проектний ресурс. На даний час здійснюється розробка заходів із підготовки реакторів до роботи у надпроектний термін. Одним із таких заходів є підвищення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. Це завдання вирішується шляхом нанесення на поверхню конструкцій вогнезахисних покриттів.

Для з'ясування ефективності вогнезахисту будівельних конструкцій покриттями після їх нанесення необхідно визначити межі вогнестійкості будівельних конструкцій відповідно до затверджених у встановленому порядку методик. При цьому прийняті умови температурного впливу повинні бути максимально наближеними до реальних. Для цього необхідно максимально точно відтворити температурний режим при пожежі. Практика і спеціально проведені дослідження показали, що температурний режим під час пожежі в приміщенні залежить від кількості і властивостей горючих матеріалів, розмірів приміщення, умов теплообміну та газообміну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливий вклад у експериментальні та теоретичні дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій внесли Яковлев А.І., Ройтман В.М., Романенков І.Г., Харченко І.О., Новак С.В., Демчина Б.Г., Бартелемі Б., Магнусон С., Накамура К., та ін. Огляд існуючих методик випробувань будівельних конструкцій наведено у роботах Круковського П.Г., Качкара С.В., та ін. За результатами аналізу робіт цих авторів, можна зробити висновок, що переважна більшість експериментальних та теоретичних даних отримані при врахуванні умов теплового впливу за стандартним температурним режимом. Це дозволяє сформулювати мету роботи.

Мета роботи – порівняння меж вогнестійкості будівельних конструкцій при різних температурних режимах та обґрунтування необхідності дослідження температурного режиму пожежі при горінні водню.

Одним із основних завдань пожежної профілактики є врахування на всіх стадіях капітального будівництва або реконструкції об'єктів будь-якого призначення здатності будівельних конструкцій зберігати свої властивості в умовах пожежі, у тому числі забезпечувати необхідну межу вогнестійкості.

На сьогодні керівним документом, який регламентує випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість, є ДСТУ Б.В. 1.1-4-98 "Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги". Згідно з цим документом, випробування будівельних конструкцій проводяться за стандартним температурним режимом, що не завжди повною мірою відтворює реальні умови пожежі. У

закордонній практиці випробування проводяться за різними температурними кривими залежно від області застосування будівельних конструкцій. Так, зокрема, відомі температурні тунельні криві Нідерландів та Німеччини, вуглеводнева крива, крива тліючої пожежі тощо [1].

У 2008 році було затверджено ДБН В.1.2-7-2008. "Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека", де зазначено, що для підтвердження вогнестійкості в умовах більш інтенсивного впливу (особливо за більш високої швидкості наростання температури) доцільно використовувати вуглеводневу криву

Для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій будь-яких видів, за винятком тих в яких основним граничним станом з вогнестійкості є втрата цілісності конструкції, а також для оптимізації конструктивних параметрів будівельних конструкцій з метою забезпечення необхідної вогнестійкості, можуть бути застосовані розрахункові методи визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій [2]. При визначенні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розрахунковим методом використовують стандартний температурний режим як модель повністю розвиненої пожежі. Ця крива визначається залежністю:

$$T = 345 \lg(8 \cdot t + 1) + 20 \quad (1)$$

де T – температура газу в печі, °С;

t – тривалість теплового впливу протягом вогневого випробування, хв.

Стандартний температурний режим відображає умовну модель, що використовується для оцінювання поведінки виробів під впливом повністю розвиненої пожежі. Прийняття цієї кривої температура/час є спрощеним представленням термічної дії пожежі.

У деяких випадках інтенсивність теплового впливу під час реальної пожежі може бути більшою ніж та, що відтворюється в стандартному температурному режимі. Для підтвердження вогнестійкості в умовах більш інтенсивного впливу (особливо за більш високої швидкості наростання температури) використовується вуглеводнева крива, яка визначається залежністю [1,3]:

$$T = 1080 [1 - 0.325 \exp(-0,167 \cdot t) - 0,675 \exp(-2,5 \cdot t)] + 20. \quad (2)$$

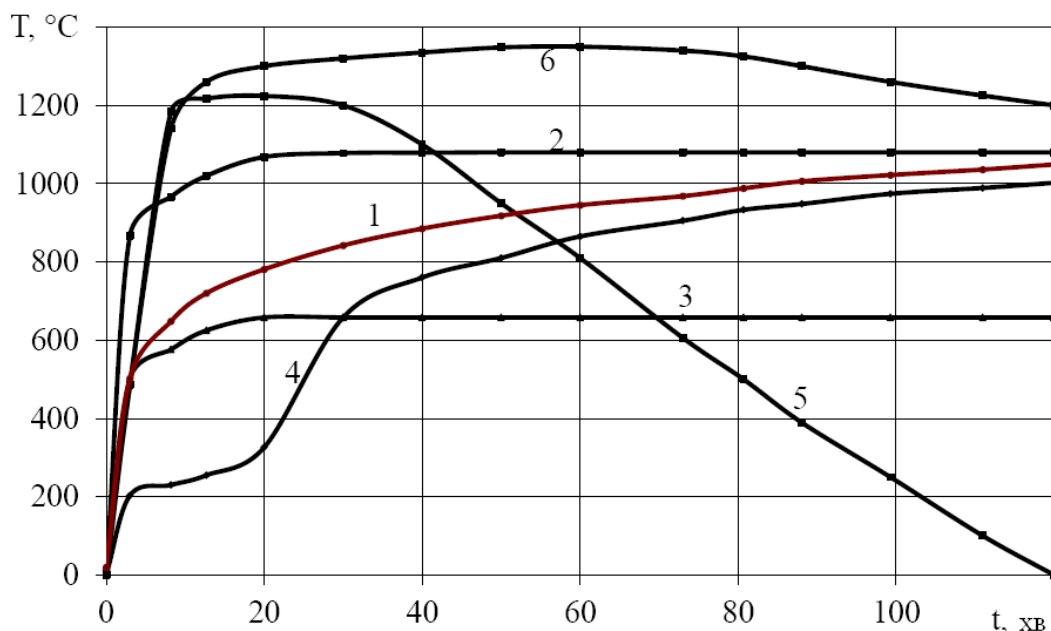


Рисунок 1 – Температурні режими:

1 – стандартний температурний режим (ISO 834); 2 – вуглеводнева крива (EN 1363-2: 1999); 3 – мінімізована єдина стандартна температурна крива (ISO 834); 4 – крива тліючої пожежі (EN 1363-2: 1999); 5 – тунельна крива за стандартом Німеччини (RABT); 6 – тунельна крива за стандартом Нідерландів (RWS)

Нами було проведено порівняння меж вогнестійкості за втратою теплоізолюючої

здатності ідентичних залізобетонних конструкцій при стандартному температурному режимі і при режимі, заданому вуглеводневою кривою.

Для цього ми представили будівельну конструкцію у вигляді безмежної плоскої стінки товщиною l , поверхні якої паралельні площині YOZ декартової системи координат та є ізотермічними поверхнями. Рівняння теплопровідності для стінки має вигляд [4]:

$$\frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad (0 < x < l; 0 < \tau). \quad (3)$$

В початковий момент часу розподіл температурного поля по товщині стінки відомий, тобто

$$t(x, 0) = f(x), \quad (0 \leq x \leq l). \quad (4)$$

Вважаємо, що на зовнішніх поверхнях плоскої стінки задано конвекційний теплообмін із навколишнім середовищем за законами:

$$\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_0(t(0, \tau) - t_{\delta}(0, \tau)), \quad -\lambda \frac{\partial t(l, \tau)}{\partial x} = \alpha_1(t(l, \tau) - t_{\delta}(l, \tau)), \quad (5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки; α_0 – коефіцієнт теплообміну між навколишнім середовищем та поверхнею стінки при $\delta=0$; α_1 – коефіцієнт теплообміну між навколишнім середовищем та поверхнею стінки при $\delta=l$; $t_0(0, \tau)$ – закон зміни температури навколишнього середовища за межами теплового приповерхневого шару біля поверхні $x=0$; $t_p(l, \tau)$ – закон зміни температури навколишнього середовища за межами теплового приповерхневого шару біля поверхні $x=l$.

Для розв'язування задачі теплопровідності (3) – (5) використаємо перетворення Лапласа по координаті τ . При цьому вважаємо, що

$$t_{\delta}(0, \tau) = b_{00} + b_{10}\tau \quad \text{і} \quad t_{\delta}(l, \tau) = b_{01} + b_{11}\tau, \quad (6)$$

Розв'язавши задачі теплопровідності (3) – (5) за умови (6) отримаємо:

$$\begin{aligned} t(x, \tau) = & \frac{\alpha_0 b_{10}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{11}(\alpha_0 x + \lambda)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} \tau + \\ & + \frac{\alpha_0 b_{00}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{01}(\alpha_0 x + \lambda) + \frac{\alpha_0 b_{10}}{a} \left(\frac{\alpha_1(l-x)^3}{3!} + \frac{\lambda(l-x)^2}{2!} \right)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} + \\ & + \frac{\alpha_1 b_{11} \left(\frac{\alpha_0 x^3}{3!} + \frac{\lambda x^2}{2!} \right)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} - \frac{\alpha_0 b_{10}(\alpha_1(l-x) + \lambda) + \alpha_1 b_{11}(\alpha_0 x + \lambda)}{\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda} \times \frac{\alpha_0 \alpha_1 l^3 + \lambda^2 l + \frac{(\alpha_0 + \alpha_1) \lambda l^2}{2!}}{a(\alpha_0 \alpha_1 l + (\alpha_0 + \alpha_1) \lambda)} + \\ & + \sum_{i=1}^{\infty} \left(\alpha_0 \left(\frac{b_{10}}{\gamma_i^4} - \frac{b_{00}}{\gamma_i^2} \right) \left(\alpha_1 \sin \frac{\gamma_i(l-x)}{\sqrt{a}} + \frac{\lambda \gamma_i}{\sqrt{a}} \cos \frac{\gamma_i(l-x)}{\sqrt{a}} \right) + \right. \\ & \left. + \left(\alpha_0 \sin \frac{\gamma_i x}{\sqrt{a}} + \frac{\lambda \gamma_i}{\sqrt{a}} \cos \frac{\gamma_i x}{\sqrt{a}} \right) \left(\alpha_1 \left(\frac{b_{11}}{\gamma_i^4} - \frac{b_{01}}{\gamma_i^2} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\lambda}{a} \int_0^l f(\xi) \cos \frac{\gamma_i(\xi-l)}{\sqrt{a}} d\xi - \frac{\alpha_1}{\gamma_i \sqrt{a}} \int_0^l f(\xi) \sin \frac{\gamma_i(\xi-l)}{\sqrt{a}} d\xi \right) \right) \frac{e^{-\gamma_i^2 \tau}}{\Delta'(\gamma_i)} \quad (7) \end{aligned}$$

На основі залежності (7), використовуючи математичний редактор MathCad, ми визначили і порівняли розподіл температурних полів у будівельних конструкціях за двох температурних режимів – стандартного і заданого вуглеводневою кривою. Отримані результати дають можливість стверджувати, що прогрів сторони конструкції, що не обігривається, до температури 200°C при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою настає на 9-14% швидше, залежно від матеріалу конструкції. Тобто, при температурному режимі пожежі більш жорсткому

від стандартного, межа вогнестійкості конструкцій може не відповідати вимогам нормативно регламентованого ступеня вогнестійкості будівлі.

Основним чинником пожежної безпеки атомних електростанцій є водень, що використовується для охолодження турбогенераторів та виділяється з реактора при нормальних режимах роботи електростанції та в аварійних ситуаціях. Приміщеннями, в яких можливе виникнення вибухонебезпечних концентрацій, є реакторне відділення, машинні зали, електролізні та акумуляторні. Горіння водню може зіграти вирішальну роль у руйнуванні або прискоренні руйнування захисної оболонки при аварії, пов'язаній із розривом головного циркуляційного трубопроводу реактора, а також при аварії з повною втратою пристроїв безпеки.

Згідно з довідковими даними, вибухонебезпечні властивості водневої суміші з повітрям характеризуються такими даними: область займання (4,12-75,4)% обсягу, мінімальна енергія запалювання – 0,02 мДж, температура самозаймання – 783 К, нормальна швидкість поширення полум'я – 2,7 м/с, мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню – 5,0% об'єму. Максимальний тиск вибуху – 730 кПа. Температура горіння водню (окисник – повітря) становить 2483 К. Молярна теплота згорання – 241,6 кДж/моль.

З технологічних характеристик генератора виходить, що його газовий об'єм може становити до 73 м³, а тиск водню – 3,0 кгс/см². При розгерметизації корпусу генератора водень змішується з киснем повітря, що може викликати горіння дифузійного факела або вибух. Можливі параметри горіння водню при розгерметизації корпусу генератора приймають відповідно до [5], звідки витікає, що розміри полум'я залежать головним чином від швидкості витікання газу через отвір та розміру отвору. В даному випадку практичний інтерес представляють режими витікання водню через отвори розмірами від 0,05 м до 0,1 м. При розмірах отвору більших 0,10 м, незважаючи на велику висоту факела, тривалість горіння занадто мала, а при менших 0,05 м і достатній тривалості горіння, висота факела полум'я не перевищує 1,5 м. При факельному горінні водню або при вибуху виділяється достатня кількість енергії для запалення турбінного масла, що витікає із системи мащення та ущільнення вала генератора. Пожежа розливу буде становити загрозу для кроквяних ферм конструкцій перекриття та для колон. Дію пожежі на несучі конструкції машзалів АЕС доцільно проводити, розглядаючи такі варіанти пожеж:

- факельне горіння водню при його виділенні з корпусу генератора;
- горіння на майданчику обслуговування турбінного масла, що розлилося з системи мащення і ущільнення генератора;
- факельне горіння струменя масла, що фонтанує з напірного маслопроводу на відмітці обслуговування турбіни;
- горіння масла в межах монтажного майданчика головного маслоблока.

Висновок. В даній роботі було проведено моделювання та розрахунок температурних полів в огорожуючих конструкціях при двох різних температурних режимах пожежі. Встановлено, що при температурному режимі, заданому вуглеводневою кривою втрата теплоізолюючої здатності настає на 9-14% швидше (залежно від матеріалу конструкції). Беручи до уваги отримані результати, враховуючи показники пожежовибухонебезпеки водню, можливий характер розвитку пожежі при розгерметизації корпусу генератора, можна зробити висновок, що температурний режим при пожежах на об'єктах із використанням водню, зокрема АЕС, не може бути достовірно представлений за допомогою вищеописаних моделей [6], оскільки темпи нагрівання та максимальне значення середньооб'ємної температури будуть вищими. Результати випробувань за стандартним температурним режимом будівельних конструкцій, які застосовуються на АЕС та інших об'єктах із використанням водню, не гарантують забезпечення встановленої межі вогнестійкості при пожежі. Таким чином обґрунтовано, що розробка моделі температурного впливу при горінні водню, яка буде відображатися водневою кривою і буде придатна для застосування на атомних електростанціях при розрахунковому визначенні меж вогнестійкості будівельних конструкцій або при розробці заходів із їх збільшення, є важливим науковим завданням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Круковский П.Г. Эффективность вспучивающихся огнезащитных покрытий железобетонных конструкций при различных режимах пожара / П.Г.Круковский, Е.В.Качкар, А.И.Ковалев // Науковий вісник УкрНДІПБ. – К., 2010. – №1(21), – С. 75-83.
2. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В. 1.1.7-2002.
3. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4*-98.
4. Величко Л.Д. Термодинаміка і теплопередача в пожежній справі : навчальний посібник / Л.Д. Величко, Р.Я. Лозинський, М.М. Семерак. – Львів : ЛДУБЖД, 2011. – 532 с.
5. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность : справочник. – М. : Химия, 1987.
6. Оптимізація методів температурних випробувань / [Ковалишин В.В., Дмитровський С.Ю., Кирилів Я.Б., Хлевной О.В.] // Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього : збірник тез доповідей Міжнародної конференції 20-22 квітня 2011 року. – К., 2011. – С.239-240.

УДК 614.841

Ю.О.Копистинський, В.М.Баланюк, к.т.н., О. І. Лавренюк к.т.н.,
ЛДУБЖД

ЯВИЩА ТА ПРОЦЕСИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПІД ДІЄЮ ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ В АЕРОЗОЛЕВІЙ РЕЧОВИНІ

В роботі здійснено огляд основних процесів, які виникають в дисперсних системах під дією акустичних полів постійної та періодичної дії. Розглянуто фактори, які впливають на процес коагуляції аерозолів. Визначено недоліки застосування різнотипних акустичних впливів на дисперсні системи з погляду на зміну ефективності гасіння аерозолем. Вказано, що використання звукових коливань для підвищення ефективності пожежогасіння вогнегасним аерозолем є перспективним напрямком, який вивчений недостатньо добре. Оскільки звукові та стоячі звукові хвилі спричиняють швидку коагуляцію аерозолу та зниження його концентрації, то в подальших дослідженнях процесів гасіння аерозолями за допомогою акустичного впливу, необхідно акцентувати увагу на проходженні одинарних ударних хвиль через дисперсну аерозолеву речовину.

Ключові слова: вогнегасний аерозоль, аерозолева речовина, ударна акустична хвиля, дисперсна система, звукова активація аерозолу, коагуляція.

Постановка проблеми: Для об'ємного пожежогасіння використовуються дисперсні системи, які складаються з твердих рідких та газоподібних компонентів – K_2CO_3 , КОН, KCL, CO_2 , N_2 , CO, H_2O та ін. При потраплянні в захищений об'єм аерозолева речовина рівномірно його заповнює. Припинення горіння відбувається через сумісний вплив таких факторів як інгібування, флегматизація, охолодження вищевказаними компонентами. Припинення горіння відбувається як через потрапляння частинок аерозолу в полум'я, так і через вплив оточуючих контактуючих аерозолеповітряних мас, при досягненні мінімальної вогнегасної концентрації. При концентраціях близьких до вогнегасної, полум'я продовжує горіти ще деякий час, при цьому встановлюється тепломасовий баланс між полум'ям та оточуючим аерозолем. Збільшення ефективності гасіння можливе через вплив зовнішніх факторів які порушуватимуть баланс тепло-масообміну між полум'ям та аерозолем. Одним з таких факторів є акустичні коливання, які спрямовані на полум'я. Вплив акустичних полів на вогнегасний ефект аерозолів є мало дослідженим і для вибору найбільш ефективного виду акустичного впливу необхідно розглянути особливості впливу акустичних коливань на дисперсну систему.

Виклад основного матеріалу. Вплив акустичного поля на поведінку аерозолів є малодослідженим явищем. Кількісне визначення збільшення розмірів частинок під впливом звукового поля вперше було проведено за допомогою вимірювання швидкості падіння частинок [1]. У табл. 1 представлені результати деяких із цих вимірювань для аерозолу, який протягом 5 секунд піддавався дії звуку частотою 10 кГц, що генерувався магнітострикційним генератором. Видно, що ступінь збільшення розмірів частинок залежить від інтенсивності звуку, і що за найбільших амплітуд, які застосовувалися, маса частинок зростає у 200 разів. При високих інтенсивностях звуку нерідко утворюються агрегати, що складаються з декількох тисяч первинних частинок.

За допомогою звукових і ультразвукових хвиль можна викликати в аерозолях інтенсивну коагуляцію, яка очевидно не буде сприяти підвищенню вогнегасної ефективності. Крім цього відомо, що укрупнення частинок вогнегасного порошку не бажане, бо призводить до збільшення мінімальної вогнегасної концентрації [2]. При цьому дисперсність твердих або рідких середовищ настільки зменшується, що речовина, що знаходиться в завислому стані, швидко виділяється з газового середовища. Швидкість

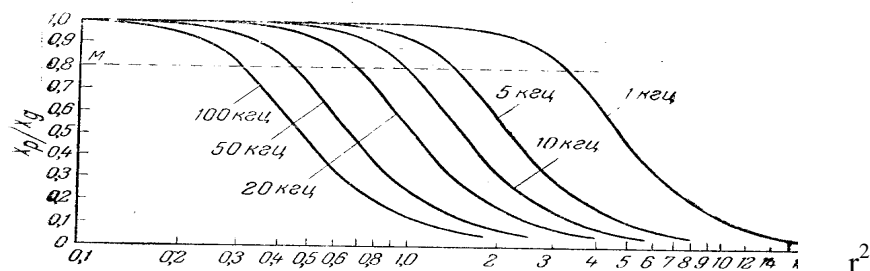
коагуляції залежить головним чином від частоти звуку, хоча на неї також впливає ряд інших чинників (інтенсивність звуку і ін.). Згідно з опублікованими даними [3], ультразвукові хвилі дуже високої частоти мають значно меншу коагуляційну дію, чим звукові і ультразвукові хвилі в діапазоні 1000—50 000 Гц.

Таблиця 1 – Вплив звукових коливань на частинки аерозолевої речовини [4]

Амплітуда коливань випромінювача, мк	Час падіння частинок на 1 мм, с	Радіус частинки, мк	Відношення радіусів частинок, r/r_0	Відношення маси збільш. частинки до початк. маси, m/m_0
0	2,00	1,8	1	1
9	1,30	2,3	1,28	2,1
18	0,56	3,7	2,06	8,7
36	0,40	4,3	2,40	13,6
54	0,06	10,5	5,85	200

Від дії звуку великої інтенсивності дим зникає за долі секунди. Різна поведінка завислої речовини в звуковому полі, природно, знаходить відображення і у поведінці окремої частинки. У газі, що перебуває в стані акустичних коливань, залежно від умов, зважена частинка може брати участь в коливанні середовища повністю, частково або зовсім не брати участь. З рис. 1 видно, що до певних розмірів зважена частинка практично коливається разом з газом. Такі розміри частинок названі «критичними розмірами» частинки для відповідних частот, аналогічно можна говорити про «критичні частоти» для певних розмірів частинки. Критичні розміри частинки більш точно визначаються точкою на кривій (рис. 1), в якій пологі падіння кривої починає переходити в середню більш крутопадаючу область. Для області розмірів частинок, характерної для аерозолів, спад кривих якраз лежить в діапазоні верхніх звукових і нижніх ультразвукових частот. Точки перетину прямої М з кривими є точками критичних розмірів частинок.

Разом з дуже великими і, отже, сильно агрегованими частинками, що не коливаються, існують частинки, що здійснюють коливання із значно зменшеною амплітудою. На підставі ультрамікроскопічних знімків було встановлено, що фактично внаслідок полідисперсності аерозолу в теоретично знайденій області є частинки, що коливаються з різною амплітудою. [4] Користуючись критичною величиною, можна встановити три різні області [5]. Перша область лежить нижче за критичну величину і охоплює процес, при якому аерозолева речовина в цілому практично здійснює повні коливання спільно з коливанням газоподібного середовища і, отже, є однорідною масою. У другій області, в якій значення r^2 близькі до критичної величини, частинки здійснюють неоднорідні коливання. У третій області, вищій за критичну величину, частинки не здійснюють коливань і аерозолева речовина знову поводить себе як однорідна маса. Таким чином, за допомогою критичної величини можна наочно встановити різну поведінку аерозолу в звуковому полі. В процесі коагуляції завислі частинки по черзі переходитимуть з однієї області в іншу.

Рисунок 1 – Залежність відношення амплітуд коливання частинки аерозолу і газу X_p/X_g від радіусу частинки і частоти звуку

В інтенсивному звуковому полі частинки аерозолів коливаються з тою ж частотою, що і газоподібне середовище. Залежність між коливаннями частинки і газу в звуковому полі виражається залежністю [6]:

$$\frac{X_p}{X_g} = \left[1 + \left(\frac{\pi \rho f d^2}{9\eta} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} = \cos \varphi \quad (1)$$

де: φ – різниця фаз коливань частинки і середовища, радіан; X_p – амплітуда коливань аерозолева речовина даної частинки, см; X_g – амплітуда коливань газу, см; ρ – щільність частинки, г/см³; d – діаметр частинки, см; f – частота звуку, с⁻¹; η – в'язкість газу, г/см·с.

З рівняння (1) виходить, що амплітуда коливань частинки наближається до амплітуди коливання газу при зменшенні частоти звуку, діаметра і щільності частинки, і при зменшенні в'язкості газу. Основну роль відіграють діаметр частинки і частота звуку. Коли полідисперсна система знаходиться в силовому полі (наприклад, гравітаційному), то більші частинки рухаються з іншою швидкістю, ніж менші, внаслідок чого збільшується вірогідність зіткнень частинок, що диспергують. Коагуляція, що виходить, названа авторами [7] ортокінетичною, на відміну від перикінетичної коагуляції, яка відбувається внаслідок ненапрявленого броунівського руху. Досліджуючи це явище, Вігнер і Туоріла враховували тільки сили тяжіння і відцентрові сили. Коагуляцію, що виникає в звуковому полі внаслідок того, що частинки різної величини мають різні амплітуди, фактично теж можна називати ортокінетичною.

Спостереження, проведені за допомогою ультрамікроскопа в роботі [8] і отримані при цьому знімки показали, що великі частинки безперервно рухаються по хаотичних траєкторіях і притому з такою швидкістю, яка менша порівнянно з амплітудою швидкостей газу, що коливається, і значно більша за швидкість броунівського руху. Радіуси частинок приведені в табл. 2, для порівняння вибрані амплітуди частинок 40 μ і 200 μ при 10 кГц. Величини для інших частот перераховані для рівної звукової енергії. Різниці швидкостей між частинками і газом, наведені в табл.2, взяті з рис. 1. У табл. 2 перша величина часу зближення відповідає низькій звуковій енергії, друга – (в дужках) - високій звуковій енергії.

При підвищенні частоти звуку в анізодисперсній системі, що характеризується різними амплітудами коливання частинок вище певної межі, дія ортокінетичної коагуляції слабшає і при критичній величині $r^2v = 10^{-4}$ см/с абсолютно зникає, поступаючись місцем дії гідродинамічних сил. Беручи до уваги вище сказане можна сказати, що акустична коагуляція обумовлюється всіма процесами, в результаті яких збільшується вірогідність суто кінетичних зіткнень двох частинок, і які викликають сили тяжіння між частинками. До причин першого роду слід віднести ортокінетичну коагуляцію, що діє як головний чинник в звуковому полі, потім слідує всі інші процеси, що зумовлюють неоднорідний рух частинок (зокрема, наприклад, неправильний рух в звуковому полі збільшених вже частинок, що більше не коливаються).

Таблиця 2 – Час зближення частинок різних розмірів при різних частотах

Частота, кГц	Час зближення t_0 , с			
	R = 0,2 μ	R = 0,5 μ	R = 1 μ	R = 2 μ
1	3,7*10 ¹³ ($\approx 1,5*10^{12}$)	4,6*10 ⁹ (1,9*10 ⁸)	8,0*10 ⁶ (3,0*10 ⁵)	3,3*10 ³ (1,3*10 ²)
10	3,7*10 ¹³ 1,5*10 ¹²	1,6*10 ⁷ (7,0*10 ⁶)	4,5*10 ³ (1,8*10 ²)	13,5 (0,5)
100	2,8*10 ⁸ (1,1*10 ⁷)	2,3*10 ⁴ (9,0*10 ²)	2,7*10 ² (10,8)	6,8 (0,27)

До другорядних причин відносяться перш за все гідродинамічні сили притягання, потім вихроутворення, що виникає навколо частинок при більш великих числах Рейнольдса, і також породжує сили притягання. Добре відомо, що дими, тумани і інші аерозолі нестійкі і схильні з часом до мимовільної коагуляції. За певних умов ця коагуляція може протікати з помітною швидкістю в початковий момент утворення високодисперсних димів (наприклад, оксиду цинку). Теорія зіткнень зважених частинок описана М. Смолуховським [6]. Згідно з теорією М. Смолуховського, зворотна величина числа частинок на одиницю об'єму змінюється як лінійна функція часу. Крім цього, автор вказує, що мимовільна коагуляція буде протікати швидко, коли число частинок дуже велике, але у міру зменшення числа частинок процес сповільнюватиметься. Єдиними силами, що діють на частинки в цих умовах, є молекулярні сили, які створюють броунівський рух. Для більшості промислових димів величина мимовільної коагуляції може бути виміряна лише через декілька хвилин. Під впливом звуку високої частоти і великої інтенсивності в дію вступають нові сили, що викликають швидку коагуляцію таких димів, які в інших умовах залишалися досить стійкими протягом тривалого періоду часу. Ці сили різні і складні, і їх важко пояснити. Частково коагуляція викликана коливаннями частинок, спричинені газом, що коливається. Інші сили, що діють на частинки, зв'язані лиш з коливанням газу і є гідродинамічними силами. Поведінку зважених в газі частинок під впливом звукових коливань можна розглядати як поєднання таких ефектів: сумісного коливання частинок аерозолу в газі, що коливається; дії гідродинамічних сил притягання і відштовхування між сусідніми частинками; дії звукового тиску, який має максимальне значення посередині між вузлами і пучностями коливань. Гідродинамічна взаємодія частинок ефективна лише тоді, коли дві частинки знаходяться на відстані, рівній декільком діаметрам частинок. Такі сили виникають в результаті звуження потоку газу між двома сусідніми частинками. Для їх виникнення не потрібно, щоб частинки газу коливалися, адже гідродинамічні сили прикладені до газового потоку, що проходить в одному напрямку.

Гідродинамічні сили між сферичними частинками в газі, що коливається, були обчислені Г. Кенігом [6] при проведенні математичного аналізу процесу утворення борозенок у трубці Кундта. Ці сили є результатом відомого ефекту Бернуллі [8]. Їм можна дати просте якісне пояснення. Якщо розглядати дві сферичні частинки, розміщені на відносно близькій відстані одна від одної, а лінія їх центрів перетинає напрям коливань, то площу поперечного перерізу, через яку повинен протікати газ, можна вважати стислою на ділянці між двома частинками. В результаті на цій ділянці газ протікатиме трохи швидше. Згідно відомим гідродинамічним принципом Бернуллі, в таких умовах в цій ділянці знижуватиметься статичний тиск і сферичні частинки взаємно притягатимуться. І навпаки, якщо одна з двох частинок знаходиться на підвітряній стороні, а лінія, що сполучає центри цих частинок розміщена у напрямку коливань, виникне зона, в якій частинки будуть взаємно відштовхуватись. Отже, дія звукового поля на зважені частинки полягає в утворенні відштовхуючих сил між частинками у напрямку коливань і притягаючих сил в перпендикулярному напрямі. Очевидно, що ці сили мають значення лише тоді, коли частинки розташовані дуже близько одна до одної. Величина сил обернено пропорційна 4-ій степеню відстані між центрами. Гідродинамічними силами, а також коливаннями різних частинок, не можна пояснити спостережуваного збільшення коагуляції. Вони впливають на збільшення діаметра частинок і на утворення із частинок тонких шарів які склеюються разом у вигляді шарів, і встановлюються самі під прямим кутом до напрямку коливань.

Автори [9] показали, що принаймні при звукових і низьких ультразвукових частотах гідродинамічні сили недостатні для пояснення спостережуваної поведінки аерозолів в звукових полях. Іншими додатковими чинниками, що впливають на поведінку аерозолів в акустичному полі є частота та інтенсивність звуку, вид аерозолу, тривалість озвучування, температура, вміст вологи в газі, його кінематична в'язкість. Фізичні процеси, які обумовлюють коагуляцію маленьких частинок в звуковому полі, дуже численні, і часто

важко визначити, який з них грає основну роль. Передбачена теорією поведінка завислих частинок при дії радіаційного тиску звуку цілком збігається із спостереженнями коагуляції диму в довгій трубі [1]. При низькій інтенсивності звуку дим спочатку збирається смугами, що обумовлено зростанням концентрації частинок поблизу вузлів коливань. Незабаром дим набуває зернистого характеру і стають видимими окремі шари. У міру зростання шари випадають на стінках труби або залишаються завислими біля її осі у площині вузлів коливань у вигляді великих плоских скупчень. При високих інтенсивностях звуку (0,1 - 1,0 Вт/см²) коагуляція відбувається за декілька секунд, проте великі шари вже не утворюються через нестабільність поля стоячої хвилі; у пучках коливань зустрічаються агрегати скоагульованих частинок, що обертаються. Нарешті, слід зважити на можливість того, що додатково до трьох основних механізмів при звуковій коагуляції можуть діяти, а за певних обставин навіть переважати, ще і інші фактори [10]. В літературі [11] вказується, що авторам вдалося спостерігати коагуляцію аерозолів під дією періодичних ударних хвиль. Такі хвилі планується використовувати для підвищення ефективності гасіння дисперсними системами дифузійного полум'я.

Залежно від орієнтації в звуковому полі і від відстані до великої частинки, невеликі частинки, що знаходяться в безпосередній близькості від неї, можуть притягуватися або відштовхуватися великою частинкою, яка слабо коливається. Автор [12] вказав, що для сферичної частинки, яка знаходиться в повітрі, значний турбулентний рух спостерігається тоді, коли відносна швидкість частинок і газу (V_r) більша за 0,35 (V вимірюється сантиметрами в секунду, а r - сантиметрами). Для частинок з радіусом 10 μ турбулентні сили виявляються, коли V_r більше 350 см/с, тобто вище 155 Дб. З цього виходить, що коли ці сили стають переважаючими, вони знищують ефект Бернуллі.

Електричні явища відіграють певну роль в коагуляції і осадженні маленьких частинок в звуковому полі. Відомо, що більшість найдрібніших частинок, що диспергують до стану аерозолі, мають власний електричний заряд, який виникає або в процесі утворення аерозолі, або в результаті подальшої дії іонізації; виходить, що середній заряд для кожної категорії частинок (без урахування знаку заряду) майже завжди пропорційний радіусу частинки (для аерозолів розміром від 0,2 до 6 μ). Приведення в коливальний рух частинок аерозолевої речовини супроводжується сильним тертям між молекулами газу і малими та великими частинками. Внаслідок діелектричних властивостей частинок можуть з'явитися заряди (електричні або індуковані) які залежно від їх знаку сприяють швидшій коагуляції. В зв'язку з цим слід зазначити, що для деяких аерозолів кількість агломератів, що утворюються, є вельми різною при підтримці однакових умов роботи. Винятком є конструкційний матеріал акустичної камери (сталь або пластмаса). Коли частинки аерозолевої речовини знаходяться поблизу від стінки, вони піддаються впливу ефекту Бернуллі. Між стінкою і частинкою встановлюється притягання, величина якого обернено пропорційна четвертому степеню відстані між частинкою і стінкою. На цей механізм накладається, крім того, природна дифузія частинок, обумовлена градієнтом концентрації. Відомо, що в будь-яких аерозолях частинки прагнуть переміститися з області підвищеної концентрації в область низької концентрації. Зокрема, можна спостерігати, що в безпосередній близькості від стінки концентрація частинок надзвичайно мала і тут є тенденція до відкладення частинок на стінках.

Інтенсивність звуку є одним з найбільш важливих чинників коагуляції, оскільки при будь-якому механізмі коагуляція є функцією інтенсивності звуку. Правильніше говорити не про інтенсивність звуку, а про акустичну потужність, визначувану загальним числом ватів, що випромінюються джерелом звуку. Якщо мова йде про випромінювання у середині резонуючої камери, відносним мірилом є рівень інтенсивності звуку, виміряний в децибелах. За літературними даними [5], нижньою межею, достатньою для практичного використання, є рівень інтенсивності звуку 130 Дб (10^{-3} Вт/см²). Проте бажано, щоб ця величина досягала 150 Дб (0,1 Вт/см²). Час перебування аерозолі в звуковому полі є також важливим чинником, яким не можна нехтувати. Так як вогнегасна аерозолева речовина

може перебувати у повітрі до 30 хвилин, то необхідно розглянути залежність часу перебування аерозолу в звуковому полі. Нижче наведені деякі експериментальні дані, отримані автором роботи [1], що підтверджують це спостереження. При збільшенні часу перебування аерозолу в акустичній камері збільшується можливість зіткнення частинок, проте, природно, і тут існує певна межа. m/m_0 - означає співвідношення мас середньої кінцевої частинки і початкової частинки.

Стосовно швидкості коагуляції, то, як видно з дослідів Сент-Клера, розрахунковим шляхом точна величина швидкості отримана бути не може. Для деяких особливих умов (одинаковий розмір частинок аерозолу, підвищена концентрація) протягом малого періоду дії звуку була виведена така формула: [13].

$$t = \frac{0,66}{v_0^2 c^{5/3}}, \quad (2)$$

де t - час, необхідний для зменшення наполовину числа частинок аерозолу в суспензії;
 v_0 - амплітуда швидкості коливання; c – вагова концентрація.

Таблиця 3 – Час коагуляції в звуковому полі

Час перебування у звуковому полі, с	Показник коагуляції, m/m_0
1	4
2	13
10	110

Проте треба відзначити, що отримані експериментально величини t завжди значно нижчі (приблизно у 100 разів) за величини, обчислені за допомогою приведеного рівняння. У першому наближенні можна сказати, що швидкість коагуляції монодисперсних аерозолів прямо пропорційна інтенсивності звуку і є функцією вагової концентрації в степені $5/3$.

Оскільки кожне звукове поле розсіює енергію (у вигляді тепла), то при дії звукової хвилі на аерозолеву речовину виникає питання про ефективну відстань дії звукової хвилі в зоні якої частинки аерозолової речовини ще можуть коливатись з відповідною частотою та амплітудою, яка дозволяє підвищити ефективність гасіння. В ультразвуковому полі частотою 22 кГц при концентрації аерозолу 8 г/м^3 на відстані 30 см поглинається від 50 до 60% звукової енергії, тоді як при частоті 1500 Гц тільки від 5 до 6% енергії втрачається в результаті поглинання звуку. При цьому буде проходити коагуляція. Максимальна коагуляція досягається при режимі стоячих хвиль. [14]. Найменші частинки коливаються з найбільшими амплітудами, ці частинки коагулюють першими, іншими словами коагуляція починається з найменших частинок аерозолу розміром менше 10 μ . Коагуляція відбувається під час озвучування і продовжується доти, поки не залишаються тільки великі агломерати.

Висновок: Процеси, які протікають в дисперсних системах, є складними та індивідуальними. Теоретично підтверджено, що озвучування аерозолу звуковими хвилями різних видів та частот, не принесе очікуваного результату – підвищення ефективності гасіння. Вплив розглянутих в статті періодичних та стоячих звукових хвиль на аерозоль приводить до коагуляції, більшою чи меншою мірою. Очікуваний ефект підвищення ефективності пожежогасіння вогнегасним аерозолем, може дати дія ударних хвиль, в процесі проходження котрих через аерозолеву речовину коагуляція все ж таки спостерігається, але значно меншою мірою.

Таким чином в подальших дослідженнях увагу необхідно сконцентрувати на взаємодії ударної хвилі, аерозолу та полум'я.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Осташев В.Е. Распространение звука в движущихся средах / В.Е. Осташев. – М. : Наука, 1992. – 205 с.
2. Баратов А.Н. Огнетушащие порошковые составы / А.Н.Баратов, Л.П. Вогман. – М. : Стройиздат, 1982. – 72 с.
3. Patterson H. S. Nature / H. S. Patterson, W. Sawood. – London, 1931. - 127 с.
4. Стретт Джон Вильям. Теория звука / Джон Вильям Стретт [пер. с 3-го англ.изд. П.Н. Упенского и С.А. Каменецкого; под.ред. и с предисл. С.М. Рытова]. – Изд. 2-е. – М. : Госхимиздат, 1955.
5. Гуляев А. И. Акустика / А.И.Гуляев, В.М. Кузнецов – М., 1962. – 473 с.
6. Акустическая коагуляция аэрозолей : сборник переводов [под. ред. Б.Ф.Подошевникова и др.] . – М. : Госхимиздат, 1961.
7. Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. / В.А. Красильников. – М., Физматиздат, 1960.
8. Райст, Паркер. Аэрозоли: введение в теорию / Паркер Райст [пер. с англ. Б.И. Огородникова и др.; под. ред. Б.Ф. Садовского]. – М. : Мир, 1987. – 278 с.
9. Фридмендер Ф. Звуковые импульсы / Ф.Фридмендер [пер. с англ. А.И. Смирнова; под. ред. Г.И. Баренблатта]. – М. : Изд. иностр. лит., 1962.
10. Медников Е.П. Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей / Е.П. Медников. – М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1963.
11. Скучик Е. Основы акустики. / Е.Скучик [пер. с нем. А.Л. Соседовой и В.П. Глотова; под. ред. Ю.М. Сухаревского]. – М.: Изд. иностр. лит., 1958.

УДК 614.838;

А.Д. Левченко к.т.н., доц., О.М. Джулай к.т.н., доц.,
Д.Є.Левченко, О.М. Землянський, АПБ ім. Героїв Чорнобиля

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛИШКІВ ОТРУЙНИХ ТА ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН ПІД ЧАС ВСТАНОВЛЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ ТА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Представлено метод для оперативного виявлення малих концентрацій отруйних та пожежовибухонебезпечних речовин на місці виникнення пожежі чи надзвичайної ситуації.

Ключові слова: концентрація, небезпечна речовина, газовий аналіз, індикаторна трубка.

Постановка проблеми. Як свідчить статистика в Україні щорічно збільшується кількість пожеж та надзвичайних ситуацій, що виникають внаслідок протизаконних дій певних осіб, і пов'язані з використанням отруйних та пожежовибухонебезпечних речовин. Так, на території України кількість пожеж, що виникають через підпали вже перевищує дві тисячі випадків на рік (рис.1.).

Кількість підпалів

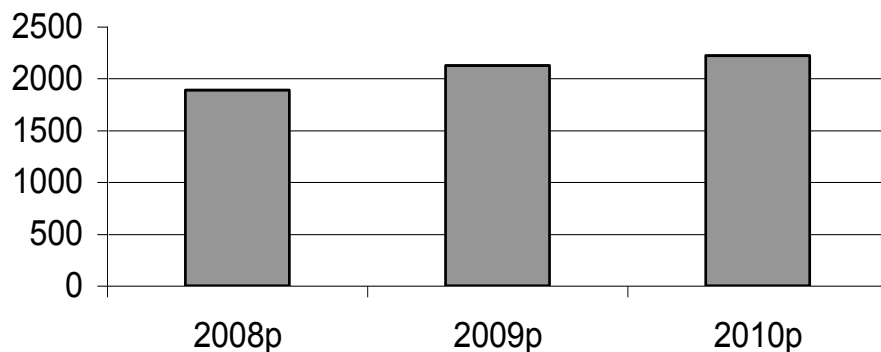


Рисунок 1 – Діаграма росту пожеж, що виникли внаслідок підпалу протягом 2008-2010 рр.

Складність розслідування таких пожеж та надзвичайних ситуацій полягає у необхідності проведення відповідних експертиз з метою встановлення наявності залишків небезпечних речовин, які використовувалися зловмисниками.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. При проливах, вибухах та горінні в навколишньому середовищі і в самих продуктах горіння залишається невелика кількість (сліди) зазначених речовин. Їхні малі концентрації виявляють з допомогою фізико-хімічних приладів (хроматографи, спектрофотометри, ЯМР тощо). Ці прилади громіздкі, використовуються в лабораторних умовах та потребують кваліфікованих спеціалістів.

При розслідуванні надзвичайних ситуацій та пожеж в польових умовах доцільно використовувати прилади газового аналізу УГ-2 з комплектами індикаторних трубок, а також прилади типу «Дозор» з електрохімічними датчиками. Проте характеристики зазначених приладів (експрес-методів), для більшості речовин, дозволяють проводити заміри починаючи з половини гранично допустимої концентрації.

В роботі [1] рекомендована методика аналізу малих концентрацій горючих речовин (зокрема бензину) під час підпалів. В цій роботі рекомендований об'єм прокачаного повітря

для проведення аналізу складає 300 см³, але цього недостатньо для виявлення залишків речовин, які приймали участь у надзвичайній ситуації.

Постановка задачі та її досягнення. Прилад УГ-2 з індивідуальними трубками дозволяє виявляти не тільки горючі речовини, але й інші речовини, які призвели до надзвичайної ситуації.

Проведені дослідження для виявлення закономірності спрацювання індикаторних порошків (трубок) від надзвичайно малих концентрацій шкідливих газів (парів, аерозолів), в результаті яких встановлено, що при просмоктуванні великої кількості повітря з шкідливими речовинами, можна виявити навіть незначну їхню присутність.

Дослідження проведені за наступною методикою: В закритій ємності (камера 250л) створювалась надзвичайно мала концентрація шкідливих речовин $C=A \times 10^{-5}$ мг/м³ ваговим способом.

Загазоване повітря із камери просмоктувалося через індикаторну трубку. Кількість просмоктуваного повітря визначалося появою індикаційного ефекту. Дослідження проводилися на індикаторних трубках, якими комплектується універсальний газоаналізатор УГ-2. При цьому, проводили побудову графічної залежності концентрації шкідливої речовини від довжини зміни кольорового шару. В таблиці 1 наведені отримані дані появи індикаційного ефекту в залежності від кількості просмоктаного повітря через індикаторні трубки.

Таблиця 1 – Параметри роботи УГ-2 при проведенні аналізів

№ п/п	Газ (пар), який визначається приладом УГ-2	Параметри роботи УГ-2 згідно вихідних даних		Пофарбування індикаторного шару після реакції (виміру)	Визначення присутності (слідів)	
		Просмоктуючий об'єм повітря, см ³	Діапазон вимірюваних концентрацій, мг/м ³		Просмоктуючий об'єм, см ³	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1.	Аміак	200 100	4-30 20-100	синя	1000	грунт
2.	Ацетон	300	100-200	жовта	2000	
3.	Бензин	300x2 200	50-500 300-1000	світло-коричнева	3000-5000	
4.	Бензол	400x3 300	2-25	сіра	1000	
5.	Ксилол	300	20-500	червоно-фіолетова	2500	
6.	Оксиди азоту	300 100	1-50 40-250	червона	25000	пролив меланжу
7.	Оксид вуглецю	300x2 100	10-60 50-250	коричневе кільце	—————	
8.	Сірководень	300 100	2,8-30 10-120	коричнева	1000-2000	
9.	Сірчаний ангідрид	300 100	5-30 20-120	біла	1000	на сорбуючій поверхні
10.	Толуол	300	20-500	темно коричнева	5000	
11.	Вуглеводні нафти	300	100-1500	світло коричнева	3000-5000	
12.	Хлор	200 100	0,5-8,0 5-50	червона	—————	
13.	Етиловий ефір	200*2	100-3000	зелена	3000-5000	

На рисунках 2 та 3 наведені графіки залежності концентрацій шкідливих речовин від довжини зафарбованого шару при дослідженні залишків бензину.

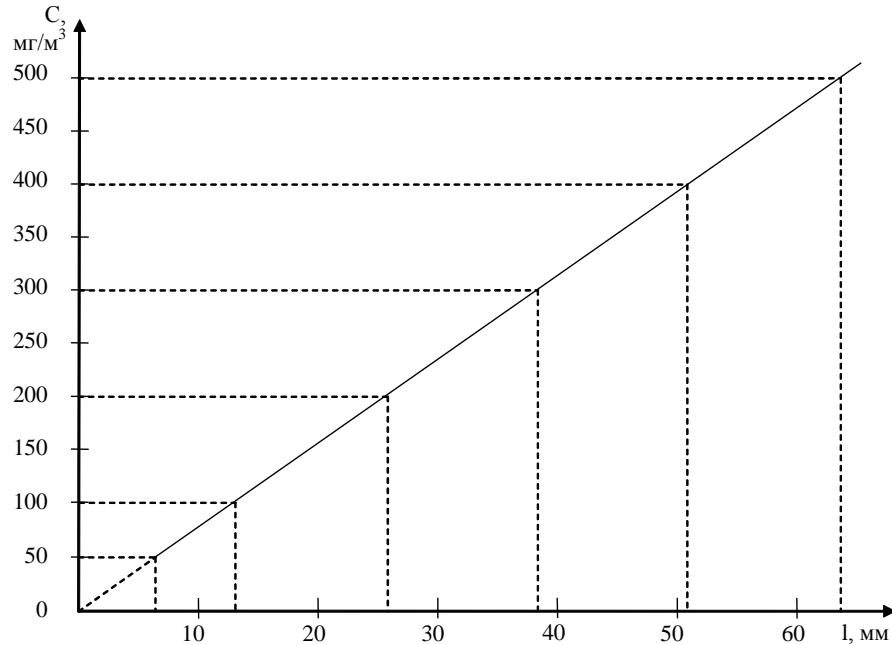


Рисунок 2 – Графік залежності довжини пофарбування індикаційного шару від концентрації бензину при просмокуванні 600 см³ повітря із камери

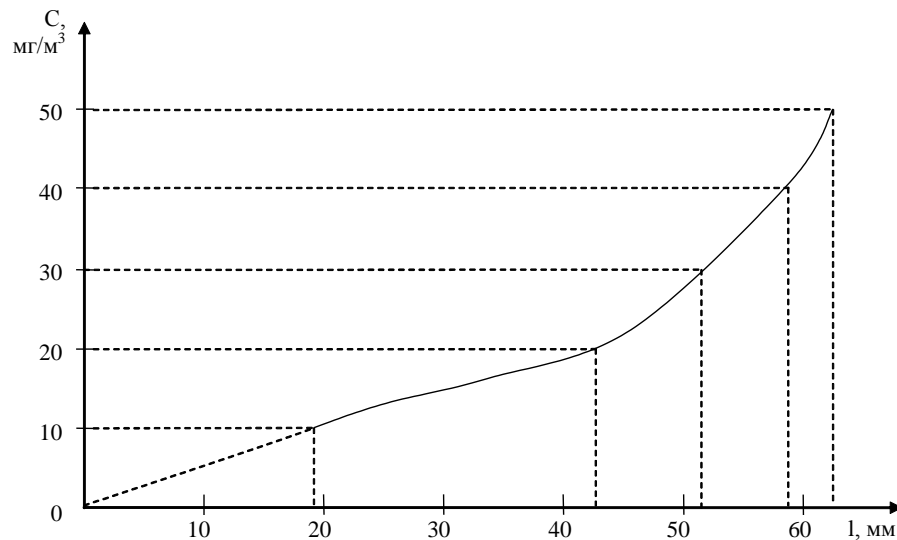


Рисунок 3 – Графік залежності довжини пофарбування індикаційного шару від концентрації бензину при просмокуванні 5000 см³ повітря

Варто зазначити, що при просмокуванні 5000 см³ повітря з концентрацією бензину 10 мг/м³ індикаційний ефект проявився після просмокування суміші об'ємом 3000 см³.

Як видно, із проведених досліджень, прилад УГ-2 з індикаторними трубками можна використовувати для виявлення малих концентрацій (слідів) шкідливих речовин. При цьому із місця надзвичайної події чи пожежі необхідно відібрати проби - 50÷100гр (грунту чи іншої речовини), помістити їх в скляні ємкості об'ємом приблизно 5000 см³ і герметично закупорити.

Колбу необхідно помістити в термошафу чи водяну баню з температурою 50÷60 °С і витримати 1,5-2 години. За цей час шкідлива речовина дифундує у повітря закритої колби. Далі, використати прилад УГ-2 з відповідними індикаторними трубками.

Зміна кольору індикаторного шару покаже, що в повітрі колби присутня шкідлива речовина.

Встановивши факт присутності тієї чи іншої речовини, особа, що проводить розслідування, може обґрунтовано визначити причини виникнення надзвичайної ситуації чи пожежі. Далі, при необхідності, зразки можна відправити на більш точні хіміко-аналітичні дослідження (хроматографію, спектрометрію тощо).

Останнім часом виникає необхідність виявлення присутності інших шкідливих речовин, які не входять в комплектацію приладу УГ-2, при цьому необхідно використовувати індикаторні трубки інших виробників: Росія «Крисма», УПГК лабораторія «Пчёлка», «Сервек»; Німечина «Дрегер»; Японія «Кітагава»; Болгарія «Хігітест» та інші.

При виникненні необхідності виявити присутність надзвичайно шкідливих речовин, доцільно використати прилади ВПХР, ППХР, ПХР-МВ з відповідними індикаторними трубками по зазначеній методиці:

- IT-Г1- гептил,
- IT- 2Г- окислювач (меланж),
- IT-11- ртуть,
- IT-36- іприт, люїзит,
- IT-51- фосфорорганічні сполуки,
- IT-С2-самін та ін.

Найбільш чутливі індикаторні трубки мають маркувальну літеру «М» (морські), які використовуються з приладом КППГ.

- ИТМ-4- пари сірководню,
- ИТМ-5- вуглеводні,
- ИТМ-5Б- ароматичні вуглеводні,
- ИТМ-8- гептил,
- ИТМ-13- ацетон,
- ИТМ-11- ртуть та ін.

Висновки. Зазначений метод виявлення малих концентрацій шкідливих речовин, в тому числі горючих та вибухонебезпечних, дозволить оперативно визначити причини виникнення надзвичайних ситуацій та пожеж.

Перспективи подальших досліджень.

В перспективі доцільно провести дослідження в напрямку визначення та зниження похибки виміру концентрацій з побудовою шкали концентрацій, а також розширити номенклатуру шкідливих речовин, присутність яких визначається.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Климась Р.В., Методи дослідження пожеж/ Р.В. Климась, І.Я. Кріса, Д.П. Саріогло; УкрНДШБ. – К.: ТОВ «Поліграф центр «ТАТ», 2010. – 240 с.
2. Петрова Н.М., Индикаторные трубки и газоопределители / [Петрова Н.М., Муравев А.Г., Лавриенко А.А., Смолев Б.В.].– С.Пб. : Крисмаст+, 2005.– 144 с.
3. Александров В.М. Отравляющие вещества / В.М.Александров, В.И. Емельянов. – М.: Военное издательство, 1990. – 271 с.
4. Химия отравляющих веществ: у 2 т. [редкол.: З.Франке, П.Франа, В.Варнка]. – М.: Химия, 1973.
5. Перегун Е.А. Быстрые методы определения вредных веществ в воздухе / Е.А. Перегун, М.С. Быховская, Е.В. Гернет. – М.: Химия, 1970. – 358 с.
6. Газоанализатор универсальный УГ-2 паспорт 09К.095.00.000 ПС.
7. Трубка індикаторна IT-Г1. Технічний опис та інструкція по експлуатації ГО-28.00.000 ТО.
8. Трубка індикаторна IT-2Г. Технічний опис та інструкція по експлуатації ГО-89.00.000 ТО.

УДК 614.841

А.Л. Лега, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗООБМІНУ В ПРИМІЩЕННІ ПРИ РОЗСЛІДУВАННІ ПОЖЕЖ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ЇХ ВИНИКНЕННЯ

У статті розглядається можливість використовувати моделювання процесів газообміну в приміщенні з метою обґрунтування причин та місця виникнення пожежі в процесі розслідування.

Ключові слова: розслідування пожеж, моделювання, газообмін, температурний режим, коефіцієнт надлишку повітря, пожежне навантаження.

Актуальність проблеми. Метою розслідування пожеж є точне з'ясування причин їх виникнення, що є базою для подальшого застосування запобіжних та профілактичних заходів, визначення чинників, що впливають на ефективність дій рятувальних підрозділів під час її ліквідації, встановлення часу виникнення і, як наслідок, дотримання об'єктивності процесуально-правових дій, та прийняття відповідних рішень.

Речові докази, знайдені під час обстеження місця пожежі, їх лабораторні дослідження дають змогу висувати можливі версії загорянь та обґрунтувати їх, використовуючи теплотехнічні розрахунки можливих процесів передачі енергії [1], [2]. Але така, достатньо об'ємна робота не завжди призводить до точного встановлення причини, а інколи взагалі неможлива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [3-5] показує, що основою для розслідування може бути відтворення процесів розвитку пожежі. Це дасть змогу передбачити наслідки, які при розслідуванні вивчають дізнавачі. Розв'язання такої задачі можливе при більш повному відображенні процесів газообміну, що відбуваються на пожежі. Конвективні потоки, що народжуються за рахунок різниці температур, є головним чинником задимлення приміщення та поширення пожежі. Вони формують температурний режим, обумовлюють розподілення кількості тепла по всьому об'єму [8]. Визначення характеру зміни температури середовища в різних точках може дати відповідь на питання поширення пожежі в межах окремого приміщення.

Виділяють такі чинники, що впливають на картину газообміну в приміщенні:

- розміри та геометрія приміщення;
- наявність вентиляційних шахт, повітропроводів;
- розміри та кількість вікон, дверей, їх просторова орієнтація;
- розташування меблів, обладнання;
- пожежне навантаження тощо.

Постановка проблеми та її розв'язання. Розв'язати таку задачу, де на процес впливає дуже велика кількість чинників, аналітичним шляхом майже неможливо. Існуючі методики, базуючись на експериментальних дослідженнях, з певною точністю дозволяють оцінити характер зміни середньооб'ємної температури середовища в залежності від коефіцієнта надлишку повітря, причому такі дані можна отримати лише експериментальним шляхом і тільки для конкретного приміщення. Узагальнення цих даних для всіх приміщень такого класу неможливо, оскільки неможливо досягти однакових умов виникнення та поширення пожежі. Виходячи з вищезазначених чинників, можна зробити висновок, що питання відтворення процесу газообміну для кожної пожежі, використовуючи існуючі методики, залишається невирішеним.

Вирішення задачі прогнозування розвитку пожежі можливе за рахунок моделювання процесів газообміну з використанням програмних комплексів SolidWorks і FlowVision.

SolidWorks – система автоматизації проектних робіт (САПР) у трьох вимірах, працює в середовищі Microsoft Windows. Розроблена компанією SolidWorks Corporation в якості альтернативи двовимірним САПР.

У програмі SolidWorks створюється модель приміщення з розташуванням вікон, дверей, систем вентиляції, меблів, обладнання, які відповідають реальному приміщенню за розмірами, просторовим розташуванням та властивостями (для витяжних систем, горючих речовин) рис.1,2. Особливістю побудови об'єкта є те що створюється не приміщення з меблями, а середовище в якому відбувається рух газів. Тому при побудові об'єктів з об'єму приміщення вирізаються об'єми, які набувають форми меблів чи іншого наявного обладнання.

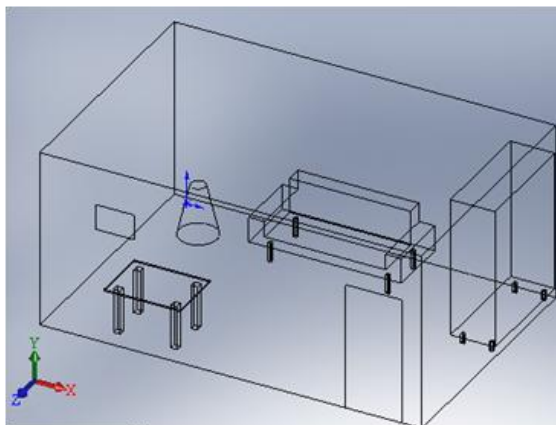
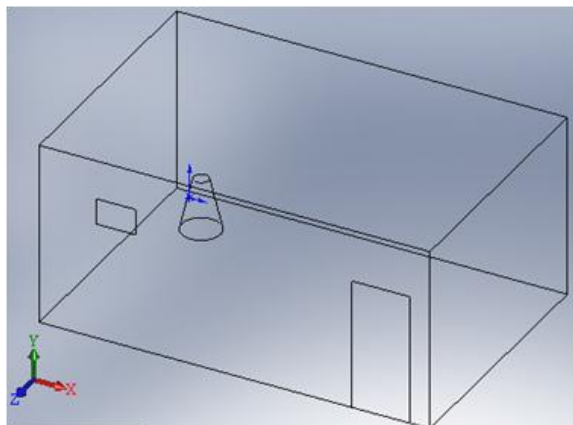


Рисунок 1 – Модель приміщення з одним дверним і кватирковим проемом та осередком горіння у вигляді зрізаного конусу

Рисунок 2 – Модель приміщення з розташованими в ньому меблями

Програмний комплекс FlowVision призначений для моделювання тривимірних потоків рідини чи газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих процесів методами комп'ютерної графіки. Використання різних моделей турбулентності і адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи течію з сильною закруткою, горінням, течію з вільною поверхнею.

Використовуючи пакет FlowVision, моделюється осередок горіння, враховуючи швидкість горіння матеріалу та утворення продуктів згорання.

На першому кроці- задача моделювання спрощувалась, розглядаючи ламінарну модель руху рідини в окремому приміщенні розмірами 6x4x2.8м. Дана модель описує течію в'язкої рідини при малих значеннях числа Маха ($M < 0.3$), невисоких числах Рейнольдса. Припускаються малі зміни густини рідини, що дозволяє природним чином врахувати підйомну Архімедову силу $(\rho - \rho_{hud})g$, де ρ_{hud} – опорна густина газу/рідини.

До моделі входять рівняння Нав'є-Стокса, енергії і рівняння конвективно-дифузійного переносу концентрації суміші.

Рівняння Нав'є-Стокса

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla(\mu \nabla V) + S,$$

де V - швидкість, $\nabla V = 0$, ρ_{hud} - середня по об'єму густина рідини, μ - в'язкість рідини, а джерело S визначене виразом:

$$S = \left(1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho}\right)g + B + \frac{R}{\rho}$$

У системі координат, що обертається, сили обертання (Коріоліса і відцентрова) мають вигляд:

$$B = -2\omega \times V - \omega \times \omega \times r;$$

де ω - вектор кутової швидкості обертання;

B - сили обертання (Коріоліса і відцентрова);

R - сили ізотропного і (або) анізотропного фільтра опору;

Sc - число Шмидта.

Рівняння енергії:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(Vh) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\frac{\lambda}{C_p} \nabla h \right) + \frac{Q}{\rho};$$

Рівняння конвективно-дифузійного переносу концентрації суміші:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(VC) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\frac{\mu}{Sc} \nabla C \right);$$

де C - масова концентрація речовини, Sc - число Шмидта.

Граничні умови створені на огорожуючих поверхнях приміщення відмічені цифрами 1-4 рис.3:

- 1- відповідає стінкам приміщення і граничній умові «стінка» з нульовим потоком для температури;
- 2- відповідає кватирка - тип граничної умови «вхід-вихід», для швидкості і температури початкові значення 0;
- 3- позначений дверний проїм - гранична умова «вхід-вихід», для швидкості і температури також початкові значення 0;
- для осередку горіння зображеного у вигляді зрізаного конуса, позначеного цифрою 4 відповідає гранична умова «вхід», тут початкова температура 600 °С, а нормальна швидкість для гарячого потоку 0,2м/с.

Розрахункова сітка 23x13x16 подрібнена в містах входу і виходу газу з приміщення рис4.

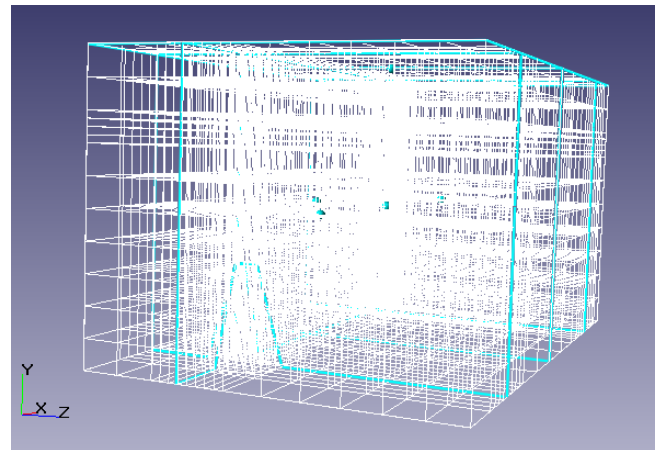
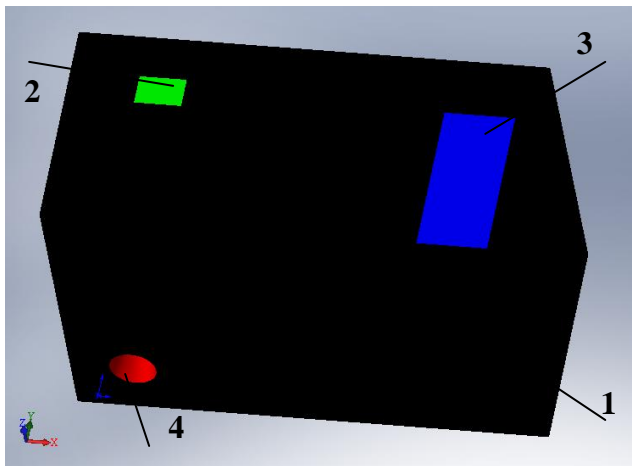


Рисунок 3 – Позначення граничних умов на геометрії об'єкта Рисунок 4 – Початкова розрахункова сітка

Результат роботи програмних комплексів дозволяє для різних моментів часу спостерігати рух гарячих та холодних конвективних потоків, вплив на них розташованих у приміщенні меблів, обладнання, виділяти зони підвищеної температури та прогнозувати, в залежності від матеріалів приміщення, подальший розвиток і поширення пожежі рис.5.

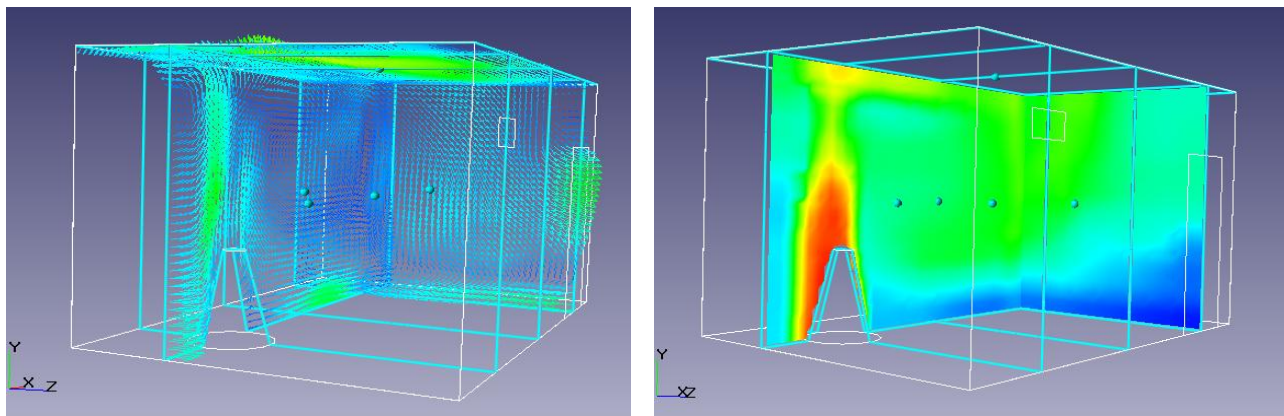


Рисунок 5 – Векторне поле швидкостей та розподіл температур для однакового моменту часу

Особливо ефективним застосування такого підходу може бути для процесу дослідження в рамках розслідування пожеж. Підтвердженням висунутої версії виникнення пожежі може бути збіг наслідків реальної пожежі і результатів модельного експерименту(ступеня, місць обгорілості матеріалів та обладнання в приміщенні).

Процес моделювання можна розбити на декілька етапів.

1. Використовуючи програмний продукт SolidWorks, моделюється приміщення з параметрами, що відповідають реальному, та розташованими в ньому меблями, обладнанням.

2. Виділяються об'єкти у приміщенні, які під час розвитку пожежі можуть брати участь у горінні. Такими об'єктами можуть бути, наприклад: стіл, стілець, шафа, скатертину, фіранка. Вони в процесі теплообміну з різних сторін нерівномірно нагріваються, що при певній температурі призводить до їх загорянь.

3. У програмі FlowVision моделюється пожежа, яка на будь-якому етапі може бути зупинена для аналізу її наслідків.

На цьому етапі фіксується створення небезпечних температур для спалаху горючих об'єктів приміщення. FlowVision дає змогу визначити з яких місць почнуть загоратись об'єкти при запропонованому інспектором сценарії виникнення пожежі. Застосування FlowVision для окремих об'єктів приміщення дасть змогу визначити ступінь їх обгорілості в порівнянні з реальними наслідками пожежі.

В першій частині роботи змодельований газообмін у порожньому приміщенні з відкритими дверима і квартирою, де осередок горіння стаціонарний по площі та інтенсивності утворення гарячих димових газів. Модель показує (рис.б), що в окремих зонах приміщення температура змінюється імпульсно в залежності від виникаючих конвективних пульсацій, утворених гарячими продуктами горіння і холодним повітрям, що надходить з зовні у приміщення. Ці зони знаходяться безпосередньо біля проїомів з яких надходить зовні повітря, та біля осередку горіння (рис.б слайд 2,7,8,9,13 через квартиру спостерігається імпульсний приток холодного повітря ззовні позначений стрілками). Очевидно, що між параметрами приміщення, кількістю обладнання, параметрами проїомів для доступу окисника та швидкістю горіння існує безпосередній зв'язок. Також виділяються зони з більшою температурною стабільністю (стійкі кармани), які спостерігаються на всіх слайдах рис.б при вході у приміщення (холодна зона) і в лівому верхньому кутку від осередка горіння (гаряча зона). В цілому створюється близька до реальної картина граничних умов нагрівання конструкцій приміщення та об'єктів, що там знаходяться.

Наступним етапом досліджень має бути:

- моделювання процесів горіння меблів та обладнання в приміщенні враховуючи граничні умови їхнього нагрівання утворені запропонованим сценарієм виникнення пожежі.
- Визначення критеріїв стабільності осередку горіння та критерію його пульсацій. Такі критерії дадуть змогу більш повно охарактеризувати температурний

режим, вплив його на визначення реальної вогнестійкості елементів конструкції приміщення, враховуючи градієнти температур, які створюються пульсаціями.

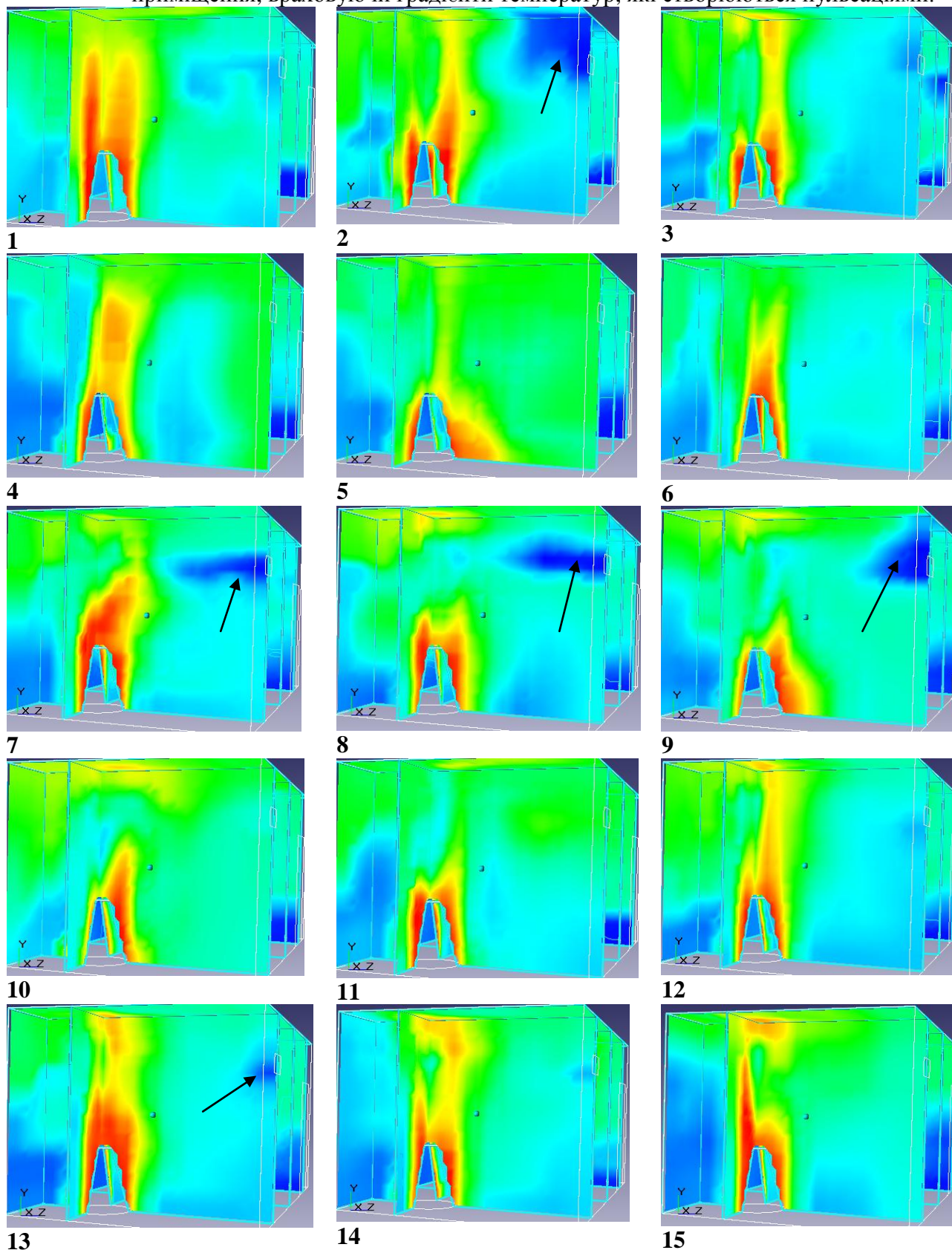


Рисунок 6 – Динаміка розвитку пожежі в приміщенні за умов стаціонарного осередку горіння, відкритих дверей і квартирки

Висновки: Проведене моделювання процесів газообміну в приміщенні при пожежі з урахуванням впливу надходження зовнішнього середовища показує можливість відтворення процесів теплообміну на пожежі виходячи з висунутої версії її виникнення. Порівняння реальних наслідків з наслідками, які показує модель спростовує або підтверджує версію висунуту інспектором при розслідуванні. Такий підхід може стати додатковим інструментом для більш точного та оперативного розслідування пожеж базуючись на сучасних методах розрахунку на базі ПК.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ціркаль В. В. Огляд місця події при розслідуванні підпалів та порушенні вимог пожежної безпеки з участю спеціалістів / В.В. Ціркаль // Право України. – 2003. – № 9. – С.77-79.
2. Дослідження пожеж: [Довідково-методичний посібник] / [Степаненко С.Г., Білкун Д.Г., Яник Я.М., Тимошук Ю.Т.] – К.: Пожінформтехніка, 1999. – 224 с.
3. Ми Зуй Тхань. Моделирование пожаров в жилых зданиях / Ми Зуй Тхань, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – Т.14. – № 5. – С. 42-50.
4. Литвинцев К. Ю. Моделирование развития пожаров в зданиях / К. Ю. Литвинцев, А. А. Дектерев, П. А. Необъявляющий // Тепловые процессы в технике. – 2011. – № 1. – С. 9–11.
5. Михайлов Д.В. Компьютерное моделирование пожара как средство совершенствования пожарной безопасности различных объектов / Д.В. Михайлов // Вісник СНУ ім. В. Даля. В 2-х ч. Ч. 2. – Луганськ, 2006. – № 6 (100). – С. 104–109.
6. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач // Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
7. Девлишев П.П. Исследование динамики пожара в помещениях / П.П.Девлишев, М.А. Мотин // Огнестойк. строит. конструкций и обеспеч. пожар. безопасн. людей и матер. ценностей. – М., 1989. – С. 183–190.
8. Численный расчет полей скоростей и температур воздуха в помещении при пожаре / [К.П. Моргунов, Т.Ю. Моргунова, А.Н. Бородкин и др.]// Стр-во и архит. – 1989. – № 3. – С. 92–95.
9. Интенсивность тепловыделения в условиях реальных пожаров // Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений: Сб. науч. тр. ВНИИПО. – М., 1988. – С. 9–13.
10. Рыжов А.М. Трехмерное (CFD) моделирование пожаров с учетом процессов горения и излучения: некоторые проблемы и пути решения / А.М. Рыжов // Пожаровзрывобезопасность. – 2000. – №1. – С. 38–49.
11. Копиленко М Э. Моделирование пожаров в помещении: проблемы и решения / М.Э. Копиленко // Промышленная теплотехника. – 2001. – Том 23. – № 1-2. – С. 23-28.

УДК [614.841.2:622.12.2]:005.334

В.В. Мамаєв, к.т.н., с.н.с., НДІГС «Респіратор»

ОЦІНКА РИЗИКУ ПОЖЕЖІ НА ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

З урахуванням особливості шахтного виробництва запропоновано для оцінювання рівня пожежної безпеки підземних об'єктів використовувати ризик як імовірність виникнення небезпечних факторів пожежі та впливу їх на гірників. На основі розробленого стандарту виконано розрахунок пожежного ризику для можливості евакуації (самоврятування) гірників з аварійної дільниці

Ключові слова: підземний об'єкт, вугільна шахта, пожежний ризик, оцінка ризику, небезпечні фактори пожежі, загазована зона.

Постановка проблеми. Особливу небезпеку для вугільних шахт становлять підземні пожежі, які призводять до загибелі і травмування шахтарів, руйнування виробок та гірничошахтного обладнання, а також до значних прямих матеріальних збитків з ліквідації аварії і її наслідків. У зв'язку з цим, значне зниження імовірності виникнення пожежі на підземних об'єктах шахт, впливу небезпечних факторів пожежі на гірників та захист матеріальних цінностей залишаються важною проблемою для вугільної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що оцінка пожежної безпеки підземних об'єктів вугільних шахт визначалася без достатнього врахування властивості горючого середовища і можливості джерел його запалювання, можливості виникнення підземної пожежі. В наслідок цього експлуатація підземних об'єктів ускладнювалась необхідним здійсненням значного об'єму заходів з регламентації безпеки проведення гірничих робіт. Тому для вирішення цього питання фахівцями рекомендується застосовувати методи оцінки виникнення небезпечних факторів пожежі (НФП) і можливості впливу їх на людину, які у загальному виді наведені в стандартах, де в якості кількісного критерію прийнято індивідуальний та соціальний ризику пожежі [1-4].

Мета роботи полягає у розробленні методу визначення ризику підземної пожежі з урахуванням особливостей гірничошахтного виробництва, можливості самоврятування гірників з аварійної дільниці та розрахунок індивідуального ризику при пожежі у виробці з одночасним впливом на гірників високої температури шахтного повітря та небезпечної концентрації шкідливих речовин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення цієї мети були використані статистично-імовірнісні методи, які найбільше застосовують для розрахунку можливості виникнення пожежі на об'єкті та враховують випадковий характер пожежонебезпечних подій. Ці методи дозволяють аналізувати динаміку пожежі, розповсюдження диму та евакуацію гірників з аварійного об'єкта як функцію часу, оцінювати його фактичний рівень пожежної безпеки. З урахуванням цього НДІГС «Респіратор» розроблено стандарт [5], де пожежну безпеку підземних об'єктів визначають за допомогою індивідуального R_u та соціального R_c ризиків, тобто оцінки імовірності і рівня важкості травмування або самоврятування гірників в небезпечних обставинах. При цьому ці ризику класифікують наступним чином:

галузь зневажено малого ризику ($R_u \leq 10^{-6}$; $R_c \leq 10^{-5}$), ризик враховують забезпеченим, так як або частота виникнення НФП настільки мала, або наслідки настільки незначні, що ніяких заходів із зниження ризику пожежі не потрібно;

галузь неприпустимого ризику ($R_u > 10^{-4}$; $R_c > 10^{-3}$), бо частота і наслідки пожежі дуже значні. У цьому випадку зобов'язані заходи із зниження ризику або відповідні проектні змінення, коли зниження його являє собою економічно недоцільним;

проміжна галузь ($10^{-6} < R_u \leq 10^{-4}$; $10^{-5} < R_c \leq 10^{-3}$), ризик враховують допустимим, якщо застосовано заходи, які дозволяють зробити частоту та наслідки аварії настільки низькими, наскільки це практично доцільно.

Згідно [5] індивідуальний ризик R_u на кожному підземному об'єкті обчислюють за формулою

$$R_u = P_n P_{np} (1 - P_e)(1 - P_{nz}), \quad (1)$$

де P_n - імовірність виникнення пожежі на об'єкті протягом року;

P_{np} - імовірність присутності гірників на об'єкті протягом року при роботі: 0,25 - в одну зміну; 0,50 - у дві зміни; 0,75 - у три зміни; 1,00 - у чотири зміни;

P_e - імовірність (самоврятування) евакуації гірників з аварійної дільниці;

P_{nz} - імовірність ефективного спрацьовування технічних засобів протипожежного захисту.

При цьому імовірність пожежі на підземному об'єкті шахти визначають в залежності від виду об'єкта (штрек, камера, ходок, лава тощо), категорії шахти з газу, виду застосованої енергії, групи горючості кріплення виробок і розраховують за формулою

$$P_n = P_{ni} \ell_i, \quad (2)$$

де P_{ni} - питома імовірність виникнення пожежі на 1 погонному метрі i -ої гірничої виробки, m^{-1} (наведена у додатку Б);

ℓ_i - довжина i -ої гірничої виробки, м.

При визначенні імовірності P_e розглядають можливості евакуації (самоврятування) гірників також з використанням ізолюючих саморятувальників:

$$P_e = 1 - (1 - P_{e1})(1 - P_{e2}), \quad (3)$$

де P_{e1} , P_{e2} - імовірність евакуації (самоврятування) гірників без включення та з включенням в ізолюючі саморятувальники відповідно.

Значення імовірності P_{e1} визначають відповідно до стандарту [3], а P_{e2} - за формулою

$$P_{e2} = \begin{cases} 0,999, & \text{якщо } \tau_{zc} > t_p; \\ 0, & \text{якщо } \tau_{zc} \leq t_p, \end{cases} \quad (4)$$

де τ_{zc} - час захисної дії ізолюючого саморятувальника, хв.;

t_p - розрахунковий час евакуації гірників із загазованої зони аварійної дільниці, хв.

Якщо на об'єкті прийнята багатоступінчаста система самопорятунку, то загальний час захисної дії використаних саморятувальників складає

$$\tau_{zc} = \sum_{i=1}^n \tau_{zci}, \quad (5)$$

де τ_{zci} - час захисної дії i -х саморятувальників на кожній дільниці руху гірників з урахуванням перемикання в резервні саморятувальники в місцях розміщення пунктів перемикання, хв.;

n - кількість використаних саморятувальників для подолання загазованої зони.

У цьому випадку час самоврятування гірників t_p визначають за формулою

$$t_p = \sum_{j=1}^m L_{zj} / \mathcal{G}_{nj} \quad (6)$$

де L_{zj} – довжина загазованої зони j -го об'єкта шкідливими речовинами пожежі, м;
 \mathcal{G}_{nj} – середня швидкість пересування гірника у саморятувальнику, м/хв (наведена у додатку В);

m – кількість загазованих підземних об'єктів, на яких гірники пересуваються у саморятувальниках.

Довжину L_{zj} для різних режимів вентиляції та місць виникнення підземної пожежі визначають відповідно [6].

Розглянемо використання розробленого методу на прикладі розрахунку індивідуального ризику R_{ni} для провітрюваної гірничої виробки вугільної шахти – повітряноподаючого ходку, де сталася пожежа (рис. 1).

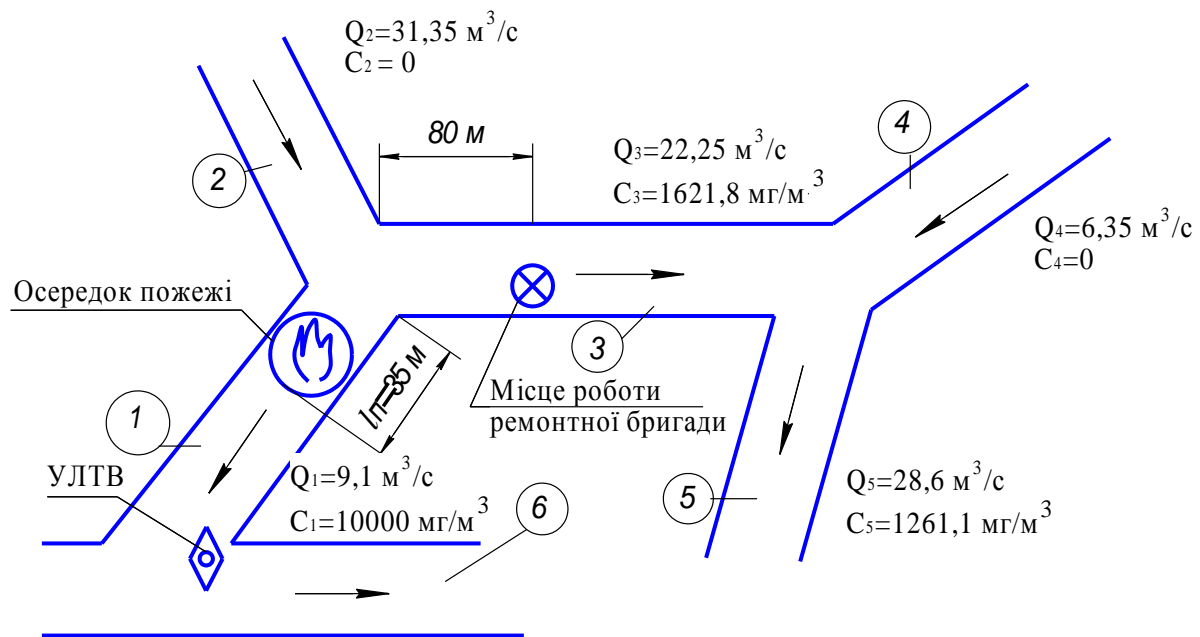


Рисунок 1. Схема гірничих виробок на аварійній дільниці, де:

- ① - ⑥ - номери гірничих виробок;
- ① - повітряподаючий ходок;
- ③ - магістральний відкотний штрек;
- ⑥ - магістральний конвеєрний штрек;
- ◇ - автоматична установка водяного пожежогасіння УЛТВ

До виникнення в цій виробці пожежі початкові умови характеризуються наступними даними: нормальна витрата повітря $Q = 12,55 \text{ м}^3/\text{с}$; швидкість повітря $U_o = 0,96 \text{ м/с}$;

температура повітря $T_o = 20$ °С; висота $H = 3$ м; площа поперечного перерізу $S = 13,1$ м²; периметр $P = 14,5$ м; довжина $L_I = 230$ м; периметр поверхні, що закріплена дерев'яною затяжкою, $P_I = 11,5$ м; відстань від місця виникнення пожежі до початку виробки (сполучення з виробками 2 і 3) $\ell_n = 35$ м; кут похилу виробки $\beta_I = 8^\circ$; провітрювання спадне.

Через час $\tau = 40$ хв із моменту виникнення пожежі депресія в аварійній виробці 1 становить $H_{ав} = 12$ Па, витрата повітря знижується до $Q_I = 9,1$ м³/с, а швидкість повітря до $U_I = 0,7$ м/с.

У виробці 3 на відстані $\ell_3 = 80$ м від її початку (сполучення з виробками 1 і 2) на момент виникнення пожежі перебувала ремонтна бригада (6 гірників), яка була зайнята перекріпленням покрівлі. Довжина виробки $L_3 = 1200$ м, кут похилу $\beta_3 = 5^\circ$. Можливі шляхи евакуації (самоврятування) гірників при пожежі - назустріч свіжому струменю у напрямку виробки 2 (довжина шляху евакуації $\ell'_{ев} = 80$ м) або у напрямку виробки 4 (довжина шляху евакуації $\ell''_{ев} = 1120$ м).

На сполученні аварійної виробки 1 з виробкою 6 розташована автоматична установка локалізації й гасіння пожеж УЛТВ, імовірність безвідмовної роботи якої дорівнює $R_{13}^c = 0,95$.

Імовірність виникнення пожежі у виробці 1 визначимо за формулою (2). Відповідно до додатка Б для повітряподаючого ходка $P_{nI} = 520 \cdot 10^{-8}$ м⁻¹, тоді імовірність виникнення пожежі P_n складає $P_n = 1,196 \cdot 10^{-3}$.

Параметри пожежі, що виникла, визначимо згідно Настанови [7]. Маса дерев'яної затяжки на одиницю площі закріпленої поверхні складає $m_{зам} = 22$ кг/м², а маса матеріалу дерев'яних рам на одиницю довжини - $m_p = 11$ кг/м. Тоді загальне горюче навантаження q обчислюють за формулою:

$$q = P_I(m_{зам} + m_p m_o), \quad (7)$$

де m_o - кількість рам на 1 м довжини виробки, м⁻¹.

Відповідно до [7] знаходимо $q = 255$ кг/м. Обсяг повітря q_o , необхідний для повного згоряння пожежного навантаження, обчислюють за формулою:

$$q_o = q \cdot q', \quad (8)$$

де q_o - обсяг повітря для повного згоряння пожежного навантаження, м³/м;

q' - питома витрата повітря на згоряння деревини, м³/кг, $q' = 4$ м³/кг.

Тоді обсяг повітря q_o буде дорівнювати $q_o = 1020$ м³/м, а гранична швидкість поширення пожежі становить:

$$g_{np} = \frac{60U_o S}{q_o} = 0,739 \text{ м/хв.} \quad (9)$$

Довжину поширення пожежі $\ell_{нож}$ обчислюють за формулою:

$$\ell_{нож} = g_{np} \left(\sqrt{\tau^2 + \vartheta^2} - \vartheta \right), \quad (10)$$

де ϑ - параметр, обумовлений відповідно до [7], $\vartheta = 60$ хв.

На момент часу $\tau = 40$ хв довжина $\ell_{нож} = 8,95$ м.

За умов [6], якщо швидкість повітря у аварійній виробці дорівнює 4 м/с і більше, то загазовану зону визначають за напрямком вентиляційного потоку. У іншому випадку необхідно також розраховувати загазовану зону й поширення шкідливих речовин назустріч свіжому струменю. У нашому випадку швидкість вентиляційного потоку у виробці 1 становить менше ніж 4 м/с, тому необхідно розрахувати дальність поширення пожежних газів назустріч свіжому струменю.

Таким чином, небезпечними факторами цієї пожежі для гірників, що працюють у виробці 3, можуть бути висока температура та концентрація шкідливих речовин у шлейфі пожежних газів на сполучі виробок 1 та 3.

Довжину шлейфа пожежних газів $\ell_{шл}$, що рухаються назустріч свіжому струменю повітря, визначаємо за формулою [6]:

$$\ell_{шл} = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{Z}{2H_{ав}} \right), \quad (11)$$

де k - показник зниження температури у шлейфі пожежних газів, m^{-1} ;

Z - поперечна складова теплової депресії у виробці, Па.

Пропускаючи проміжні числові розрахунки визначення цих величин, вони становлять $k=0,04 m^{-1}$; $Z=429,8$ Па, $\ell_{шл}=72,1$ м.

Таким чином, довжина шлейфа пожежних газів, що рухається назустріч вентиляційному струменю $\ell_{шл}$, більше, ніж відстань від джерела запалювання до початку аварійної виробки 1, тобто пожежні гази потрапляють у виробки, що сполучають із аварійною збоку свіжого струменя (виробка 3), де перебувають гірники.

Довжина додаткової загазованої зони становить $\ell_{газ}=37,1$ м.

Кількість шкідливих речовин $q_{вв}$, мг/с, у шлейфі пожежних газів, що рухаються назустріч вентиляційному струменю, визначають за формулою:

$$q_{вв} = \frac{Q_k Q_{ав}}{Q_k + Q_{ав}} \cdot c, \quad (12)$$

де Q_k - конвективна витрата повітря, m^3/c

$$Q_k = \frac{Q_{ав}}{8} \left(\frac{4}{\psi} + \psi - 4 \right);$$

ψ - безрозмірний коефіцієнт

$$\psi = \frac{Z e^{-k \ell_n}}{H_{ав}};$$

c - концентрація шкідливих речовин у аварійній виробці, mg/m^3 (приймаємо $c=10000 mg/m^3$).

Попередні розрахунки вказують, що $\psi = 8,81$; $Q_k = 5,98 m^3/c$.

Тоді значення кількості шкідливих речовин дорівнює $q_{вв} = 36086$ мг/с, а концентрація шкідливих речовин у виробці 3 становить $c_3 = 1621,8$ mg/m^3 . Таким чином концентрація оксиду вуглецю перевищує максимально припустиму концентрацію у 8,2 рази, відповідно до класифікації у виробці 3 утвориться зона I - небезпечна зона [6].

Іншим НФП пожежі у виробці 1 є температура $T(x)$ у шлейфі пожежних газів. Розрахуємо температуру на початку $T_{знач}$ виробки 3 (на сполученні виробок) і наприкінці $T_{зкін}$ шлейфа за формулою:

$$T(x) = T_o + B e^{-kx}, \quad (13)$$

де B - температурний коефіцієнт, К.

Тоді $T_{знач} = 224 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{зкін} = 69 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким чином, шлях евакуації (самоврятування) гірників з виробки 3 у напрямку виробки 2 виключається внаслідок високої температури й загазованої зони.

Імовірність присутності гірників у виробці 3 за умови роботи в чотири зміни становить $P_{пр} = 1,00$ а імовірність евакуації (самоврятування) гірників без включення в саморятувальники дорівнює $P_{e1} = 0$. Швидкість пересування гірників у саморятувальниках для кута похилу $\beta_3 = 5^\circ$ при підйомі (додаток В), складає $g_{пер} = 7,13 \text{ м/хв.}$, розрахунковий час евакуації (самоврятування) гірників дорівнює $t_p = 157 \text{ хв.}$

Відповідно до вимог НПАОП 10.0-1.01-10 [8] всі гірники при спуску в шахту повинні мати ізолюючий саморятувальник для індивідуального захисту органів дихання при підземних аваріях. На цей час як такий саморятувальник використовують ШСС-1У, час захисної дії якого становить $\tau_{zc} = 50 \text{ хв.}$

Таким чином, при одноступінчастій системі самопорятунку ($\tau_{zc} = 50 \text{ хв}$) час захисної дії ШСС-1У менше терміну евакуації гірників, тобто $\tau_{zc} < t_p$, $P_{e2} = 0$, а імовірність евакуації $P_e = 0$.

Імовірність ефективного спрацьовування протипожежного захисту становить $P_{nz} = 0,95$.

Тоді індивідуальний ризик R_u для виробки 1 складає $R_u^{(1)} = 5,98 \cdot 10^{-5}$, $R_u^{(1)} > R_u^* = 10^{-6}$.

Отже, рівень безпеки цих гірників за таких обставин не забезпечується.

При наявності у виробці 3 ще трьох пунктів перемикання час перебування гірників у

саморятувальниках буде складати $\tau_{zc} = \sum_{i=1}^n \tau_{zci} > t_p$, $P_{e2} = 0,999$.

Тоді імовірність евакуації гірників дорівнює $P_e = 0,999$, а індивідуальний ризик при триступінчастій системі самопорятунку $R_u^{(3)}$ буде дорівнювати $R_u^{(3)} = 5,98 \cdot 10^{-8}$, що значно менше нормативного значення $R_u^* = 10^{-6}$.

Висновки. Вперше запропоновано з урахуванням умов шахтного виробництва для оцінки рівня пожежної небезпеки підземних об'єктів використовувати розрахунковий індивідуальний ризик як імовірність виникнення небезпечних факторів пожежі та можливості самоврятування гірників з аварійної дільниці, що стало науковою базою для розроблення галузевого стандарту та обґрунтування заходів із зниження наслідків підземних пожеж.

Перспективи подальших досліджень. Подальшим вирішенням цієї проблеми є розроблення сценаріїв та математичних моделей виникнення і розвинення підземних пожеж для конкретних об'єктів з урахування гірничошахтних умов, технології видобутку вугілля, використання програм автоматизованих розрахунків пожежних ризиків для складання планів з ліквідації аварій і обмеження поширення їх за межі об'єкта під час будівництва, реконструкції та експлуатації підприємств.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методы количественной оценки уровня пожаровзрывоопасности объектов: Обзорная информация / [Гаврилей В.М., Шевчук А.П., Матюшин А.В., Иванов В.А.]. – 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. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – [Введ. 1992-07-01]. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1992. – 77 с.
4. 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.– Львів : ЛДУБЖД, 2009. – С. 272-273.
5. 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.
6. 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.
7. Руководство по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения : утв. ВУ ВГСЧ 09.09.85 / ВНИИГД. – Донецк, 1985. – 96 с.
8. Правила безпеки у вугільних шахтах : НПАОП 10.0-1.01-10. – К.: Держгірпромнагляд України, 2010. –181 с.

УДК 614.84

О.М.Мартин, к.е.н., доц., ЛДУБЖД

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ЗАХОДІВ: ЇЇ СУТЬ ТА ОБЧИСЛЕННЯ

Стаття присвячена вдосконаленню економічного обґрунтування та розрахунку економічного ефекту від впровадження протипожежних рішень, спрямованих на підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів різного призначення. Запропоновано до використання формули та коефіцієнти ступеня захисту при здійсненні різних протипожежних рішень.

Ключові слова: протипожежні заходи, пожежна безпека, економічний ефект, економічна ефективність протипожежних заходів, прямі матеріальні збитки, побічні збитки.

Постановка проблеми. Надзвичайні ситуації, зокрема пожежі є серйозною проблемою для багатьох країн світу. Останніми роками спостерігається тенденція щодо збільшення пожеж, при цьому одночасно збільшуються економічні, екологічні, соціальні збитки від них, зростає кількість жертв. Навіть у тих країнах, де досягнуті певні успіхи із скорочення кількості пожеж, вони продовжують завдавати великих збитків. Підвищенню рівня пожежної небезпеки об'єктів значно сприяє зростання енергоємності виробництва, щільності транспортних комунікацій, підвищення рівня температури та тиску в технологічному устаткуванні, використання нових видів полімерних матеріалів.

Практична реалізація державної політики у сфері захисту населення, територій від пожеж та інших надзвичайних ситуацій, пріоритетом якої є запобігання їх виникненню та адекватне реагування на них, повинна базуватися на глибоких нормативно-правових та економічних знаннях, використанні сучасного міжнародного досвіду. Будь-які протипожежні заходи з метою удосконалення пожежної безпеки на конкретному об'єкті, так і в цілому у національній економіці передбачають обґрунтування економічної ефективності затрат для здійснення запропонованих заходів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Економічну ефективність від здійснення протипожежних заходів на рівні національної економіки України та розрахунок економічного ефекту від цих заходів запропоновано у «Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011-2015 роки» [1].

Постановка завдання та його вирішення. В Україні в сучасних умовах обмеженого державного фінансування та обмежених фінансових можливостей суб'єктів господарювання без економічного підходу, кількісного та якісного аналізу протипожежних рішень неможливо правильно визначити і забезпечити стратегічні завдання по створенню безпечних умов життєдіяльності людини. Розрахунок ефективності витрат на забезпечення пожежної безпеки об'єктів є обов'язковою умовою при техніко-економічному обґрунтуванні заходів, спрямованих на підвищення пожежної безпеки. Розрахунки економічного ефекту повинні використовуватися при визначенні цін на продукцію протипожежного призначення, а також для обґрунтування вибору заходів щодо забезпечення пожежної безпеки виробничих та невиробничих об'єктів.

Оцінці економічної ефективності протипожежних заходів у вітчизняній літературі ще не приділяється достатньої уваги. На наш погляд, це зумовлено відсутністю, по-перше, необхідної нормативної літератури, а по-друге, різних варіантів обґрунтування доцільності затрат економічних ресурсів з метою покращення протипожежного захисту і створення безпечних умов життєдіяльності людини. В даному науковому дослідженні пропонується вдосконалення економічного обґрунтування та розрахунку економічного ефекту від

впровадження протипожежних рішень, спрямованих на підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів різного призначення.

Витрати на забезпечення пожежної безпеки слід вважати ефективними з соціальної точки зору, якщо вони гарантують безпеку життєдіяльності людини, тобто унеможливають людські втрати у випадку виникнення пожежі. Витрати на забезпечення пожежної безпеки слід вважати ефективними з економічної точки зору, якщо вони забезпечують зменшення реальних матеріальних збитків у результаті здійснення запропонованих протипожежних рішень у порівнянні з можливими збитками від пожеж без запропонованих рішень.

Доцільність реалізації протипожежних рішень полягає в перевищенні збитку, який може бути завданий внаслідок пожежі без здійснення протипожежних заходів (Z_1), над сукупними витратами ресурсів на здійснення запропонованих протипожежних рішень (B).

$$Z_1 > B. \quad (1)$$

Кінцевим результатом створення і використання заходів щодо забезпечення пожежної безпеки є важливість передбачених втрат (Z_2), які розраховують, виходячи з вірогідності виникнення пожежі після реалізації заходу щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єкті.

Економічні результати (R), досягнуті завдяки здійсненню протипожежних заходів, визначаються як різниця між можливими збитками від пожеж без запровадження протипожежних рішень та можливими збитками, якщо ці рішення будуть впроваджені.

$$R = Z_1 - Z_2. \quad (2)$$

Логічно, що

$$Z_1 > Z_2. \quad (3)$$

Економічний ефект (E) здійснення протипожежних заходів визначається як різниця між економічними результатами (R), досягнутими завдяки здійсненню зазначених заходів, і витратами на них (B):

$$E = R - B, \quad (4)$$

або:

$$E = Z_1 - (Z_2 + B), \quad (5)$$

де: E – економічний ефект здійснення протипожежних заходів;

R – економічні результати, досягнуті завдяки здійсненню протипожежних заходів;

Z_1 – збитки, які можуть бути завдані внаслідок пожежі без здійснення протипожежних заходів, визначається як сума прямих і побічних збитків;

Z_2 – можливі збитки від пожежі за умови впровадження протипожежного рішення.

Економічний ефект від здійснення протипожежних заходів (E) є величиною додатною, тобто він буде отриманий тоді, коли сума можливих збитків від пожежі за умови впровадження протипожежного рішення (Z_2) і сукупних витрат ресурсів на здійснення запропонованих протипожежних рішень (B) буде меншою від збитків, які можуть бути завдані внаслідок пожежі без здійснення протипожежних заходів (Z_1):

$$Z_1 > (Z_2 + B), \quad (6)$$

або коли сукупні витрати ресурсів на здійснення запропонованих протипожежних рішень (B) будуть менші від економічних результатів, досягнутих завдяки здійсненню протипожежних заходів (R):

$$R > B. \quad (7)$$

Збитки в результаті пожежі без здійснення протипожежних заходів (Z_1) визначаються як сума прямих і побічних збитків.

Прямі економічні матеріальні збитки включають втрати в результаті знищення чи пошкодження пожежею основних виробничих та основних невикористаних фондів; втрати в результаті знищення (пошкодження) готової промислової та сільськогосподарської продукції, сировини, матеріалів та напівфабрикатів, проміжної продукції. Для їх розрахунку доцільно використовувати формули, запропоновані в «Методиці оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» [2].

Проте, на наш погляд, формули для обчислення втрат в результаті знищення чи пошкодження пожежею основних виробничих та основних невикористаних фондів у даній

методиці подана не цілком коректно. Пропонуємо для обчислення втрат в результаті знищення чи пошкодження пожежею основних виробничих фондів наступну формулу:

$$C\Phi_v = \sum_{i=1}^n [(Z_v - L_v) + (Z_v \times K^i)], \quad (8)$$

де $C\Phi_v$ – втрати в результаті знищення чи пошкодження i -ою пожежею основних виробничих фондів, тис. грн.;

Z_v — залишкова вартості i -го виду основних фондів виробничого призначення внаслідок повного або часткового руйнування, тис. грн.;

L_v - ліквідаційна вартість одержаних матеріалів і устаткування, тис. грн.;

K^i — коефіцієнт амортизації i -го виду основних фондів виробничого призначення;

n — кількість видів основних фондів виробничого призначення, що були частково або повністю зруйновані.

Аналогічну формулу пропонуємо для обчислення втрат в результаті знищення чи пошкодження пожежею основних невикористаних фондів:

$$C\Phi_{nv} = \sum_{i=1}^n [(Z_v - L_v) + (Z_v \times K^i)], \quad (9)$$

де $C\Phi_v$ – втрати в результаті знищення чи пошкодження i -ою пожежею основних невикористаних фондів, тис. грн.;

Z_v — залишкова вартості i -го виду основних фондів невикористаного призначення внаслідок повного або часткового руйнування, тис. грн.;

L_v - ліквідаційна вартість одержаних матеріалів і устаткування, тис. грн.;

K^i — коефіцієнт амортизації i -го виду основних фондів невикористаного призначення;

n — кількість видів основних фондів невикористаного призначення, що були частково або повністю зруйновані.

Побічні збитки від пожежі включають:

1) втрати в результаті відволікання ресурсів на компенсацію наслідків пожежі, тобто витрати на відновлення функціонування об'єкта, на якому відбулася пожежа;

2) втрати через невикористання можливостей власника, тобто це недоотриманий прибуток в результаті його простою і вибуття трудових ресурсів з виробничої діяльності;

3) соціально-економічні втрати – це витрати на проведення заходів внаслідок загибелі і травмування людей на пожежі;

4) витрати держави на виконання функцій забезпечення пожежної безпеки та гасіння пожеж, тобто це вартість одного виїзду підрозділів аварійно-рятувальної служби за сигналом «Тривога».

Для розрахунку побічних збитків від пожеж доцільно використати «Тимчасові методичні рекомендації щодо визначення побічних збитків від пожеж» [3].

Прямі витрати конкретного протипожежного рішення обчислюються, виходячи із фактичних витрат на придбання устаткування та конструкцій, використовуючи ціни прейскурантів або ринкові ціни на момент здійснення купівлі. Крім прямих матеріальних витрат у структуру витрат конкретного протипожежного рішення входять витрати на заробітну плату працівників, які здійснюють монтаж, а також експлуатаційні витрати.

Для розрахунку можливих збитків за умови реалізації протипожежного рішення пропонуємо використати запропоновані нами коефіцієнти ступеня захисту різних протипожежних рішень (K_{c3}), які наводяться таблиці 1.

Використовуючи K_{c3} , обчислюємо коефіцієнт K , який характеризує співвідношення між можливими збитків від пожежі за умови впровадження протипожежного рішення (Z_2) і збитками в результаті пожежі без їх здійснення (Z_1):

$$K = Z_2 / Z_1. \quad (10)$$

$$K = 1 - K_{c3}. \quad (11)$$

Таблиця 1 – Коефіцієнти ступеня захисту при здійсненні різних протипожежних рішень

№ п/п	Протипожежне рішення	Коефіцієнти ступеня захисту, $K_{сз}$
1	Автоматична установка пожежогасіння	0,9
2	Автоматична пожежна сигналізація	0,5
3	Блискавкозахист	0,25
4	Протипожежні перешкоди	0,7
5	Аварійна вентиляція	0,95
6	Противибуховий захист	0,8
7	Протидимний захист	0,4
8	Вогнезахист будівельних конструкцій	0,35
9	Протипожежне водопостачання	0,5

Обчислений коефіцієнт (K) та фактичні збитки в результаті пожежі без здійснення протипожежних заходів (Z_1) дає можливість розрахувати можливі збитки від пожежі за умови впровадження протипожежного рішення (Z_2):

$$Z_2 = Z_1 \times K. \quad (12)$$

Якщо на об'єкті можливі декілька варіантів реалізації заходів з метою забезпечення пожежної безпеки, тоді відбираються ті, які найбільше відповідають критеріям мінімізації збитків та максимізації економічного ефекту і гарантують ефективність як з економічної, так і соціальної точки зору. До даних варіантів включаються найкращі техніко-економічні показники, які відповідають кращим світовим і вітчизняним досягненням. При цьому повинні враховуватися можливості закупівлі техніки за кордоном, організації власного виробництва на основі придбання ліцензій, організації спільного виробництва із зарубіжними партнерами. Кращим визнається варіант заходу щодо забезпечення пожежної безпеки, який відповідає таким критеріям:

- 1) за умови тотожності збитків після реалізації протипожежного рішення має найбільше значення економічного ефекту і відповідає досягненню соціального ефекту;
- 2) за умови тотожності витрат на реалізацію протипожежного заходу має найбільше значення економічного ефекту і відповідає досягненню соціального ефекту.

Якщо метою здійснення протипожежного заходу є не безпосереднє запобігання пожежі, а забезпечення достовірної інформації про основні характеристики і параметри рівня пожежної безпеки на об'єкті, контролю за дотриманням правил пожежної безпеки, у випадку неможливості визначення впливу даного заходу на вартісну оцінку втрат, що запобігли, то при порівнянні альтернативних варіантів по забезпеченню пожежної безпеки кращим приймається той, витрати на досягнення якого мінімальні.

Висновки. Запропонований підхід до визначення економічної ефективності затрат на протипожежні заходи дозволить не тільки оцінити стан пожежної безпеки на будь-якому об'єкті, але дасть змогу запропонувати економічно доцільні варіанти удосконалення протипожежного захисту (об'ємно-планувальні рішення, протипожежні перешкоди, системи протидимного захисту, установки автоматичної пожежної сигналізації та гасіння пожежі, блискавкозахисту тощо). Даний підхід може бути використаний також в процесі приймання рішення про будівництво промислових і соціальних об'єктів і забезпечення на них високого рівня пожежної безпеки, а також при розробці планів фінансування протипожежних заходів як на окремих об'єктах, так і в національній економіці в цілому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Концепція Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011-2015 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua>.
2. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua>.
3. Тимчасові методичні рекомендації щодо визначення побічних збитків від пожеж / Головне управління ДПО МВС України. – К., 1998.

УДК 614.842

В.П. Мельник, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ВИКОРИСТАННЯ ОБЕРНЕНИХ МОДЕЛЕЙ САУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВИКОНАВЧИХ ОРГАНІВ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Розглядається питання використання обернених моделей САУ для синтезу систем пожежної безпеки та можливістю вибору умов створення структури систем із заданими характеристиками, що є найкращими за вибраними критеріями

Ключові слова: система автоматизованого управління (САУ), метод обернених операторів, обернені моделі, динамічні системи

Постановка проблеми. При розв'язку завдань проектування, управління систем забезпечення пожежної безпеки, на всіх етапах її "життєвого циклу", виникає необхідність розв'язку так званих "обернених завдань", тобто у визначенні по бажаному виходу бажаного входу системи або окремих її елементів.

Із наукової точки зору однією з основних проблем в області створення складних систем є розробка формалізованих методів, що дозволяють при прийнятному обсязі обчислювальної роботи вибирати на етапі зовнішнього проектування оптимальний варіант системи в результаті логіко-математичного синтезу її структури [1].

Під синтезом структури розуміється логіко-математичний метод структурних досліджень, що забезпечує спрямований вибір із допустимих комбінацій елементів проектованої системи такої їхньої сукупності й такого характеру функціональних, динамічних і конструктивних зв'язків, які відповідали б умовам створення структури системи із заданими характеристиками, що є найкращим в змісті переваги критеріальної оцінки.

В основу розгляду обернених методів покладена логічна основа оптимальних методів [2] рис. 1:

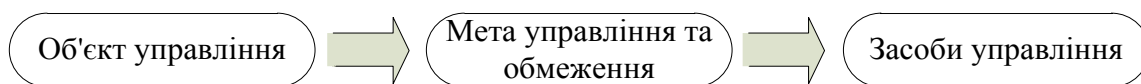


Рисунок 1 – Логічна основа оптимальних методів

Розглянемо можливості деяких з них більш докладно.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Метод обернених операторів запропонований в 1961 році академіком Г.В. Пуховим [7] і застосований до систем управління з великою кількістю зв'язків д.т.н. К.Д. Жуком [2, 3].

Ідея управління різними об'єктами по методу обернених операторів досить проста і полягає в побудові системи пристроїв, які реалізують перетворення, в деякому змісті обернені тим, які відбуваються над відповідними змінними в самому об'єкті і в додаткових порівнюючих вимірально-обчислювальних пристроях, або ж у їхніх математичних моделях [7].

Оберненими методами прийнято вважати такі методи синтезу, які засновані на завданні необхідного руху системи (бажаного перехідного процесу) у вигляді деяких кінцевих, інтегральних або диференціальних рівнянь і систем. Серед них слід розрізняти методи параметричного й структурного синтезу (визначення параметрів автоматичної системи при заданому характері перехідних процесів) лінійних систем розроблені А.Г. Івахненко [1], П.І. Чинаєвим і іншими вітчизняними та закордонними вченими [3].

Якщо користуватися топологічною моделлю системи (структурною схемою, граф-схемою), то метод формулюється в такий спосіб: щоб одержати схему моделі системи обернену даній, необхідно, починаючи з виходу, всього оператора перетворення елементів уздовж заданого шляху перетворення, замінити на обернені (інтегрування - диференціюванням, посилення - ослабленням і ін.), знаки прямих зв'язків залишити без зміни, а обернених і перехресних - змінити на протилежні. Висновок цього ж правила можна довести аналітично.

Постановка задачі та її розв'язання.

Створення й розробка систем управління є однією із центральних задач теорії автоматичного управління й сучасної теорії систем [6].

У даній статті здійснюється:

- аналіз обернених моделей та методи на основі «обернених операторів»;
- короткий аналіз обернених методів синтезу нелінійних динамічних систем;
- дослідження шляхів автоматизації проектування елементів САУ за допомогою замикання логічної схеми проектування.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Розглянемо деякі окремі випадки, що дозволяють наочно простежити викладене вище.

У багатоконтурних системах часто виникає необхідність визначати входи в сильно розгалужених структурах, які складаються із великої кількості зв'язаних один з одним елементів, використовуючи при цьому мінімально можливу інформацію про проміжні виходи, та користуючись тільки основними.

Так, для лінійного випадку деяких рівнянь (1),

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y); \tag{1}$$

коли:

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + \sum_{j=1}^m b_{ij}y_j; \quad (i=1, \dots, n) \tag{2}$$

а інтегральне перетворення вхід-вихід має вигляд (рис. 2):

$$x_i = x_i(0) + \int_0^t \left(\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + \sum_{j=1}^m b_{ij}y_j \right) dt, \quad (i=1, \dots, n) \tag{3}$$

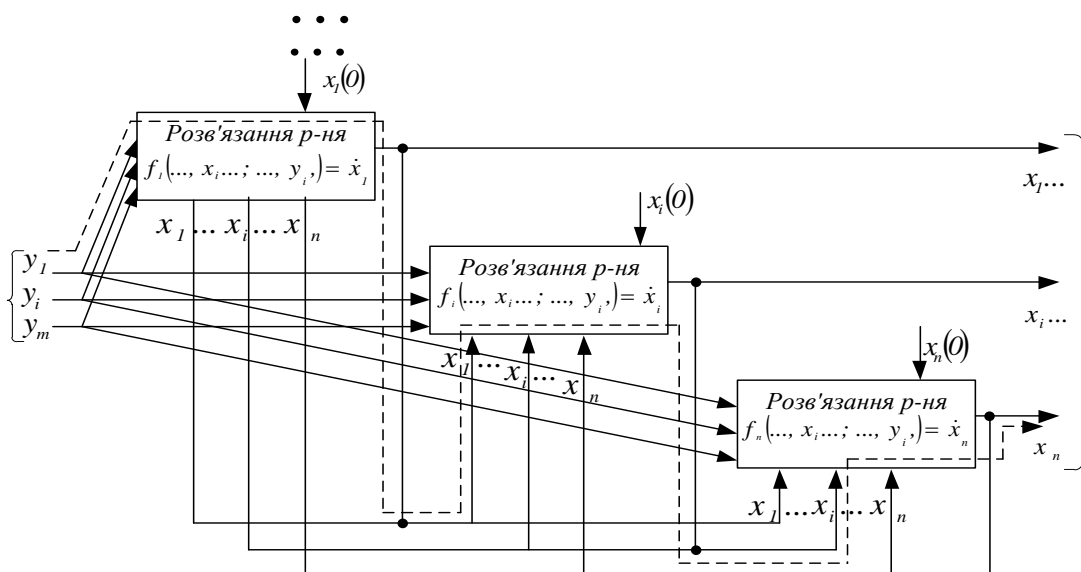


Рисунок 2 – Схема паралельного відображення елементів в системі (пряма модель)

Обернене йому перетворення щодо входів y_j представлено на (рис. 3):

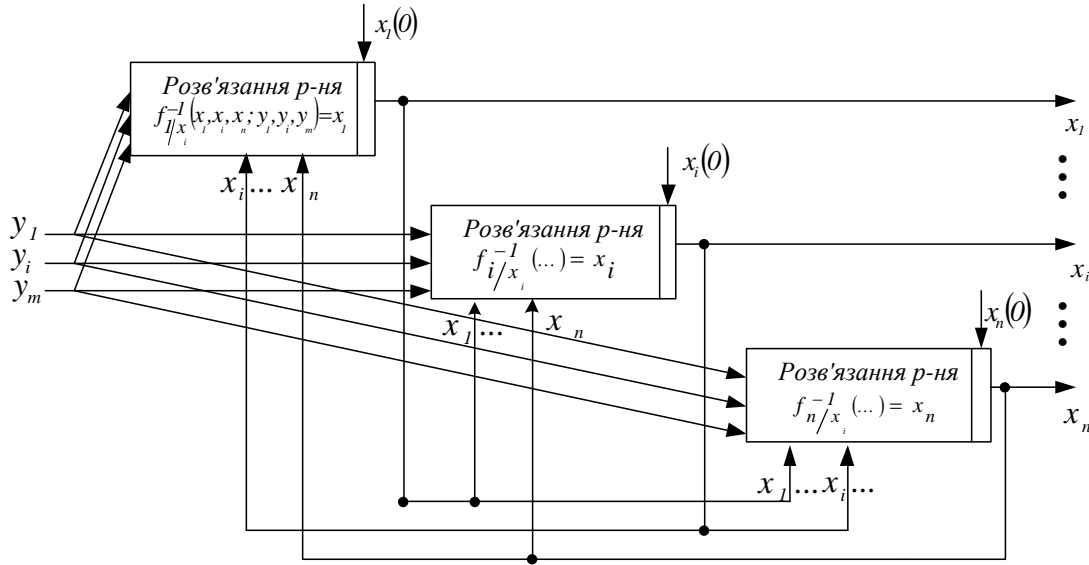


Рисунок 3 – Структурна схема прямої моделі з використанням «обернених» елементів (диференціювання)

Щодо виходів x_i перетворення рівняння (1) з використанням диференціювання набуває вид:

$$x_i = \frac{1}{a_{ij}} \left(- \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i + \sum_{j=1}^m b_{ij} y_{ij} + \frac{dx_i}{dt} \right), \quad (i = 1, \dots, n) \quad (4)$$

Вище викладене добре ілюструється топологічним представленням вихідної математичної моделі на рис. 2 і 3. Узагальнена схема оберненої моделі представлена на рис. 4, де різні варіанти визначення бажаних входів при відомих виходах.

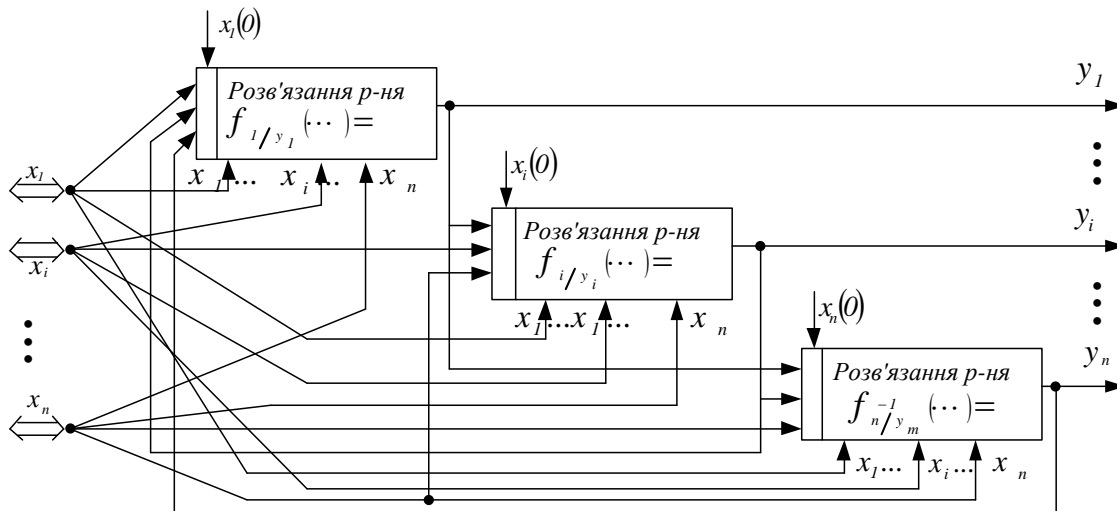


Рисунок 4 – Структурна схема оберненої моделі багатоконтурної системи (один із варіантів)

Особливий інтерес має випадок, коли в оберненій моделі потрібне задавання тільки однієї вихідної змінної всієї системи x_n . Це означає, що система є однозв'язною багатоконтурною і необхідно обійтися тільки задаванням змінної виходу, не задаючи всіх

змінних стану. При цьому ускладнюється сама модель, а тим самим - і час розв'язку завдання. Можливі наступні варіанти розв'язку даного завдання.

Для випадків, коли визначається вхідна змінна всієї системи, що подається на вхід першого елемента, вона знаходиться з рівняння (1), а інші можуть моделюватися з використанням, наприклад, диференціювання, тобто за схемою $\left(x_n \rightarrow \frac{d}{dt} y_1\right)$:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_{1/y_1}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; x_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right), \\ x_1 &= f_{1/x_1}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right), \\ x_i &= f_{n/x_i}^{-1}\left(x_1, \dots, x_n, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right) \end{aligned} \quad (5)$$

Тоді отримуємо однорідну (з погляду обчислення) систему рівнянь. Якщо потрібно визначити закон зміни входу, що діє не на перший елемент, а, наприклад, на E_i або E_n , то відповідно вирішується рівняння цього елемента відносно бажаного входу, а інша частина моделюється як і в попередньому випадку, тільки з використанням "свого" набору змінних стану, які визначаються з відповідної сукупності рівнянь. Так, для j -го входу: $(x_n \rightarrow y_j)$

$$\begin{aligned} y_j &= f_{1/y_j}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, x_1, \dots, y_m\right), \\ x_1 &= f_{1/x_1}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right), \\ x_i &= f_{n/x_i}^{-1}\left(x_1, \dots, x_n, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right) \end{aligned} \quad (6)$$

и для m -го входу $(x_n \rightarrow y_m)$:

$$\begin{aligned} y_m &= f_{n/y_m}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, x_n\right), \\ x_1 &= f_{1/x_1}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right), \\ x_i &= f_{i/x_i}^{-1}\left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогічно можна визначити будь-який вхід (або вихід) системи при задаванні будь-якої змінної стану (або їх комбінації) з використанням інтегрування, а не диференціювання, як у попередніх випадках (рис. 4).

Якщо потрібно визначати (а не задавати) входи одночасно, то кількість обчислювальних (обернених) схем повинна бути збільшеною до кількості бажаних входів (рис. 5).

Бажані входи можна визначати, наприклад, задаючи наступну сукупність змінних стану $(x_i$ при визначенні $y_j)$:

$$\begin{aligned}
 y_j &= f_{i/y_j}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_i, \dots, y_m \right), \\
 x_1 &= f_{i/x_1}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m \right), \\
 x_n &= f_{n/x_n}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m \right)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

З використанням x_i можуть бути отримані також і інші входи, тобто y_1, \dots, y_m .

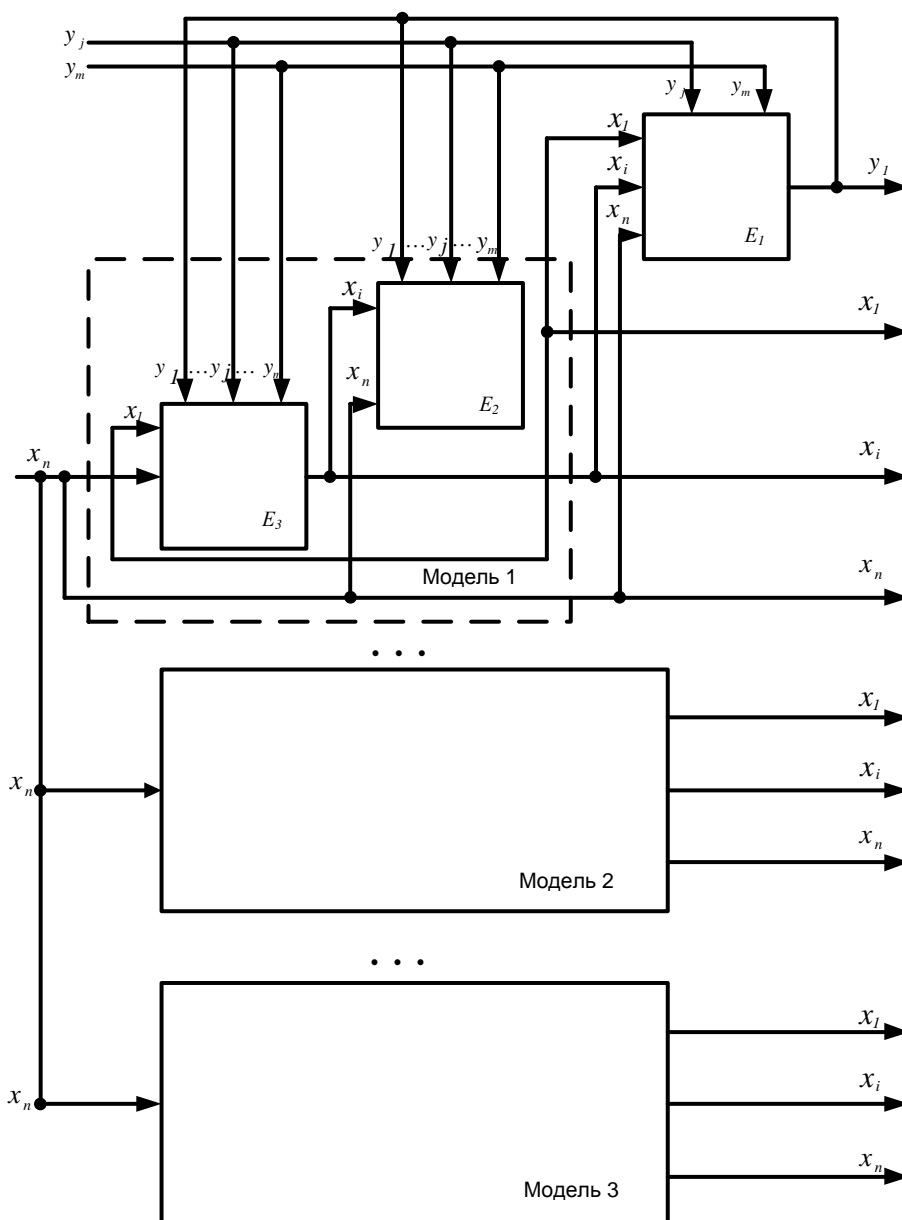


Рисунок 5 – Структурна схема моделей з бажаною кількістю входів

Якщо використовувати тільки змінну x_1 для визначення всіх (або деяких) входів, то рівняння відповідно мають вигляд (наприклад, для y_m): $(x_1 \rightarrow y_m)$:

$$\begin{aligned}
 y_m &= f_{n/y_m}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m \right), \\
 x_i &= f_{i/x_i}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m \right), \\
 x_n &= f_{n/x_n}^{-1} \left(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n; y_1, \dots, y_j, \dots, y_m \right)
 \end{aligned} \tag{9}$$

Слід відмітити, що у всіх наведених вище випадках рівняння для визначення змінних виходів мають той самий вид, а змінюються тільки схеми (моделі, мається на увазі) визначення змінних стану одних комбінацій на основі відомих інших.

Висновки. Слід зазначити, що при використанні апарата диференціальних рівнянь вдається одержати розв'язок завдання при нелінійному об'єкті керування. Особливістю обернених методів є також те, що вони дають можливість організувати ітераційну процедуру послідовного синтезу з урахуванням множини обмежень на реалізацію [4].

Програма дослідження при створенні систем управління зводиться до розробки алгоритму обробки даних, одержуваних зі оберненої моделі системи з метою отримання характеристик її навантаження й порівняння їх з розташовуваними характеристиками наявних результатів.

Використання обернених моделей САУ і її елементів дає можливість визначати відхилення виконавчих органів, їх швидкості й прискорення і необхідні потужності керування, тобто вихідні дані для проектування або вибору силової частини САУ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К. : Вища школа, 1987. – 136 с.
2. Математическая теория оптимальных процессов / [Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф.]. – М. : Наука, 1983. – 393 с.
3. Жук К. Д. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем / К.Д. Жук, А.А.Тимченко, Т.И. Доленко. – К.: – Наукова думка, 1975. – 199 с.
4. Жук К.Д. Автоматизированное проектирование логико-динамических систем / К.Д. Жук, А.А. Тимченко. – К. : Наукова думка, 1981. – 450 с.
5. Жук К. Д. Построение современных систем автоматизированного проектирования / К.Д. Жук, А.А.Тимченко, А.А. Родионов. – Киев : Наук. думка, 1983. – 248 с.
6. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів / А.А. Тимченко. – К. : Либідь. 2004. – 288 с. – (Основы системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки : навч. посібник; за ред. Ю.Г. Леги).
7. Пухов Г.Е. Синтез многосвязных систем управления по методу обратных операторов / Г.Е.Пухов, К.Д. Жук. – К. : Наук. думка. 1966. – 215 с.

УДК 004.891:629.735

О.Г.Мельник, АПБ ім. Героїв Чорнобиля, В.М.Рудницький, д. т. н., проф., ЧДТУ,
Р.П.Мельник, В.І.Томенко, к. т. н., доц., АПБ ім. Героїв Чорнобиля

ДОБОВИЙ МОНІТОРИНГ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ

У статті розглянуто одну із основних причин виникнення пожеж у житлових будинках – порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок. Зроблено аналіз найпоширеніших електроприладів, що знаходяться в квартирі. Визначено період доби, коли навантаження електромережі досягає максимуму. Отримані дані є вихідним матеріалом до прогнозування передумов виникнення пожеж у житлових будинках на основі методу групового врахування аргументів.

Ключові слова: житловий сектор, офіційна статистика, електричне навантаження, сумарна повна потужність, активне навантаження, реактивне навантаження, комбіноване навантаження.

Актуальність проблеми. Одним із важливих напрямків щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства, навколишнього середовища та матеріальних цінностей є забезпечення пожежної безпеки [1; 2]. Не дивлячись на швидкий темп розвитку нашого суспільства, досі ще не вдалося знайти повністю надійних засобів щодо забезпечення пожежної безпеки. Більше того, згідно зі статистичними даними при зростанні чисельності населення на 1 % кількість пожеж збільшується приблизно на 5 %, а збитки від них зростають на 10 %. Кожні 5 секунд на земній кулі виникає пожежа, а в Україні – кожні 10 хвилин.

Упродовж 2010 року в Україні в середньому щодня виникало 170 пожеж, унаслідок яких гинули 8 і отримували травми 4 людини, 61 будівля і споруда та 8 одиниць техніки пошкоджувалося або знищувалося вогнем. Щоденні економічні втрати від пожеж становили 6 млн. 327 тис. грн. [3].

Офіційна статистика свідчить, що найбільша кількість пожеж виникає в житловому секторі (2010 рік – 79,3 % від загальної кількості пожеж, у т.ч. житлові будинки – 30,8 %), що є причиною гибелі великої кількості людей (2010 рік – 2719 людей або 96,5 % від загальної кількості загиблих внаслідок пожеж, з яких 2307 осіб загинуло безпосередньо в житлових будинках), а також збитків у вигляді втрат і пошкоджень матеріальних цінностей.

Найпоширенішими причинами пожеж у житловому секторі є:

- необережне поводження з вогнем (40-50 %);
- порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок (20-25 %);
- порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації печей та ТГ агрегатів (8-10 %);
- підпал (5 %);
- пустощі дітей з вогнем (2-5 %).

Електричне навантаження міських споживачів, таких як сучасні житлові будинки, в останні десятиріччя бурхливо зростає. Це пов'язано, в першу чергу, з появою нових видів техніки.

Особливе навантаження в електромережах відбувається за рахунок несанкціонованого вмикання мешканцями потужних електронагрівальних приладів та кондиціонерів, активне використання підігріву підлоги, ввімкнення домашніх джакузі та саун.

Однією з основних причин виникнення пожеж в електричних мережах є надмірне нагрівання їхніх елементів в місцях з'єднання та в умовах перевантаження. Зокрема, це обумовлено протіканням по проводах струму, значення якого перевищує номінальне. Це є наслідком використання розгалужувальних електромонтажних коробок та розеток з недосконалою конструкцією. Сучасні вимоги щодо проектування елементів електромережі не враховують нагрівання понад допустиму температуру їхніх складових частин у контактних з'єднаннях, виконаних за методом «скрутки», в місцях згину проводів та приєднання потужних електричних споживачів.

Вищевикладене зумовило актуальність досліджень, спрямованих на розрахунок сумарної повної потужності, яку споживають електричні прилади та визначення добового максимуму по навантаженню електромережі.

Новизна отриманих результатів полягає в наступному: вперше було проведено аналіз побутових електроприладів в житлових приміщеннях за різновидом потужності; підраховано максимальне навантаження електромережі, яке може виникнути під час одночасного ввімкнення всіх електроприладів; визначено найбільш пожежонебезпечний період доби; зроблено висновок щодо подальшого використання отриманих даних як вихідного матеріалу до прогнозування передумов виникнення пожеж на основі методу групового врахування аргументів.

Аналіз останніх досліджень. Проблемам пожежної небезпеки побутових електромереж присвячені наукові доробки В.І. Гудима, О.М. Коваля, М.М. Семерака, Ю.І. Рудика, А.В. Самборського, П.Г. Столярчука, В.М. Ванька [4; 5; 6]. Але часові внутрішньодобові варіації стану навантаження електромереж не були предметом спеціального вивчення з протипожежною метою, що й робить тему дослідження актуальною.

Формулювання цілей статті (завдання):

- опрацювати наукову літературу з теми дослідження;
- дослідити типові одно-, дво- та трикімнатні квартири з метою визначення їх навантаженості електроприладами;
- визначити період доби, коли навантаження електромережі досягає максимуму.

Виклад основного матеріалу

Накопичення та аналіз статистики побутових і промислових пожеж дозволив визначити найбільш «слабкі місця» в системі інформаційного забезпечення пожежної безпеки як інструмента максимального зменшення збитків і людських втрат від пожеж в житлових будинках. Підрозділи пожежної безпеки не володіють відповідною інформацією і не використовують її в своїй пропаганді протипожежної безпеки. Це, на нашу думку, і є основною причиною виникнення великої кількості пожеж у житлових будинках [7].

Нами було проведено розрахунок потужності, яку споживають електричні прилади, розташовані в житлових будинках. Під час розрахунку потужності ми використовували формули для імпедансу для повної потужності, яка в залежності від типу навантаження включає реактивну потужність.

Навантаження електроенергетичної системи, сумарна електрична потужність, що витрачається всіма споживачами електроенергії, приєднаними до розподільних мереж системи, і потужність, що йде на покриття втрат у всіх ланках електричної мережі.

При розрахунку потужності, яка спожита приладом, ми враховували, так звану, повну потужність. Повна потужність – це вся потужність, яка споживається електроприладом, вона складається з активної потужності та реактивної потужності, залежно від типу навантаження. Активна потужність завжди зазначається в ваттах (Вт), повна – в вольт-амперах (ВА).

Активне навантаження. У цього виду навантаження вся електроенергія, яка споживається, перетворюється в інші види енергії (теплову, світлову і т.д.). У деяких пристроїв ця складова є основною. Наприклад, лампи накаливання, обігрівачі, електроплити, праски та ін.

Реактивні навантаження мають всі інші прилади. Вони, в свою чергу, поділяються на індуктивні та ємнісні. Наприклад, пристрої, що мають електродвигун, електронна, побутова

техніка. Повна потужність у вольт-амперах та активна потужність у ваттах, зв'язані між собою коефіцієнтом $\cos\phi$. На пристроях, що мають реактивну складову навантаження, часто зазначають їх активну потужність у ваттах та $\cos\phi$.

Пристрої, які споживають електроенергію, дуже часто мають як активну, так і реактивну складові навантаження (комбіноване навантаження). До такого роду споживачів відносяться прилади та обладнання, що мають у своєму складі, наприклад, нагрівальні елементи і електродвигун. Повна потужність в такому випадку складається із суми активної і реактивної складової. Приклад такого навантаження – пральна машина. У даному випадку є реактивна складова – електродвигун і активна – нагрівальні елементи [8].

Нашими розрахунками були охоплені 5 однокімнатних квартир, 5 двокімнатних квартир та 5 трикімнатних квартир з додатковими декількісними даними опитування мешканців відносно використання ними електроприладів в своїх житлових приміщеннях, які можна віднести до фокус-групи експертного аналізу.

В розрахунках нами враховувалась можливість одночасного ввімкнення всіх електроприладів, в складі яких є електродвигун. Наприклад, коли в будинку є холодильник, мікрохвильова піч, пральна машина та кондиціонер, після короточасного відімкнення електроенергії всі вони запускаються в момент подачі напруги, тим самим у момент ввімкнення вони споживають енергії в декілька раз більше, ніж у штатному режимі.

Збільшення навантаження за годину пуску (кратність пускових струмів) деяких приладів, у складі яких є електродвигуни: холодильник – 5; мікрохвильова піч – 2; пральна машина – 3; кондиціонер – 5.

Повну потужність для тих приладів, що мають поряд з активною потужністю і реактивну, ми знаходили шляхом ділення вказаної на них активної потужності в Вт на коефіцієнт втрат $\cos\phi$.

Отримані результати відображені на графіках (рис. 1, рис. 2 та рис. 3).

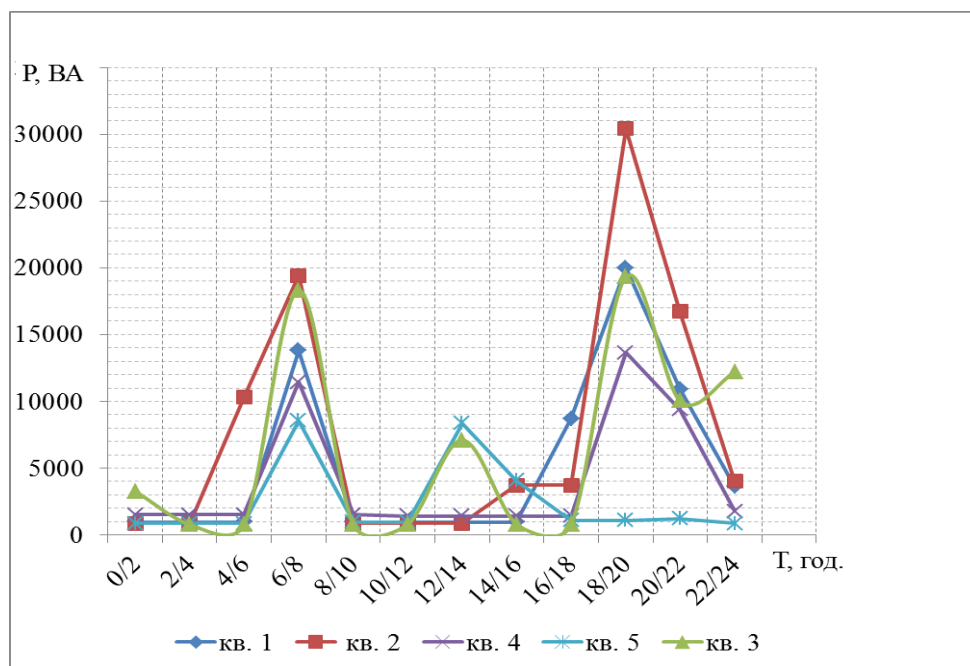


Рисунок 1 – Навантаження електромережі п’яти однокімнатних квартир (залежність: період доби, год. – сумарна повна потужність, ВА)

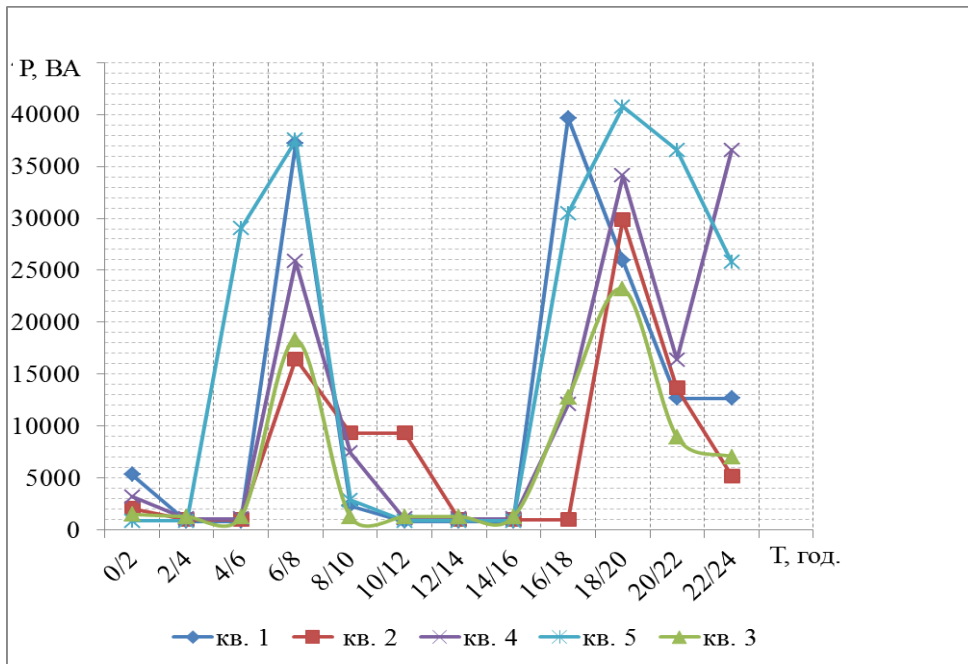


Рисунок 2 – Навантаження електромережі п’яти двокімнатних квартир (залежність: період доби, год. – сумарна повна потужність, ВА)

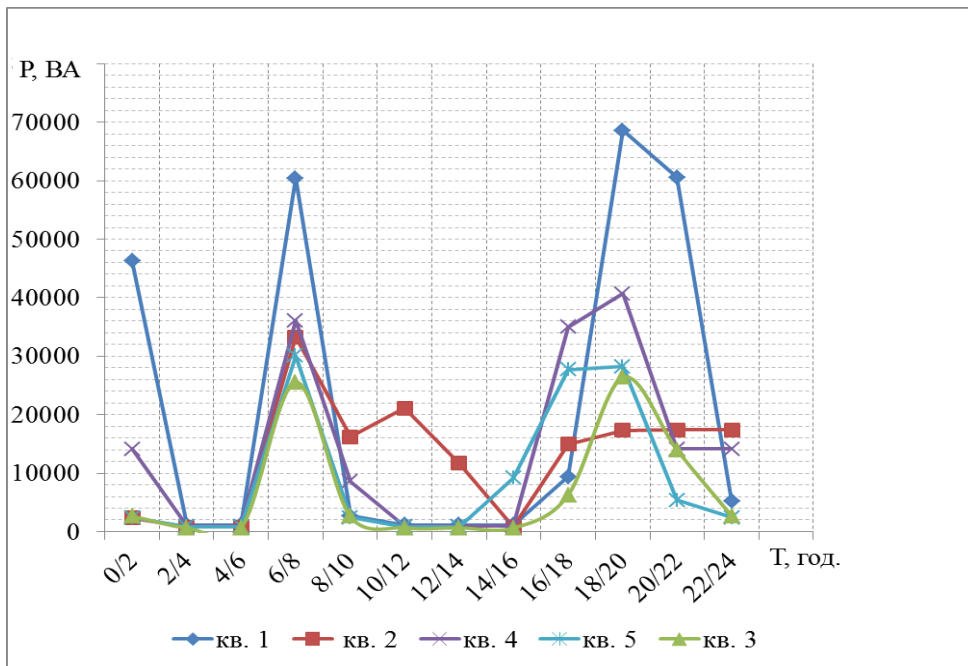


Рисунок 3 – Навантаження електромережі п’яти трикімнатних квартир (залежність: період доби, год. – сумарна повна потужність, ВА)

Висновки. У даній роботі проведено статистичне дослідження навантаження електромережі житлових приміщень громадян (5 однокімнатних квартир, 5 двокімнатних квартир та 5 трикімнатних квартир) з урахуванням особливостей життя мешканців.

Висновок експериментального дослідження полягає в тому, що періодами доби з максимальним навантаженням електромережі є:

1) час з 6 годин ранку до 8 години і з 16 години до 20 години вечора в житловому секторі;

2) з 9 годин ранку до 17 години за рахунок роботи ресурсоемісних підприємств, офісів, навчальних і сервісних закладів.

Однак, найбільший вклад в статистику пожеж вносять побутові пожежі, максимальна частота яких припадає саме на перший часовий діапазон. Цей фактор носить і прогностичний характер в якості предикатора, що дозволяє населенню приймати всі можливі превентивні міри своєї протипожежної безпеки, а протипожежним службам планувати і реалізовувати всі параметри максимальної готовності до оперативного реагування.

Ці висновки були отримані на основі використання методу групового врахування різномірних аргументів, в тому числі нечіткої природи з елементами невизначеності, якими володіє інформація експертного характеру фокус-групи.

Таким чином, ми отримали дані, які є вихідним матеріалом до прогнозування передумов виникнення пожеж на основі методу групового врахування аргументів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про пожежну безпеку» : затв. і введ. в дію Постановою Верховної Ради України № 3745-ХІІ від 17.12.1993 р.

2. Закон України «Про правові засади цивільного захисту» : затв. і введ. в дію Постановою Верховної Ради України № 2505-IV від 25.03.2005 р.

3. Аналіз масиву карток обліку пожеж (POG_STAT) за 12 місяців 2010 року [Електронний ресурс] / Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки. – 2011. – Режим доступу: <http://firesafety.at.ua/load/5-1-0-45>. – Назва з екрана.

4. Гудым В.І. Исследование физических характеристик бытовых электросетей / В.І. Гудым, Ю.І. Рудык, О.М. Коваль, А.В. Самборский // Чрезвычайные ситуации: Предупреждение и ликвидация. Сборник тезисов докладов IV междунар научно-практ. конф. Том 1. – Минск: 2007. – С. 288-291.

5. Коваль О.М. Технічні засоби підвищення рівня пожежної безпеки побутових електромереж / О.М. Коваль // Пожежна безпека: Зб.наук.пр.-Львів: ЛДУ БЖД, 2007. – № 10. – С. 134-139.

6. Гудим В.І. Контроль надійності електричних мереж соціально-побутових будівель [Текст] / В.І. Гудим, П.Г. Столярчук, Ю.І. Рудик // Вісник Приазовського державного технічного університету: Зб. наук. пр. – Вип. 15. – Ч. 2. – Маріуполь, 2005. – С. 56–62.

7. Ковалев А.П. Оценка экономической эффективности работы средств защиты, обеспечивающих пожарную безопасность электрических проводок / А.П. Ковалев, О.А. Шевченко // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2002. – № 50. – С. 144-146.

8. Ванько В.М. Дослідження явищ часової перенапруги та западини напруги в електричних мережах загального призначення / В.М. Ванько // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – 2004. – № 521. – С. 206–210.

УДК 519.654

О.М. Моргун, к.т.н, доц., А.П. Марченко,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ

Виведено розрахункові формули модифікованого методу найменших квадратів для мінімізації суми квадратів відхилень експериментальних точок від деякої прямої. Представлено результати чисельного експерименту з реалізації методу.

Ключові слова: прогнозування, статистичні методи, метод найменших квадратів, відхилення експериментальної точки від прямої, мінімізація суми квадратів відхилень.

Постановка проблеми. Сучасні комп'ютеризовані інформаційно-аналітичні системи управління підрозділами аварійно-рятувальних служб можуть бути ефективними лише за умови, що в їх складі активно функціонують підсистеми моніторингу та прогнозування, які забезпечують не тільки своєчасне реагування на надзвичайні ситуації, але й виконують основну роль в плануванні розвитку матеріальної та кадрової бази.

Наприклад, з метою прогнозування обсягів роботи доцільно вивчати залежність кількості викликів підрозділів аварійно-рятувальних служб від чисельності населення того чи іншого населеного пункту. А далі, виходячи вже з обсягів роботи підрозділів, можна визначати потрібну їх кількість, місця розташування та райони обслуговування. Зрозуміло, що з цією метою слід постійно збирати відповідні статистичні дані, а також використовувати належні математичні засоби для їх обробки [1].

Формулювання цілей дослідження. Для вирішення задач прогнозування існують різноманітні методи, в тому числі і статистичні [2]. Одним із них є метод найменших квадратів, який вже став досить популярним у різноманітних прогнозних моделях статистики пожеж [3]. Метою даної роботи є розширення прогнозуючих властивостей цього методу.

Аналіз публікацій, на які спирається автор. Аналіз стандартного методу найменших квадратів [4,5] показує досить умовний характер критерія побудови найкращої прямої, що проходить через систему експериментальних точок. Основним слабким місцем тут є те, що мінімум суми квадратів відхилень експериментальних значень від оптимальної прямої розглядається виключно вздовж осі y . Таким чином, вид і характер взаємозв'язку величин виявляється залежним від вибору системи координат.

Указаний недолік є досить серйозним, і використання такого критерія можна виправдати лише тим, що його просто обчислювати. Але за сучасних умов складність обчислень не може вважатись аргументом для використання не досить обґрунтованих критеріїв.

Наведена думка підтверджується також специфікою методів кореляційного та регресійного аналізу [5]. В них слабкість стандартного методу найменших квадратів дещо компенсується тим, що розглядається не одна пряма, а дві, в тому числі, пряма, яка відображує залежність $Y = f(X)$, і пряма, яка відображує залежність $X = f(Y)$.

Не важко показати, що обидві прямі лінії регресії є не що інше, як результат застосування методу найменших квадратів за критеріями суми квадратів відхилень експериментальних значень від прямої як вздовж осі y , так і вздовж осі x .

Таким чином, в теорії кореляції розглядаються, фактично, альтернативні системи координат. Порівнюючи результати, отримані в кожній із них, можна, очевидно, робити більш обґрунтовані висновки.

Виклад основного матеріалу. Таким чином, ми приходимо до висновку, що більш доцільно скористуватись критерієм, не залежним від вибору системи координат відображення пар експериментальних значень. Критерій не повинен бути зв'язаним з відстанями експериментальної точки від прямої по тій чи іншій координаті. Саме тому вибираємо за основу безпосередню відстань від точки до прямої. Саме в цьому і буде полягати проведена нами модифікація методу найменших квадратів.

Наведемо основні відомості з аналітичної геометрії [6], які нам будуть потрібні при виведенні розрахункових формул модифікованого методу найменших квадратів:

1) нормальне рівняння прямої має вигляд $x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha - p = 0$, де p – довжина нормалі, тобто довжина перпендикуляра, опущеного із початку координат на пряму, α – кут, утворений цим перпендикуляром з віссю Ox ; тут p має бути додатною величиною, а кут α слід визначати в залежності від знаків $\cos \alpha$ і $\sin \alpha$;

2) відстань заданої точки $M_0(x_0, y_0)$ від прямої $x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha - p = 0$ можна знайти за формулою $d = |\cos \alpha \cdot x_0 + \sin \alpha \cdot y_0 - p|$.

Примітка: надалі з метою скорочення запису будемо застосовувати позначення $s = \sin \alpha$, $c = \cos \alpha$.

Розглянемо застосування модифікованого МНК для визначення найкращих значень параметрів α і p емпіричної формули у вигляді лінійної залежності $x \cdot c + y \cdot s - p = 0$.

Нехай y_i – експериментальні значення деякої функції, отримані для заданих значень аргумента x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, де n – кількість експериментальних точок.

Зміст модифікованого МНК полягає в тому, що найкращі значення параметрів визначаються із умови, щоб сума квадратів відстаней експериментальних точок (x_i, y_i) від прямої приймала найменше значення, тобто

$$S = \sum_{i=1}^n d^2 = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot c + y_i \cdot s - p)^2 \Rightarrow \min.$$

В точці мінімуму функції S повинні виконуватись співвідношення:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial p} = 0.$$

Саме із цих співвідношень ми повинні отримати вирази для обчислення найкращих значень параметрів α і p .

Знаходимо частинні похідні і записуємо рівняння:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (x_i \cdot c + y_i \cdot s - p) \cdot (-x_i \cdot s + y_i \cdot c) = 0;$$

$$\frac{\partial S}{\partial p} = -\sum_{i=1}^n 2 \cdot (x_i \cdot c + y_i \cdot s - p) = 0.$$

Виконуємо перетворення і отримуємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (-c \cdot s \cdot x_i^2 + c^2 \cdot x_i \cdot y_i - s^2 \cdot x_i \cdot y_i + c \cdot s \cdot y_i^2 + p \cdot s \cdot x_i - p \cdot c \cdot y_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (c \cdot x_i + s \cdot y_i - p) = 0 \end{cases}$$

Розбиваємо отримані вирази на окремі суми, величини $\sin \alpha$ і $\cos \alpha$ виносимо з під знаків сум, зводимо подібні, враховуємо, що, згідно другого рівняння системи,

$$p = \frac{1}{n} \cdot \left(c \cdot \sum_{i=1}^n x_i + s \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right);$$

$$(c^2 - s^2) \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i + s \cdot c \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) +$$

$$+ \frac{1}{n} \cdot \left(c \cdot \sum x_i + s \cdot \sum y_i \right) \cdot \left(s \cdot \sum x_i - c \cdot \sum y_i \right) = 0.$$

Перемножаємо вирази в останніх дужках і знову зводимо подібні:

$$(c^2 - s^2) \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right) +$$

$$+ s \cdot c \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - \sum_{i=1}^n x_i^2 + \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) = 0.$$

Продовжуємо:

$$2 \cdot (c^2 - s^2) \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right) -$$

$$- 2 \cdot s \cdot c \cdot \left(-n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 + n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) = 0.$$

Враховуючи тригонометричні формули для подвійних кутів, остаточно отримуємо:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}.$$

Помічаємо, що при обчисленні значення кута α немає однозначності. З метою дослідження цього явища проведемо чисельний експеримент, за базу якого візьмемо наступний набір $n = 10$ "експериментальних" точок.

Таблиця 1 – Експериментальні точки

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x _i	1,9	2,6	2,9	4,2	5,2	5,5	5,6	5,8	6,2	7,1
y _i	2,0	2,5	3,0	4,1	5,2	5,5	5,6	5,7	6,3	6,9

Для цього набору маємо:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 47,0; \quad \sum_{i=1}^n y_i = 46,8; \quad \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i = 245,98; \quad \sum_{i=1}^n x_i^2 = 247,56; \quad \sum_{i=1}^n y_i^2 = 244,50.$$

Це дає $\operatorname{tg} 2\alpha = 43,9527$, звідки $\alpha_1 = 0,774024$, $\alpha_1 = 2,344821$.

Перший варіант обрахунків:

$$p_1 = \frac{1}{n} \cdot \left(\cos \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \sin \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right) = 6,6323934;$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot \cos \alpha_1 + y_i \cdot \sin \alpha_1 - p_1)^2 = 52,0947.$$

Другий варіант обрахунків:

$$p_2 = \frac{1}{n} \cdot \left(\cos \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \sin \alpha_2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i \right) = 0,0612964;$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot \cos \alpha_2 + y_i \cdot \sin \alpha_2 - p_2)^2 = 0,041266.$$

Отримані за двома варіантами результати демонструють також графічні побудови “експериментальних” точок та лінійних залежностей.

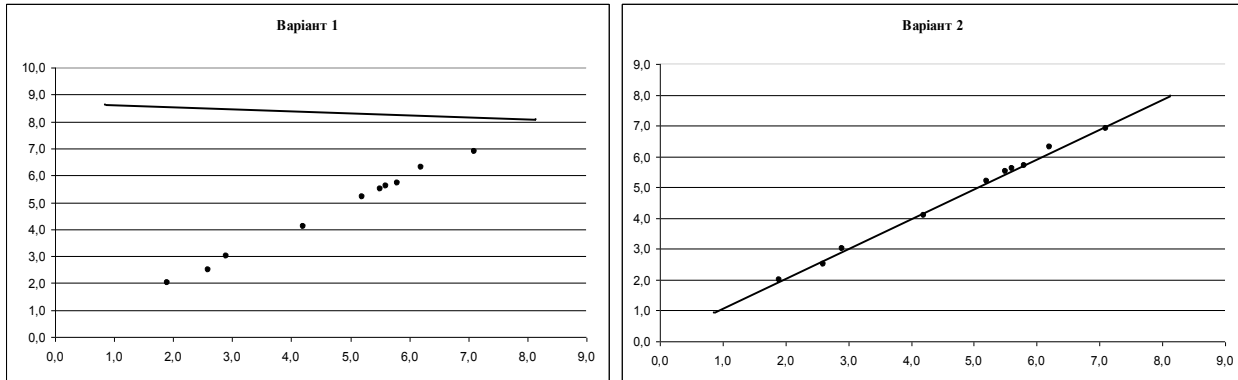


Рисунок 1 – Графічна побудова “експериментальних” точок та лінійних залежностей

Враховуючи отримані результати чисельного експерименту, вибираємо наступний порядок практичних обчислень:

1) обчислюємо значення величини $t = \operatorname{tg} 2\alpha$;

2) знаходимо два варіанти кута α , тобто $\alpha_1 = \frac{\operatorname{arctg} t}{2}$ і $\alpha_2 = \frac{\operatorname{arctg} t + \pi}{2}$;

3) обчислюємо два варіанти довжини нормалі p_1 і p_2 ;

4) підраховуємо два варіанти значення критерія S_1 і S_2 ;

5) порівнюємо отримані значення критеріїв і вибираємо як остаточний результат той варіант, який відповідає найменшому значенню критерія.

Таким чином, лінійна залежність, яка описує наведені дані чисельного експерименту, має вигляд $x \cdot \cos 2,344821 + y \cdot \sin 2,344821 - 0,0612964 = 0$ або $y = 0,977507 \cdot x + 0,085717$.

Доцільно порівняти отриманий результат з прямими лініями регресії, які застосовуються традиційними методами кореляційного та регресійного аналізу [5]. Розрахунки обох ліній регресії дають такі їх рівняння:

1) $y = 0,975994 \cdot x + 0,092828$ – регресія Y на X ,

2) $y = 0,979093 \cdot x + 0,078263$ – регресія X на Y .

Порівнюючи кутові коефіцієнти ($0,975994 < 0,977507 < 0,979093$) всіх трьох прямих, бачимо, що пряма, побудована модифікованим методом, займає проміжне положення між лініями регресії. Такий результат співпадає з очікуванням.

Висновки. Отримано розрахункові формули для обчислення найкращих значень параметрів α і p емпіричної формули у вигляді лінійної залежності $x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha - p = 0$, яка описує експериментальні дані за критерієм суми квадратів

відстаней експериментальних точок від прямої. Порядок обчислень обґрунтовано результатами чисельного експерименту.

Порівняння результатів даного методу з відповідними результатами кореляційного та регресійного аналізу дає очікуване проміжне положення отриманої лінійної залежності між лініями регресії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы : учебник / Н.Н. Брушлинский. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 138 с.
2. Піскун О.В. Методи прогнозування для систем моніторингу надзвичайних ситуацій / О.В.Піскун // Тези доповідей ІV міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (7-8 квітня 2011 року) – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – 2011. – С. 20-23.
3. Климась Р.В. Прогнозування основних показників стану з пожежами в Україні на 2011 рік / Р.В.Климась, Д.Я. Матвійчук // Тези доповідей ІV міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту (7-8 квітня 2011 року)» – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – С. 140-142.
4. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента : справочное руководство / Л.З. Румшицкий. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. – 192 с.
5. Основы математической статистики : учебное пособие для институтов физической культуры / под ред. В.С.Иванова. – М. : Физкультура и спорт, 1990. – 176 с.
6. Привалов И.И. Аналитическая геометрия / И.И. Привалов. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 300 с.

УДК 614.8.084

С.П. Мосов, д.військ.н., проф., Ю.Ю. Дендаренко, к.т.н., доц., В.С. Щербина,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ АДМІНІСТРАТИВНО-ГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

За результатами аналізу статистики та причинних умов виникнення пожеж на об'єктах господарської діяльності в Україні, а також сучасного інструментарію визначення протипожежного стану об'єктів адміністративно-господарського призначення обґрунтована доцільність запровадження підходу на засадах комплексного оцінювання та прогнозування рівня їх пожежної безпеки

Ключові слова: пожежна безпека, об'єкт адміністративно-господарського призначення, оцінювання, прогнозування, методика.

Постановка проблеми. В Україні щороку виникає близько двох тисяч пожеж на об'єктах господарської діяльності (ОГД), що обстежуються органами державного пожежного нагляду. Одною з причин такого стану вважається недостатня ефективність проведення обстежень об'єктів з використанням застарілої методики [1], у ході застосування якої співробітник держпожнагляду проводить лише фіксацію виконання чи навпаки необхідних заходів та встановлює наявність чи відсутність необхідного протипожежного обладнання. При такому підході багатоаспектне оцінювання пожежної безпеки об'єкта та прогнозування імовірності виникнення пожежі на ньому не передбачаються.

Ситуація зі станом пожежної безпеки на ОГД усугубляється також і тим, що кількість суб'єктів підприємництва в Україні за останнє десятиліття зросла в майже п'ятдесят разів і вже сягає 10 мільйонів [2]. При цьому, значна частина суб'єктів господарської діяльності для улаштування власних офісів винаймають приміщення в будівлях адміністративно-господарського призначення (АГП), щільно насичуючи орендовані площі офісними меблями, оргтехнікою та персоналом, часто з метою зменшення фінансових витрат на оренду, у наслідок чого значно підвищується рівень пожежної небезпеки таких будівель.

В Україні більшість досліджень у галузі пожежної безпеки присвячені визначенню вибухо- та пожежонебезпечності різних речовин та матеріалів, а також методам гасіння пожеж. Разом з тим, дослідженням за напрямом комплексного оцінювання пожежної безпеки об'єктів адміністративно-господарського призначення, у відповідності з національними нормами, не приділяється достатньої уваги.

Враховуючи важливість питань забезпечення належного рівня пожежної безпеки на об'єктах АГП в інтересах забезпечення безпеки життєдіяльності персоналу та збереження матеріальних цінностей в умовах щорічного зростання їхньої кількості, дослідження питань комплексного оцінювання та прогнозування стану пожежної безпеки таких об'єктів є своєчасним і актуальним.

Актуальність таких досліджень також зумовлюється й прагненням України до інтеграції у світові співтовариства, країни-члени яких широко використовують різні підходи до комплексного оцінювання рівня пожежної безпеки та складання прогнозу можливості виникнення загорань на об'єктах АГП.

Формулювання мети статті. Обґрунтувати доцільність запровадження комплексного оцінювання стану об'єктів АГП та прогнозування рівня їх пожежної безпеки в інтересах попередження виникнення пожеж.

Виклад основного матеріалу. Людство зазнає суттєвих втрат від пожеж як природного, так і техногенного походження. Сьогодні пожежі забирають все більше людських життів та завдають відчутних збитків не тільки економіці, а й культурним пам'ятникам як національного, так і світового значення [3].

Питання безпеки та захисту населення в Україні, об'єктів та національного надбання і території держави від пожеж та їх наслідків мають розглядатися як невід'ємна частина державної політики у сфері національної безпеки і державного будівництва, тобто як одна з найбільш важливих функцій діяльності центральних органів виконавчої влади України, Ради Міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, міських, районних, районних у містах державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та їх виконавчих комітетів.

Встановлено закономірність того, що зростання кількості населення на 1% супроводжується збільшенням кількості пожеж приблизно на 5%, а збитки від них зростають у середньому на 10% [4]. Якщо врахувати темпи зростання кількості населення на нашій планеті (від 1,6 млрд. на початку минулого століття до 5,5 млрд. – на початку XXI ст.), то стають зрозумілими й темпи зростання пожежної небезпеки, зумовленої передусім господарською діяльністю людини та наслідками науково-технічного прогресу.

Людство, у процесі свого розвитку створює таке штучне середовище, де практично все, починаючи від будівельних матеріалів, технологічних процесів, машин, механізмів і закінчуючи побутовими машинами і речами, просякнуте підвищеною пожежною небезпекою.

Необхідність підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів народного господарства особливо актуальне на сучасному етапі економічного та соціального розвитку України [5]. Слід відмітити, що для України характерна висока концентрація потенційно небезпечних ОГД. Вони становлять постійну загрозу виходу з-під контролю людини великої кількості сильнотоксичних отруйних речовин, які можуть шкідливо впливати на людей, тваринний та рослинний світ. У господарському комплексі України діє понад 1,5 тис. вибухо- та пожежонебезпечних об'єктів, на яких зосереджено близько 13 млн. тонн твердих і рідких вибухо- та пожежонебезпечних речовин. Викликає занепокоєння й те, що більшість підприємств усіх галузей промисловості працює на морально застарілому й тому небезпечному обладнанні, яке використовується понад 15-20 років. Результатом цього вже стало 1970 пожеж на ОГД лише за 2009 рік, від яких загинули 68 та травмовані 103 громадян. Прямі матеріальні збитки від цих пожеж склали майже 130 млн. гривень, а побічні 543 млн. гривень.

У середині минулого десятиліття розпочалося стрімке і щільне насичення об'єктів АГП речами, що мають у своєму складі горючі токсичні матеріали, комп'ютерною та оргтехнікою. Результати проведеного аналізу щодо виникнення пожеж на об'єктах різних форм власності за період з 2004 по 2009 роки [5-10] свідчить, що кількість загорань із року в рік залишається високою, як і кількість загиблих і травмованих громадян. Найбільшою кількістю пожеж, загиблих і травмованих за проаналізований період була в 2005 році (53751 пожежа, 4182 загиблих, 1912 травмованих), а найменша кількість загорань зареєстрована в 2004 році (47670 пожеж), хоча загинуло та травмувалось громадян найменше у 2009 році (3183 та 1648 відповідно). Сума прямих матеріальних збитків за вказаний період, коливалася від 90 млн. грн. у 2004 році, до 2 млрд. 945 млн. грн. – у 2008 році, а побічних збитків від 451 млн. грн. – у 2005 році, до 1 млрд. 116 млн. грн. – у 2007 році.

Викликає занепокоєння стан забезпечення пожежної безпеки будинків підвищеної поверховості, яких в Україні нараховується 4850, і хоча щорічно в них виникає близько 400 загорань, половина систем протипожежного захисту таких будівель є несправними. 273 висотних будинків у країні використовуються для господарської діяльності, при чому в 113 із них протипожежний захист перебуває в незадовільному стані через несправність систем димовидалення та автоматичної пожежної сигналізації [5]. Слід зазначити, що особлива небезпечність цих будинків полягає у наявності великої кількості офісних приміщень різних суб'єктів господарювання – об'єктів АГП, що призводить, у наслідок намагання зменшити з

боку суб'єктів господарювання фінансові витрати за оренду приміщень, до перенасичення кабінетів меблями, оргтехнікою та персоналом. Становище ускладнюється ще й тим, що в МНС України не вистачає спеціальної техніки для гасіння пожеж та рятування людей із висотних будинків, а наявна вже вичерпала свій ресурс, у наслідок чого для рятування людей пожежна техніка направляється з інших міст та регіонів.

Загибель людей на пожежах залежить від багатьох факторів: економічних, соціальних, демографічних, організаційних та ін.

Виникнення пожеж і, як наслідок, загибель людей обумовлені, в основному, технічними і соціальними причинами. До технічних причин можна віднести всі питання забезпечення пожежної безпеки ОГД, підконтрольних органам державного пожежного нагляду. Це і технічний рівень виробництва, і наявність систем та засобів, що зменшують тяжкість наслідків та забезпечують рівень безпеки людей. До соціальних причин, у першу чергу, належить рівень знань людей у сфері пожежної безпеки, їх соціальний стан, стан фізичного та психічного здоров'я [5].

Аналіз пожеж на об'єктах суб'єктів господарювання різних форм власності свідчить, що на підприємствах (в організаціях, закладах, установах) кількість пожеж щороку залишається високою. Хоча за період 2004-2009 рр. кількість загорянь на ОГД поступово зменшувалась – із 3193 випадків до 1970 відповідно, майже 70 громадян щорічно гинули від цих пожеж та травмувались близько 100. Прямі збитки від пожеж на цих об'єктах щороку сягають 200 млн. гривень, а побічні – 700 млн. гривень.

Середня щорічна кількість пожеж, матеріальні втрати, кількість загиблих внаслідок пожеж за останні роки на ОГД у відсотковому еквіваленті розподілились таким чином [4-10]:

- на об'єктах *загальнодержавної власності* щорічно виникає 11% пожеж, у наслідок яких гине 11% громадян, при чому більше половини цих пожеж виникає на спорудах соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення. Аналіз причин виникнення пожеж показує, що найбільша їх кількість відбувається через порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок (37%) і необережне поводження з вогнем (31%), а також у наслідок підпалів (10%);

- на суб'єктах *права колективної власності* виникає 30% пожеж, у наслідок яких гине 48 % громадян. Пожежі переважно виникають на спорудах виробничого призначення – 28%, торгівельно-складських спорудах – 23%, спорудах соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення – 19%, а також на сільськогосподарських об'єктах – 17%. Найчастішими причинами виникнення пожеж на об'єктах цієї форми власності стають такі, як: порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок (38%), необережне поводження з вогнем (26%) і підпали (12%);

- на об'єктах *приватної власності* щорічно виникає 51% пожеж, у наслідок яких гине 30% громадян. Більшість пожеж на об'єктах вказаної форми власності виникає в торгівельно-складських спорудах – 34%. Основними причинами виникнення пожеж на цих об'єктах стають: порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок – 47%, необережне поводження з вогнем – 16% пожеж. Окремо слід відмітити, що серед об'єктів різних форм власності найбільше пожеж виникає внаслідок підпалів саме на об'єктах приватної форми власності;

- на об'єктах *права комунальної власності* виникає 5% пожеж та гине 10% громадян. На об'єктах вказаної форми власності найбільше пожеж – 52%, виникає на спорудах соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення, 13% пожеж виникає на спорудах виробничого призначення. Найбільша кількість пожеж на зазначених об'єктах трапляється через порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок (43%) і від необережного поводження з вогнем (33%) [5-10].

Результати аналізу вказують на значну кількість пожеж у будівлях громадського та адміністративного призначення загальнодержавної, колективної та комунальної власності, що свідчить про актуальність цієї проблематики на державному рівні. Основною складовою громадських та адміністративних будівель є адміністративні та офісні приміщення.

Адміністративне приміщення (офіс) – нежитлове приміщення, що належить суб'єкту господарювання на правах власності або оренди, в якому розташовується його виконавчий орган (директорат, правління тощо) та яке має певну адресу, через яку може здійснюватися поштовий зв'язок [11].

Зростання пожежної небезпеки адміністративних та офісних приміщень зумовлене:

- збільшенням кількості робочих місць на м² площі приміщення;
- збільшенням навантаження на електромережі;
- переплануванням шляхів евакуації;
- використанням в оздобленні легкогорючих і токсичних матеріалів;
- збільшенням кількості офісної меблі та оргтехніки в приміщеннях тощо.

Кожен із зазначених чинників є наслідком розвитку суспільства та може стати як причиною пожежі, так і причиною загибелі людей у значній кількості. В адміністративних будівлях, що проектувались кілька десятиліть тому для функціонування певних установ, з'явилась численна кількість приватних фірм, які намагаються, орендуючи мінімальну кількість приміщень, максимально наситити їх робочими місцями та оргтехнікою. Наслідком є перевантаження електромереж та перепланування шляхів евакуації, які, у свою чергу, можуть не забезпечувати необхідної пропускної спроможності. У зв'язку з цим, зростання небезпеки такої будівлі, як показує досвід, є прямо пропорційним її віку. Особливу пожежну небезпеку сучасного приміщення становлять матеріали, якими воно наповнене. Якщо ще п'ятнадцять років тому горючу загрузку середньостатистичного адмінприміщення складала лише дерев'яні меблі та папір, то сьогодні цей список доповнився оргтехнікою на кожному робочому місці, пластиковими меблями, легкозаймистими та токсичними матеріалами в оздобленні. Саме виділення токсичних речовин у повітря, яким супроводжується горіння оргтехніки та більшості оздоблювальних матеріалів, часто приводить до великої кількості загиблих та травмованих на пожежах. Прикладом цього стала пожежа 5 грудня 2009 року в нічному клубі «Хромая лошадь» м. Перм Російської Федерації. На місці пожежі, що виникла від використання піротехніки, внаслідок давки на шляхах евакуації та задухи загинули 103 особи, ще 52 людини протягом місяця померли в лікарнях від отруєння продуктами горіння [12]. Аналогічний випадок стався 30 грудня 2004 року в нічному клубі «Республіка «Кроманьйон» міста Буенос-Айрес республіки Аргентина. Від цієї пожежі загинули 194 людини та майже 1500 травмувались [13].

Подібні наслідки пожеж притаманні за схожих умов і адміністративним будівлям, особливо підвищеної поверховості. Саме критична залежність від шляхів евакуації та систем димовидалення може стати фатальною для людей у випадку пожежі.

Відповідно до «Інструкції з організації роботи органів державного пожежного нагляду» [14] оцінка протипожежного стану об'єкту – це визначення відповідності приміщень, будівель, споруд та територій, технологічних процесів, організаційної роботи тощо вимогам нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки. Тобто, як зазначалось вище, відбувається фактична фіксація виконання чи навпаки передбачених нормативно-правовими актами протипожежних вимог. При такому обстеженні оцінююча особа не проводить комплексного оцінювання протипожежного стану об'єкту та не робить прогнозу імовірності виникнення пожежі на ньому, тому і не визначається рівень пожежної безпеки об'єкта.

У зв'язку з вище наведеним, підхід на засадах комплексного оцінювання рівня пожежної безпеки об'єктів АГП слід вважати актуальним і своєчасним. Суть такого підходу полягає в тому, що стан пожежної безпеки об'єкта АГП розглядається як система, в котрій зміна будь-якого з параметрів приводить до зміни загального рівня пожежної безпеки об'єкта в позитивному чи негативному сенсі. Наприклад, в офісному приміщенні виконані всі протипожежні заходи, але при цьому воно перенасичене пластиковими легкогорючими матеріалами, і тому навіть незначне загоряння може миттєво перетворитись на велику пожежу з трагічними наслідками. Разом з тим, якщо обладнати це приміщення автоматичною установкою пожежогасіння, то його рівень пожежної небезпеки знизиться.

При цьому слід зазначити, що визначення предметних складових стану пожежної безпеки об'єкта АГП вимагає проведення спеціальних досліджень.

Невід'ємною частиною комплексного оцінювання протипожежного стану ОГД нами вважається прогнозування рівня його пожежної безпеки. Визначивши ймовірність виникнення пожежі та її вірогідні наслідки, можна, застосовуючи превентивні заходи, уникнути найгірших сценаріїв розвитку подій та передбачити ефективні компенсаційні механізми. При цьому, регулярний моніторинг протипожежного стану об'єкту дасть можливість відстежувати зміни його рівня пожежної безпеки упродовж життєвих циклів, що дозволить удосконалювати попереджувальні заходи.

Хоча причинами пожеж та загибелі від них людей стають, як правило, порушення протипожежних вимог, світове суспільство поступово переходить від жорсткого до гнучкого нормування правил пожежної безпеки та управління ризиками.

Існуюча динаміка зростання ризиків для життєдіяльності людини змушує змінювати традиційні для нашої країни методи при розв'язанні проблем безпеки життєдіяльності суспільства. Світовий досвід визнає найбільш ефективним ризик-орієнтований підхід до управління техногенною та природною безпекою, який ґрунтується на досягненні певного рівня безпеки, балансу вигод і витрат у межах окремого об'єкта, території і держави в цілому [15]. При гнучкому нормуванні власник має можливість із запропонованих фахівцями варіантів обирати раціональні, фінансово обґрунтовані, за умови виконання яких буде забезпечений необхідний рівень пожежної безпеки об'єкту. Наприклад, керівник у деяких випадках може відмовитися від автоматичної пожежної сигналізації, забезпечивши цілодобове чергування на об'єкті спеціально підготовленого персоналу. Для підприємств небажаними подіями вважаються витрати на безпеку, відшкодування збитків від недостатньої системи захисту, компенсаційні виплати третім особам, збільшення страхових премій, тощо [16], тому забезпечення пожежної безпеки на об'єкті є складовою його економічної безпеки. Крім того, досягнення повної «відповідності приміщень, будівель, споруд та територій, технологічних процесів, організаційної роботи тощо, вимогам нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки» [17] може стати причиною таких фінансових витрат, які приведуть до нерентабельності чи навіть зупинки функціонування об'єкту.

У світовій практиці значного поширення набув метод оцінки пожежної небезпеки промислових, житлових і громадських будівель, розроблений співробітником Швейцарської асоціації пожежної профілактики М. Гретенером. У тій чи іншій модифікації метод Гретенера широко використовується в європейських країнах (Австрії, Іспанії, Франції, Бельгії, Нідерландах) і США. Його суть полягає в обліку кількісних характеристик факторів, наявність яких у будівлі підвищує пожежну небезпеку, а з іншого боку, в обліку елементів системи пожежної безпеки, що знижують його пожежну небезпеку. Кількісні величини факторів, що враховуються в методі точкових схем, встановлюються експертами. За методом Гретенера можна отримувати безрозмірні оцінки пожежного ризику для цілей ранжирування різних об'єктів за рівнем пожежної небезпеки, але не отримуються абсолютні величини втрат від пожеж, придатні, наприклад, для економічного аналізу пожежної небезпеки [17].

В Україні поки-ще на стадії становлення знаходяться нормативно-правові, організаційно-адміністративні, економічні та інженерно-технічні методи управління техногенними і природними ризиками, що не дозволяє сьогодні забезпечити рівень ризику для життєдіяльності населення, прийнятий у економічно розвинених країнах [15]. Нормативно-методичні документи, що регламентують порядок проведення пожежно-технічного обстеження чи визначення рівня пожежної безпеки об'єктів, розроблялись ще за часів Радянського Союзу. Протягом останніх років силами МНС України розроблений лише проект «Концепції управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», в якому серед основних напрямків державної політики з питань управління ризиками передбачено розширення сфери досліджень та розробок методів, моделей, методик аналізу та оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного

характеру, прогнозування їх розвитку. Проте даним проектом встановлюються лише основні засади управління ризиками, а методичний апарат їх реалізації лише передбачається розробити.

Вищевикладене зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на вивчення відомих методик оцінки протипожежного стану об'єктів та розробку методики комплексного оцінювання і прогнозування рівня протипожежного стану об'єктів АГП, яка була б адаптована до національної й європейської нормативної бази, що сприятиме підвищенню рівня пожежної безпеки об'єктів АГП в Україні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Схема надзора за противопожарным состоянием объекта. – К.: Типографія МВС УРСР, 1986. – 16 с. – (Нормативний документ МВС УРСР. Інструкція).
2. 10-летие Дня предпринимательства: роль предпринимательства в осуществлении экономических реформ. – [Електронний ресурс] : Ліга. – Режим доступу: <http://www.liga.net/conf/ic/?cid=129>
3. Доманський В. А. Державне управління пожежною безпекою України (організаційно-правовий аналіз за матеріалами діяльності Державного департаменту пожежної безпеки) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. юрид. наук : спец. 12.00.07 «Теорія управління» / В. А. Доманський. – К., 2004. – 25 с.
4. Мосов С.П. Пожежна безпека – складова національної безпеки України / С.П. Мосов // Пожежна безпека. – 2009. – №7. – С. 4-5.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html.
6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2004 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2004.html.
7. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2005.html.
8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2006.html.
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2007.html.
10. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. – [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2008.html.
11. Про внесення змін до ліцензійних умов провадження господарської діяльності з проектування, монтажу, технічного обслуговування засобів протипожежного захисту та систем опалення, оцінки протипожежного стану об'єктів /Державний комітет підприємництва, МНС України. – Офіц. вид. – К.: Офіційний вісник України, 2009. – № 59 – 203 с. – (Нормативний документ Держкомпідприємництва та МНС України).
12. Умер 155-й пострадавший в клубе «Хромая лошадь». – [Електронний ресурс] : Lenta.ru. – Режим доступу: <http://lenta.ru/news/2010/01/05/lamehorse/>.
13. Пожар в ночном клубе «Республика «Кроманьон». – [Електронний ресурс] : Вікіпедія. Вільна енциклопедія. – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Пожар_в_ночном_клубе_«Республика_Кроманьон».

14. Інструкція з організації роботи органів державного пожежного нагляду. – Офіц. вид. – К. : Офіційний вісник України: Міністерство з надзвичайних ситуацій України, 2006. - № 17 – 129 с. – (Нормативний документ МНС України. Інструкція).

15. Концепція управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру (проект) [Електронний ресурс] : МНС України. – Режим доступу: http://www.mns.gov.ua/content/education_kurns.html.

16. Корсун Т.В. Оцінювання ризику на потенційно небезпечних об'єктах в умовах невизначеності / Т.В. Корсун // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2010. – №5. – С. 61-71.

17. Корольченко А.Я. Принципы расчёта пожарного риска. – [Електронний ресурс] : Охранные и пожарные системы сигнализации и видеооборудование – Режим доступу: http://secandsafe.ru/stati/pojarnaya_bezopasnost/principy_rascheta_pojarnogo_riska.

УДК 624. 012

А.В. Поздеев, В.И. Осипенко, д.т.н., проф., АПБ им. Героев Чернобыля,
В.М. Гвоздь, к.т.н., доц., С.И. Сташенко к.и.н., доц., У МЧС Украины в Черкасской обл.,
В.М. Нуянзин, АПБ им. Героев Чернобыля

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В БЕТОНЫ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проведен анализ современной национальной и зарубежной нормативно-технической базы в отрасли применения добавок-модификаторов состава бетона. Рассмотрены положения в нормировании относительно обеспечения огнестойкости железобетонных конструкций с дополнением компонентов для улучшения качества бетона. Проведен обзор научных исследований в отрасли влияния добавок в состав бетона на огнестойкость строительных конструкций. Очерчены направления дальнейших расчетно-экспериментальных исследований относительно определения огнестойкости железобетонных конструкций с модифицированным составом бетона.

Ключевые слова: бетон, добавка, модифицированный состав, нормативно-техническая база суперпластификатор, морозостойкая добавка, огнестойкость, железобетонные конструкции.

Постановка проблемы. На современном этапе развития строительства при изготовлении бетонного раствора все чаще используются разнообразные примеси, которые улучшают свойства и качества бетона [1]. Модификация бетонов и строительных растворов выполняется с целью уменьшения затраты цемента; регуляция потери подвижности бетонной смеси во времени; скорости процессов отвердевания и тепловыделения, а также для улучшения многих других свойств. Современные рыночные отношения обуславливают развитие существенной конкуренции среди фирм-производителей добавок к бетонным составам, что стимулирует улучшение качества строительных конструкций и уменьшения стоимости их изготовления. При этом использование дополнительных компонентов в бетонах на разных объектах строительства нормативно урегулировано недостаточно.

Анализ последних достижений и публикаций. За последние годы, значительно возросло число работ в области разработки составов добавок в бетон и их применения в различных отраслях строительства. Так, за последнее двадцатилетие опубликовано несколько тысяч патентов только на составы добавок. Достаточно полный обзор вопросов, касающихся механизма действия наиболее распространенных добавок, их свойств, технологии приготовления и использования, патентных данных и некоторых других аспектов были рассмотрены в работе международного коллектива авторов [2]. В данной книге дается наиболее полная информация о добавках, однако в современных условиях работа существенно устарела. Также в работе [2] изложены некоторые аспекты поведения модифицированных бетонов при действии высоких температур только для минеральных, полимерных и смешанных добавок.

Основные свойства бетонов с добавками в области строительства постсоветского пространства высветлено в [3]. В данном источнике изложены физико-химические основы механизма действия добавок в бетоны, а также дан анализ процессов, влияющих на технологические свойства смеси и твердения бетона в присутствии добавок.

Заслуживает внимания исследования Венгерского ученого Сандора Феервари [4], в котором затрагивается анализ влияния добавок в бетон на огнестойкость строительных

конструкцій туннельних споруджень. В даній роботі излагається новий науковий підхід к оцінці огнестійкості залізобетонних конструкцій з використанням повітрянозв'язуючих домішок в бетон, а також домішок стимулюючих збільшення вологостійкості бетону.

Незважаючи на інтенсивні дослідження по використанню домішок, во багатьох випадках їх реалізація не має строго наукової основи. Аналіз існуючих наукових публікацій свідчить про те, що питання впливу модифікованого складу бетону на огнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій досліджено недостатньо.

Постановка задачі і шляхи її рішення. В відповідності з викладеним поставлена мета, що полягає в вивченні нормування використання домішок в бетон і їх впливу на забезпечення огнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій. Мета передбачає рішення наступних завдань.

1. Перегляд існуючого спектра модифікуючих домішок к бетону з визначенням найбільш застосовуваних.
2. Аналіз відповідності нормування в області використання домішок сучасної технології виготовлення бетону.
3. Аналіз діючих нормативних документів стосовно питань забезпечення вимог пожежної безпеки при використанні модифікованого бетону з наступними висновками їх адекватності.

Виділення нерешених раніше частин загальної проблеми, до якої присвячується стаття.

Узагальнення стандартизації в області використання домішок в бетон з детальним аналізом існуючого нормування стосовно впливу модифікованого складу бетону на огнестійкість залізобетонних конструкцій можна виділити як проблему раніше розглянутої недостатньо.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Заповнювачі бетонів складають три чверті об'єму, його активна складова – цементний камінь, тому властивості і робочі характеристики цього штучного матеріалу визначаються в більшій ступені властивостями затверділого цементу. Використання спеціальних домішок, впливаючи на цемент, викликають прискорення або уповільнення схваткування, повітрянозв'язування, зволоження, пластифікацію і др.

Цементний камінь має важливі фізичні, хімічні і механічні характеристики, на які вдається впливати введенням домішок. Це служить основою для розуміння поведінки цементу, бетонної суміші і бетону, отриманих з використанням різних типів домішок, до яких буде присвячено дане дослідження.

Додатки – речовини, вводимі в бетонну суміш або безпосередньо перед перемішуванням, або в час перемішування. Вони регулюють терміни схваткування цементу, покращують укладуваність бетонної суміші, впливають на процеси її твердіння, підвищують міцність бетону, його морозо- і сульфатостійкість і т. п. В спеціальних бетонах домішки виконують функції кольорових пігментів, розширюючих або газоутворюючих агентів і др. В силу цього 80 % всього випускаемого в Західній Європі і США бетону містить домішки одного або декількох типів. В країнах СНГ цей показник має менше значення (близько 40%), однак використання бетонів з модифікованим складом збільшується з кожним роком, в тому числі і в Україні.

Розвиток уявлень про механізм дії домішок невіддільно пов'язано з прогресом в області теорії гідратації і твердіння мінеральних зв'язуючих речовин. По суті, це дві сторони загальної проблеми, так як результати вивчення домішок в бетони служать експериментальною основою для теоретичної розробки питань твердіння зв'язуючих, а надійні дані про механізм гідратації і твердіння цементу допомагає знаходити оптимальні рішення при використанні вже відомих домішок, розширюючи сфери їх застосування в будівництві і відшукуючи нові високоєфективні домішки.

В работах [2, 3] проблему гидратации при твердении минеральных вяжущих материалов обычно рассматривают в двух аспектах: термодинамическом с примыкающим к нему кристаллохимическим и кинетическом. Первый из них охватывает такие вопросы, как состав и термодинамические свойства исходных неустойчивых фаз, а также промежуточных и конечных продуктов фазовых превращений, характерных для взаимодействия цемента с водой, т.е. к фазовому составу цементного камня в бетоне.

Согласно [1] добавки вводятся в бетонные смеси и растворы с целью:

- уменьшения затраты цемента;
- улучшение технологических свойств бетонной смеси (легкоукладываемость, однородность, и т. п.);
- регуляция потери подвижной бетонной смеси во времени, скорости процессов загустения, твердения и тепловыделения;
- снижение температуры и длительности тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий, ускорения сроков изъятия из опалубки и загрузки конструкций, во время твердения бетона в естественных условиях;
- приобретение способности бетона твердеть в зимнее время без обогрева или прогревания при охлаждении его к минусовым температурам;
- повышение прочности и морозостойкости, понижения водо- и газопроницаемости бетона;
- повышение стойкости бетона и железобетона в агрессивных средах;
- усиление защитного действия бетона по отношению к стальной арматуре;
- сокращение или удлинение срока хранения начальной подвижной бетонной смеси;
- продуцирование комбинированных эффектов: от пластифицирующей добавки и добавки, которая замедляет загустение;
- продуцирование комбинированных эффектов: от пластифицирующей добавки и добавки, которая ускоряет загустение и т.п.

Бетоны с добавками используются для изготовления сборных и монолитных армированных и неармированных изделий и конструкций. Ожидаемые эффекты, улучшающие свойства бетона, определяют существование широкого спектра добавок. Анализ их применения показал, что наиболее часто применяются суперпластификаторы, морозостойкие добавки, а также комплексные составы (2 добавки и более).

Суперпластификаторы используются преимущественно для получения высокоподвижных бетонных смесей, которые применяются для изготовления плотноармированных конструкций, а также для получения высокопрочных бетонов на обычном цементе.

Обычно суперпластификаторы делят на четыре группы: продукты конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом (СНФ), меламинсульфоокислоты с формальдегидом (СМФ), модифицированные лигносульфонаты (МЛС) и другие вещества, включая эфиры сульфокислот, углеводов и т. д. Однако наиболее эффективные из них – СМФ и СНФ, выпускаемые в виде натровых солей соответствующих сульфокислот.

В основе молекул лигносульфонатов – фенилпропан с гидроксильными, метоксильными, карбонильными и сульфогруппами; молекулярная масса лигносульфонатов – от нескольких сот до 100 000, СМФ – порядка 30 000.

Как показало электронно-микроскопическое исследование в [2], введение суперпластификатора в бетонный раствор приводит к диспергированию частичек цемента в цементно-водной суспензии, тогда как без добавки частички в воде агрегированы. Содержание мелких частиц цемента по размерам при введении в цементно-водную суспензию СМФ и СНФ сильно возрастает.

По данным работы [5], введение суперпластификатора улучшает адгезию цементного камня к арматуре, как в тяжелом, так и в легком бетоне. Например, в первом случае сцепление гладкой арматуры с бетоном возросло в присутствии суперпластификатора до 7

суток с 1,2 до 3,5 МПа, а периодического профиля с 15 до 27,5 МПа. Аналогичные результаты получены и для легкого бетона.

В бетонах, и в растворах, которые твердеют при минусовых температурах окружающей среды без обогрева, предусматривают использование противоморозных добавок.

Противоморозные добавки занимают важное место среди других добавок в бетон. Они нашли широкое применение при возведении монолитных и сборно-монолитных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, монолитных частей сборно-монолитных конструкций, включая бетонирование в скользящей опалубке, для замоноличивания стыков сборных конструкций и при изготовлении сборных бетонных и железобетонных конструкций в условиях строительных площадок и полигонов при установившейся температуре наружного воздуха или грунта ниже +10 °С и минимальной суточной температуре ниже 0 вплоть до -30 °С (температура бетона, при которой он с некоторыми противоморозными добавками, хотя и медленно, но систематически набирает прочность за счет гидратации цемента, составляет -25 °С).

Введение противоморозных добавок – технологически наиболее простой, удобный и экономически выгодный способ зимнего бетонирования.

Этот способ в 1,2-1,4 раза экономичнее, чем способ паро-прогрева и бетонирования с предшествующим ограждением сооружения и его утеплением изнутри и в 1,3-1,5 раза экономичнее электропрогрева и электрообогрева.

Безобогревное зимнее бетонирование благодаря применению противоморозных добавок позволяет экономить тепло- и электроэнергию при более гибкой технологии проведения работ.

В постсоветском пространстве накопился более чем 50-летний опыт применения противоморозных добавок для безобогревного бетонирования, в том числе в районах с суровым климатом. За это время в различные конструкции и сооружения уложены миллионы кубометров бетона с противоморозными добавками, что позволило обобщить результаты и наметить некоторые пути совершенствования безобогревного зимнего бетонирования.

С учетом областей применения противоморозные добавки можно разделить на две группы.

1. Добавки, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона и принадлежащие к числу либо слабых ускорителей, либо замедлителей схватывания и твердения цемента. К ним относятся некоторые сильные электролиты, такие, как очень популярный в России нитрит натрия и хлорид натрия, слабые электролиты, например, водные растворы аммиака, неэлектролиты, вещества органического происхождения, например многоатомные спирты и карбамид.

2. Добавки, совмещающие в себе способность к сильному ускорению процессов схватывания и твердения цементов с хорошими антифризными свойствами. К ним относятся поташ, добавки на основе хлорида кальция – смеси хлорида кальция с хлоридом натрия, нитритом натрия, нитрит-нитратом кальция, нитрит-нитратом кальция и мочевиной и некоторые другие.

В районах со сравнительно мягким климатом, где температура бетона, как правило, не бывает ниже -10 °С, успешно применяют карбамид. Эта противоморозная добавка одновременно пластифицирует бетонную смесь и обеспечивает спокойный невысокий темп твердения бетона.

Из изложенного ясно, что противоморозные добавки выполняют свои функции, прежде всего за счет снижения ими температуры замерзания воды.

Комплексные добавки состоят, как правило, из двух добавок, причем в качестве основной используют суперпластификаторы, а их состав определяется нормами [1, 6].

При анализе возможного влияния добавок в бетон на огнестойкость изготавливаемых из него элементов железобетонных конструкций рассмотрены физико-химические процессы, происходящие в бетоне с модифицированным составом и влиянием на них добавок.

Анализируя данные исследований [11] в бетоне происходят химические превращения, из которых основные показаны в табл. 1.

Таблица 1 - Химические превращения в бетоне при его нагреве в условиях пожара

Интервал температур нагрева, °С	Химическое превращение	Химическая реакция
100-300	Выделение свободной и частично кристалло-химической влаги, которая растворяет гидроксид кальция, делая пересыщенным его раствор, что приводит к дополнительной кристаллизации гидроксида кальция и, как следствие, повышению прочности.	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{SiO}_2 + 3\text{Ca}^{2+} + 6\text{OH}^+ + 4\text{H}_2\text{O},$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Ca}^{2+} + 6\text{OH}^+ + 3\text{H}_2\text{O},$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4 (31 \dots 32)\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaSO}_4 + 3\text{Ca}^{2+} + 6\text{OH}^+ + (29 \dots 30)\text{H}_2\text{O}$ $3\text{CaO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Ca}^{2+} + 6\text{OH}^+ + (n - 2)\text{H}_2\text{O}$ $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^+ \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$
300-600	Полное удаление свободной влаги и выделение с последующим удалением кристалло-химической влаги из клинкерных сrostков, и как результат, их деструкция на поверхности порового каркаса.	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{SiO}_2 + 3\text{CaO}^+ + 6\text{H}_2\text{O}^\uparrow,$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO} + 6\text{H}_2\text{O}^\uparrow,$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4 (31 \dots 32)\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaSO}_4 + 3\text{CaO} + (31 \dots 32)\text{H}_2\text{O}^\uparrow$ $3\text{CaO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO} + n\text{H}_2\text{O}^\uparrow$
600-1200	Интенсивная деструкция поверхности порового каркаса вследствие разложения клинкерных кристаллических сrostков и, как следствие, увеличение размера пор.	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{SiO}_2 + 3\text{CaO}^+ + 6\text{H}_2\text{O}^\uparrow,$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO} + 6\text{H}_2\text{O}^\uparrow,$ $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4 (31 \dots 32)\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaSO}_4 + 3\text{CaO} + (31 \dots 32)\text{H}_2\text{O}^\uparrow$ $3\text{CaO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO} + n\text{H}_2\text{O}^\uparrow$

Анализируя данные табл. 1 можно прийти к выводу, что наличие добавок может ускорять деструктивные химические процессы за счет увеличения интенсивности процесса дегидратации в диспергированных частицах клинкерного камня в бетоне, модифицированном добавками-пластификаторами и суперпластификаторами. Кроме этого диспергированная структура кристаллогидратных конгломератов обуславливает изменение плотности фазы каркаса цементного камня, что в свою очередь может привести к увеличению теплопроводности бетона.

Прочность бетона при его нагреве в условиях пожара определяется прочностью его компонентов, а также их совместной прочностью. При этом наличие в составе бетона пдобавок может влиять на соотношение прочностей компонентов железобетона [11]. Для оценки такого влияния был проведен анализ, результаты которого показаны в табл. 2.

Согласно данным табл. 1 и табл. 2 на соотношение прочностей компонентов железобетона наибольшее влияние могут оказывать наличие в составе бетона добавок-пластификаторов, морозостойких добавок и суперпластификаторов.

Таблица 2 - Соотношения прочностей структурных образований в железобетоне

Свойства железобетона	Величина, МПа	Изменение свойств под влиянием пожара	Влияние добавок
модуль упругости	$2-5 \times 10^3$	после 300 °С происходит резкое снижение	убыстряет наличие П*, С**, М***
прочность сцепления бетона с арматурой	3-10	для гладкой арматуры снижается (при 100 °С на ~25%, при 500 °С до 0)	снижает наличие П, С, М
прочность сцепления раствора с заполнителем	2-25	снижается	почти не влияет П, С ухудшает М
прочность раствора	22-45	до 300 °С возрастает, а после снижается	убыстряет снижение наличие П, С, М
прочность цементного камня	50-90	до 300 °С возрастает, а после снижается	убыстряет снижение наличие П, С, М
прочность крупного заполнителя	20-140	до 200 °С возрастает, а после снижается при 700°С на 20%	не влияет П, С, М
прочность мелкого заполнителя	350	до 200 °С возрастает, а после снижается	не влияет П, С, М
	36		
прочность арматуры	220-1200	после 400 °С снижается до 40-50%	не влияет П, С, М
	300-1400		
прочность бетона на сжатие (призм.)	20-60	до 200 °С возрастает на 10-15%, а после снижается, при 300 °С, 500 °С, 800° С соответственно на 20%, 40%, 75%	убыстряет снижение наличие П, С, М

Примечание: *П – пластификатор, **С - суперпластификатор ***М – морозостойкая добавка.

В современных рыночных условиях существует множество фирм-производителей добавок в бетон, конкуренция которых предполагает улучшение качества и уменьшение их цены. С целью государственного регулирования в данной отрасли в Украине были разработаны стандарты [1,6-9]. Их требованиями к нормированию огнестойкости строительных конструкций не предусмотрены. Данный вопрос в незначительной степени рассматривается в информационном письме Госдепартамент пожарной безопасности МЧС Украины [10], в котором указывается, что огнестойкость строительных конструкций уменьшается при использовании пластификаторов. Это обуславливает необходимость исследования данной проблемы и создание методик учета влияния модификаторов бетона при проектировании огнестойких железобетонных строительных конструкций.

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать выводы:

- вопрос влияния модифицирующих компонентов к бетону изучен недостаточно;
- существует необходимость проведения исследований влияния модификаторов бетона на огнестойкость железобетонных конструкций в особенности пластификаторов, морозостойких добавок и суперпластификаторов;
- существует необходимость усовершенствовать на основе проведенных исследований нормативные документы, касающиеся модификаторов бетона, с учетом требования пожарной безопасности к изготавливаемым железобетонным строительным конструкциям.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Настанова щодо застосування хімічних добавок в бетонах та будівельних розчинах. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008. – [Чинний від 2008-12-26] — К. : Мінрегіонбуд України, 2008. — 31 с. — (Національні стандарти України).
2. Добавки в бетон : Справочное пособие. [Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М.и др.]; под ред. В.С. Рамачандрана; пер. с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
3. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов. Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 188 с.
4. Fehérvári S. Effect of concrete components on the Temperature endurance of tunnel linings. New scientific results / S. Fehérvári. – Budapest.: Budapest University of Technology and Economics, 2009. – 16 с.
5. Collepardi M. Influence of Naphthalene-Sulphonated Polymer Based Superplasticizers on the Strength of Lightweight and Ordinary Concretes / M. Collepardi, M. Corradi. – Ottawa.: Proc Int Symp Superplast in Concr, 1978. – 527 с.
6. Строительные материалы. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. (EN 934-2:2001, NEQ) : ДСТУ Б В.2.7-171:2008. [Чинний від 2010-04-01] — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — (Національні стандарти України).
7. Строительные материалы. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний. Определение содержания водорастворимого хлорида. (EN 480-10:1996, NEQ) : ДСТУ Б В.2.7-172:2008. [Чинний від 2010-04-01] — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — (Національні стандарти України).
8. Строительные материалы. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний. Определение содержания щелочи в добавках. (EN 480-12:1997, NEQ) : ДСТУ Б В.2.7-173:2008 [Чинний від 2010-04-01] — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — (Національні стандарти України).
9. Строительные материалы. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы испытаний. Анализ методом инфракрасной спектроскопии. (EN 480-6:1996, NEQ) : ДСТУ Б В.2.7-174:2008 [Чинний від 2010-04-01] — К.: Мінрегіонбуд України, 2008. — (Національні стандарти України).
10. Об усовершенствовании нормативно-методической базы огнестойкости строительных конструкций и противопожарных преград. Информационное письмо ГДПБ МЧС Украины № 2-2009.
11. Жуков В.В. Термостойкость железобетонных конструкций /В.В.Жуков, Э.Ф. Панюков. – К.: Будівельник, 1991. – 224 с.

УДК 624.012

С.В. Поздеев, к.т.н, доц.,
Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА ПРИ ПОЖАРЕ

В статье освещены результаты экспериментальных исследований поведения арматурной стали при высоких температурах нагрева. Разработана последовательность экспериментальных и расчетных процедур для определения механических характеристик арматуры в условиях нагрева для применения уточненных методов расчета пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонные конструкции, арматура, упруго-пластические свойства, расчетные методы

Постановка проблемы. Применение методов математического моделирования для исследования поведения элементов железобетонных конструкций при пожаре связано с большими трудностями вследствие неоднородности и ярко выраженной нелинейности свойств железобетона, которые непрерывно меняются при его высокотемпературном нагреве. Данной проблеме посвящены многочисленные публикации [1], но, не смотря на большой объем научных исследований в данной области, очень важным представляется вопрос корректного применения математических моделей материалов и расчетных методик, описанных в нормативной документации. Развитию математических моделей механических свойств материалов посвящено большое количество исследований [1]. Тем не менее, в нормативных документах, например [2], даны расчетные методики и математические модели свойств материалов, что обуславливает необходимость их применения для расчетов пределов огнестойкости железобетонных конструкций проектируемых зданий на практике. В связи с этим достаточно важным является развитие методологии для решения практических проектных задач, основанной на базовых нормативных документах с применением уточненных методов.

При применении уточненных методов определения огнестойкости несущих железобетонных строительных конструкций одним из наиболее эффективных является метод конечных элементов (МКЭ), поскольку он является универсальным, а алгоритмы его численной реализации очень хорошо отработаны и позволяют учесть все значимые особенности поведения железобетона при комбинированном действии высокотемпературного нагрева и механических нагрузок. Кроме этого, данные алгоритмы применяются в универсальных компьютерных МКЭ-системах типа ANSYS, NASTRAN, ABAQUS, ЛИРА и др., в которых реализованы наиболее эффективные математические модели поведения материалов, учитывающие обширные научные данные зарубежных и отечественных исследователей. Тем не менее, опыт применения таких математических моделей и систем показывает, что при расчете появляется существенная погрешность при сравнении результатов с экспериментальными данными, что ставит под сомнение использование их как окончательные для определения предела огнестойкости. На наш взгляд данная погрешность связана с тем, что в нормах предложены универсальные модели, учитывающие феноменологию материалов только частично. Улучшить ситуацию возможно, корректируя их в соответствии с результатами дополнительных лабораторных испытаний после соответствующей математической обработки их результатов.

Анализ последних исследований и публикаций. Результатами исследований многочисленных работ [1 – 5] устанавливаются различные математические модели поведения бетона и арматурной стали в условиях нагрева при пожаре. Сравнительный анализ данных моделей показал их эффективность, но наибольшее приближение к экспериментальным данным дают математические модели механических свойств бетона, описанные в EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2 [2]. Поэтому данные математические модели выбраны в качестве базовых.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является разработка способа корректировки нормативной математической модели механических свойств арматурной стали в условиях нагрева для получения адекватных результатов при использовании уточненных методов расчета пределов огнестойкости на базе МКЭ.

Математическая модель механических свойств арматурной стали в условиях нагрева является набором диаграмм ее деформирования при разных температурах, а их построение базируется на применении формул:

$$\begin{aligned}
 &\text{при } 0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} && \sigma_s = E_{s,T} \varepsilon_s \\
 &\text{при } \varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} && \sigma_s = R_{sp,T} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} && \sigma_s = R_{s,T}, \\
 &\text{при } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} && \sigma_s = R_{s,T} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\
 &\text{при } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_s && \sigma_s = 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где a, b, c – некоторые параметры, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned}
 a^2 &= (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,T}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} + c^2 \\
 c &= \frac{(R_{s,T} - R_{sp,T})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} - 2(R_{s,T} - R_{sp,T})}
 \end{aligned} \tag{2}$$

В формулы (1), (2) входят следующие параметры: ε_{sy} – деформация, при которой наступает предел текучести, ε_{st} – деформация, при которой начинается ниспадающая ветвь диаграммы, $R_{sp,T}$ – предел пропорциональности стали, $E_{s,T}$ – модуль упругости стали, зависящий от температуры нагрева

Для корректировки математических моделей механических свойств моделей были использованы лабораторные исследования образцов арматуры в условиях нагрева и напряженно-деформированного состояния (НДС). Для испытаний применяется специальная установка состоящая из системы электропечей и нагружающего устройства. В центре образца закрепляется хромель-алюмелевая термопара. Образец закрепляется в специальные зажимные узлы, связанные с нагружающими тягами, образуя с ними жесткий сборной стержень.

Испытание происходит в два этапа. На первом этапе образец нагружается при помощи рычажной установки с применением грузовых подвесок. При проведении каждого из экспериментов образцы в ненагретом состоянии образцы растягиваются до величин, соответствующих 0,8, 0,6, 0,5, 0,4 и 0,2 от условного предела текучести данной арматурной стали. На втором этапе происходит нагрев, температурный режим которого соответствует среднему прогреву арматуры при стандартном температурном режиме пожара для защитного слоя 0,03 – 0,04 м. На каждом из этапов непрерывно фиксируются

соответствующие деформации образцов. Конечный результат определяется как среднее для трех отдельных одинаковых испытаний.

Описанная методика имеет существенный недостаток, который заключается в несоответствии физических условий эксперимента реальным условиям и не может быть использована для непосредственного построения диаграмм деформирования арматурной стали при высоких температурах, которые впоследствии могут быть использованы для расчета огнестойкости железобетонных конструкций. Чтобы адекватно использовать результаты, полученные по предложенной методике необходимо рассматривать их как экспериментальные ситуации для решения задачи идентификации эффективных диаграмм деформирования арматурной стали для получения наиболее точных результатов при расчете предела огнестойкости железобетонных конструкций.

Чтобы провести расчет для решения задачи идентификации были использованные данные [1], полученные для арматурной стали марки 35ГС класса арматуры А III с пределом прочности $R_a = 390$ МПа, что соответствует арматуре класса А400 согласно ДСТУ 3760: 2006.

Для решения задачи идентификации была построена конечно-элементная модель арматурного стержня, соответствующего конечно-элементной модели арматуры, принимаемой при расчете элементов железобетонных конструкций на огнестойкость.

В табл. 1 сведены параметры рабочей конечно-элементной модели для уточнения диаграмм деформирования арматурной стали.

При анализе наиболее значимых параметров математической модели диаграмм деформирования арматурной стали Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2004 выделены три прочностных параметра: коэффициент снижения прочности при растяжении, коэффициент снижения прочности при сжатии и коэффициент снижения начального модуля упругости. В соответствии с этим были построены их зависимости от температуры нагрева согласно Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2005 и аппроксимирующие функции вида (3). построенные зависимости показаны на рис. 1.

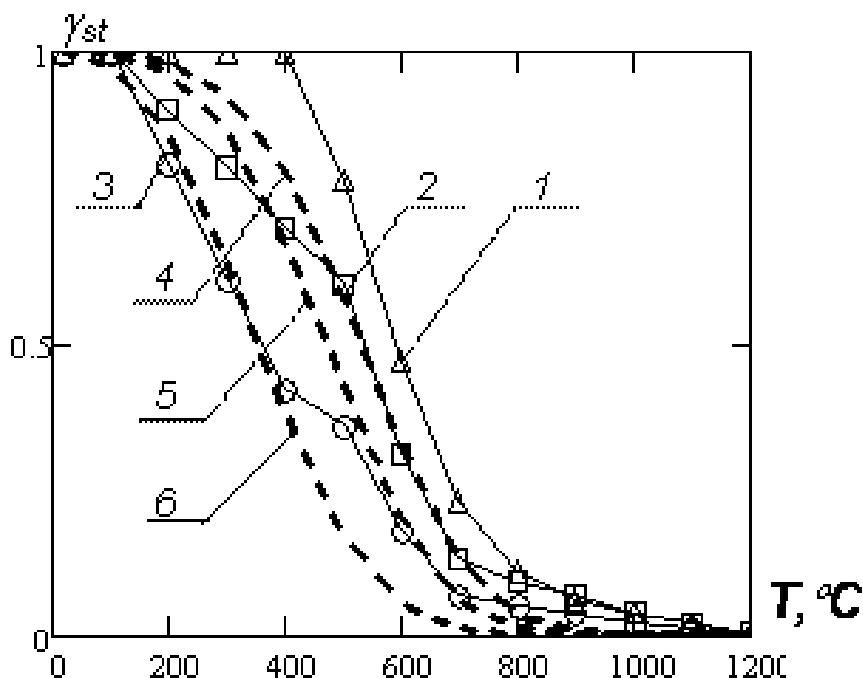


Рисунок 1 - Температурные зависимости коэффициента снижения прочности арматурной стали на растяжение (1, 4), коэффициента снижения прочности на сжатие (2, 5), коэффициента снижения прочности модуля упругости (3, 6): 1, 2, 3 - зависимости Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2004; 4, 5, 6 – аппроксимирующие функции.

Исследования [8] показывают, что очень удобно аппроксимировать зависимость коэффициентов работы арматурной стали при помощи формулы:

$$\gamma_{st} = \exp \left[a \left(\frac{T}{1100} \right)^b \right], \quad (3)$$

где a и b числовые коэффициенты, которые подлежат определению для уточнения параметров диаграмм деформирования бетона при высоких температурах.

Поиск коэффициентов формулы (2) осуществлялся при помощи минимизации целевого функционала вида:

$$\Phi = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_i (F_{Эi} - F_{Pi})^2}, \quad (3)$$

где $F_{Эi}$, F_{Pi} – соответственно экспериментально определенное и рассчитанное значение силы, прикладываемой к образцу, n – количество экспериментальных ситуаций.

Для решения задачи идентификации была построена конечно-элементная модель арматурного стержня, соответствующего конечно-элементной модели арматуры, принимаемой при расчете элементов железобетонных конструкций на огнестойкость.

В табл. 1 сведены параметры рабочей конечно-элементной модели для уточнения диаграмм деформирования арматурной стали.

Таблица 1 - Основные расчетные математические модели напряженно-деформированного состояния арматуры при испытаниях

№, п/п	Особенность поведения железобетона	Используемая матмодель (метод)	Автор	Источник
1.	Базовые уравнения НДС	Разрешающие уравнения МКЭ		[]
2.	Пластическое деформирование стали	Многослойная модель ассоциативной теории пластического течения	Besseling	[]
4.	Физич. и геом. нелинейность поведения с учетом.	Итеративный метод	Newton, Raphson	[]

Геометрия и тип КЭ построенной конечно-элементной модели показан на рис. 2.

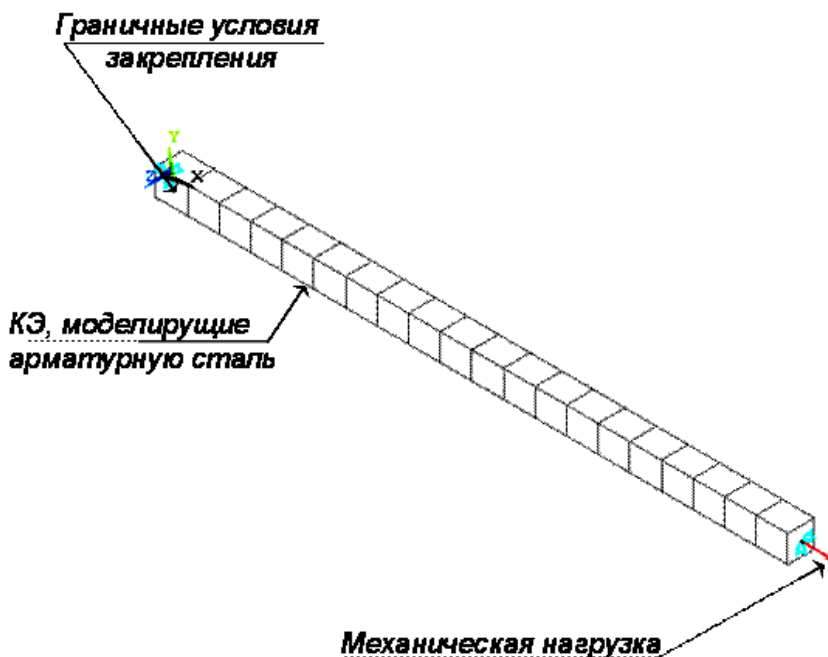


Рисунок 2 - Конечно-элементная модель образца для комбинированных испытаний арматурной стали

Данная модель построена на базе стержневых КЭ с помощью системы системы ANSYS Multiphysics. Расчет происходил в два этапа. На первом этапе к стержню прикладывались соответствующие растягивающие нагрузки для разных экспериментальных ситуаций: 0,8, 0,625, 0,4, 0,2, 0,1, 0,05 от предела текучести арматурной стали. На втором этапе к узлам конечно-элементной модели прикладывалась температурная нагрузка по режиму нагрева соответствующего равномерной скорости 5 °С/мин, приблизительно соответствующей средней скорости нагрева приарматурного слоя элемента с защитным слоем 20 – 30 мм.

Для расчета НДС образца для испытаний арматурной стали в условиях механической нагрузки и нагрева были построены диаграммы деформирования арматурной стали при высоких температурах согласно математической модели, предложенной в Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2005. Построенные диаграммы деформирования арматурной стали приведены на рис. 3.

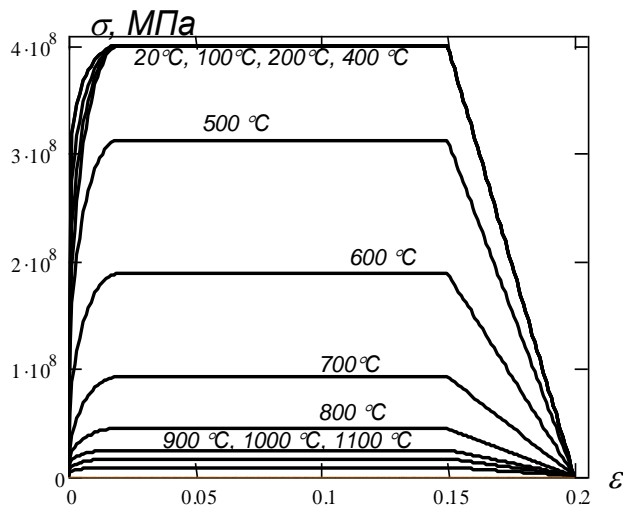


Рисунок 3 - Диаграммы деформирования арматурной стали при нагреве, полученные по математической модели согласно Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2004

После проведения расчета по построенным диаграммам были получены результаты, которые показаны на рис. 4. Графики на рис. 4 показывают существенные расхождения полученных данных и результатов расчета, что говорит о необходимости коррекции принятых диаграмм деформирования арматурной стали.

После проведения расчетов по данной методике были найдены оптимальные параметры формулы (3):

$$\begin{aligned} \gamma_{st}(T) &= \exp \left[-11,8 \left(\frac{T}{1100} \right)^{3,9} \right]; \quad \gamma_{stt}(T) = \exp \left[-14,8 \left(\frac{T}{1100} \right)^{2,7} \right]; \\ \gamma_{Et}(T) &= \exp \left[-13,5 \left(\frac{T}{1100} \right)^{3,5} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Используя найденные зависимости коэффициентов работы арматуры были построены их графические зависимости, которые показаны на рис. 1 (кривые 4, 5, 6).

После того как математические модели механических свойств арматурной стали были уточнены по ним были построены диаграммы деформирования арматурной стали.

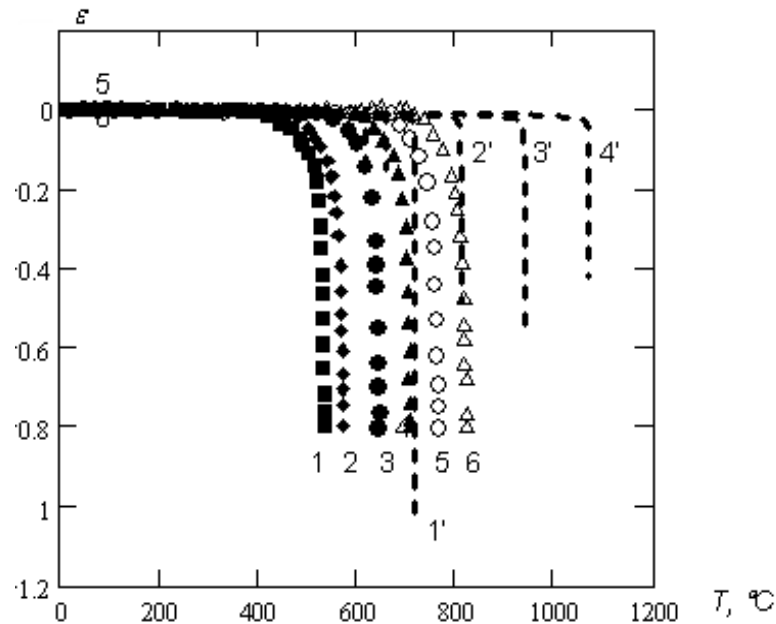


Рисунок 4 - Результаты расчета (пунктир) и экспериментальные данные деформации арматурной стали в условиях нагрева при растяжении с нагрузками:

1 – 0,8R_a; 2 – 0,625R_a; 3 – 0,4R_a; 4 – 0,2R_a; 5 – 0,1R_a; 5 – 0,05R_a

Для нахождения оптимальных значений *a* и *b* аппроксимирующих функций был использован вычислительный алгоритм, основанный на применении метода Ньютона-Гаусса и формулы (3). Решение производилось при помощи встроенного языка программирования APDL в системе ANSYS Multiphysics.

Построенные диаграммы деформирования были использованы для расчета НДС образца из арматурной стали, подвергнутого испытаниям в условиях растяжения и нагрева. Результаты расчета приведены на рис. 5.

Графики на рис. 5 показывают, что расчетные данные имеют хорошее совпадение с экспериментальными данными. В табл. 2 показаны результаты анализа адекватности полученных результатов.

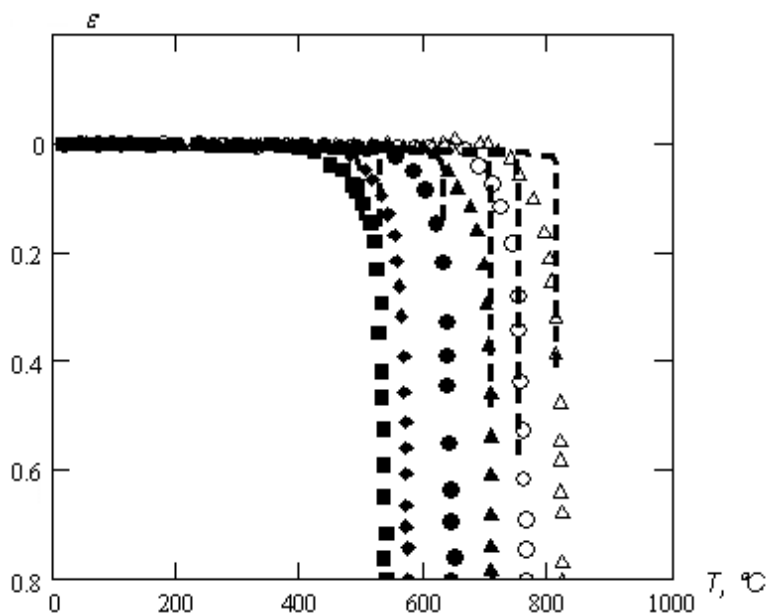


Рисунок 5 - Результаты расчета (пунктир) по уточненной модели механических свойств арматурной стали и экспериментальные данные деформации стального образца в условиях нагрева при растяжении

Отклонения в табл. 2 анализировались по температурам достижения характерного состояния наступления интенсивного нарастания пластических деформаций, а также отклонения температуры в одинаковых состояниях по временному фактору относительно температуры. Полученные данные усреднялись по всем экспериментальным ситуациям

Таблица 2 - Сравнительные данные расчета для коэффициентов работы арматурной стали согласно исходной и уточненной математической модели

№, п/п	Коэффициент снижения прочности		Среднеквадратичное отклонение, °C	Среднее относительное отклонение, %
	Параметр a формулы (3)	Параметр b формулы (3)		
1.	Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2004		195	49
2.	Кэффицент снижения прочности на раст.		44	3.4
	11,8	3,9		
	Кэффицент снижения прочности на сжат.			
	14,8	2,7		
	Кэффицент снижения начального мод. упр.			
	13,5	3,5		

Данные табл. 2 показывают высокую точность полученных результатов, а это значит, что при примении разработанного алгоритма уточнения математической модели Eurocode 2 EN 1992-1-2: 2005 для механических свойств арматурной стали в условиях нагрева позволяет уточнить результаты расчета напряженно-деформированного состояния образца арматурной стали при комбинированных испытаниях в три раза.

Выводы. В результате проведенных исследований показана эффективность применения диаграмм деформирования бетона, которые рекомендуются в стандарте EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2 [2], откорректированных в результате предложенных экспериментальных и расчетных процедур, для моделирования напряженно-деформированного состояния бетонного образца в условиях лабораторных испытаний нагрева под нагрузкой.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М. : Стройиздат, 1998. – 304 с.
2. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
3. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в механике железобетона : [монография] / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса : ОНМУ, 2007. – 110 с.
4. Карпенко Н.И. Определяющие соотношения для железобетона с трещинами при термосиловых воздействиях / Н.И. Карпенко, С.Ф. Клованич // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 2. – С. 141 – 165.
5. Метод конечных элементов в механике твердого тела / [В.С. Сахаров, В.Н. Кислоокый, В.Р. Киричевский и др.] – К. : Вища школа, 1982. – 480 с.
6. ANSYS Release 10, Inc. Theory Reference.
7. Поздеев С.В. Обоснование методики расчета температурных режимов прогрева камеры печи при комбинированных испытаниях бетонных образцов / [Поздеев С.В., Григорьян Б.Б., Некора О.В., Поздеев А.В.] // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – К.: УкрНДІПБ, 2006. – № 2 (14). – С.140–147.

УДК 614.841

О.І. Пурський, д.ф.-м.н., Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького
Федоренко С.С., Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

**ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Визначено принципи побудови і функціонування сучасних експертних систем пожежної безпеки (ЕСПБ). Функціонування ЕСПБ ґрунтується на використанні алгоритмів, що застосовують для вирішення задач механізми автоматичного міркування (висновку) і методи засновані на пошуку відповідності. База знань ЕСПБ формується на основі знань і досвіду провідних фахівців предметної області.

Ключові слова: експертні системи, пожежна безпека, бази знань, експерт, неформалізовані задачі.

Актуальність проблеми підтримки пожежної безпеки на високому рівні не викликає сумнівів. Система гарантування пожежної безпеки відіграє велику роль у всіх сферах діяльності [1]. Комплексність її взаємопов'язаних структур, які характеризуються децентралізацією і розподілом функцій за організаційними та функціональними ознаками, зумовлює значну складність задач автоматичного управління системою пожежної безпеки [2]. Сучасний рівень розвитку технологічних засобів дозволяє створювати інформаційні системи на основі використання засобів обчислювальної техніки, про які прийнято говорити, що вони володіють певним ступенем інтелектуальності. Тобто, існують певні системи, які в рамках свого функціонування здатні реалізовувати такі процедури і механізми розв'язку задач, що по своїй суті подібні до діяльності людини під час вирішення таких же задач. Реалізація цих процедур і механізмів в автоматичному режимі безпосередньо пов'язана з використанням технічних засобів – тобто можна говорити про «штучний інтелект» (ШІ). Системи ШІ застосовуються в різних предметних областях для вирішення різних задач, які вимагають застосування різних механізмів, методів і моделей для свого розв'язку. Для функціонування систем ШІ створюються певні алгоритми, які здійснюють реалізацію тих або інших процесів чи дій, досить часто ці алгоритми ґрунтуються на використанні імовірнісних показників, оскільки процес прийняття рішення може здійснюватися в нечітко визначених умовах. В деяких випадках система ШІ, як розв'язок задачі, може надавати сукупність альтернатив, серед яких потрібно вибрати найкращу. Особливо варто зазначити необхідність застосування систем ШІ в сферах діяльності, де присутній шкідливий фактор, зокрема в області пожежної безпеки.

Загалом проблема ШІ є досить складною проблемою, яка все ще далека від свого вирішення. В той же час, технічний прогрес і розвиток засобів обчислювальної техніки дозволив вирішувати ті задачі, які раніше були складними для розв'язку, або вважалися такими, що взагалі не підлягають розв'язку. На початку 80-х років 20 століття у дослідженнях штучного інтелекту сформувався новий самостійний напрямок, що отримав назву «експертні системи» (ЕС). На сьогодні існує велика кількість ЕС і застосовуються вони в різних предметних областях. Формальне визначення ЕС, схвалене комітетом по ЕС Британського комп'ютерного товариства, можна сформулювати наступним чином [3]: під ЕС розуміється система, що об'єднує можливості комп'ютера із знаннями і досвідом експертів в такій формі, що система може запропонувати розумну пораду або реалізувати розумний розв'язок поставленої задачі. Додатковою, бажаною характеристикою такої системи (багатьма вона розглядається як основна) є її здатність надавати пояснення стосовно розв'язку задачі, у зрозумілій для користувачів формі. Враховуючи складність задач, що вирішуються в системі гарантування пожежної безпеки, ЕСПБ повинні надавати

високоєфективні, а саме головне правильні відповіді на поставлені перед ними задачі. Це вимагає наявності експертних знань в таких областях системи пожежної безпеки: управління та контролю, організації та служби і навчання та тренування. Механізм функціонування будь-якої сучасної ЕС, не залежно від предметної області її застосування, ґрунтується на використанні бази знань (БЗ) і системи логічного висновку (рис. 1).

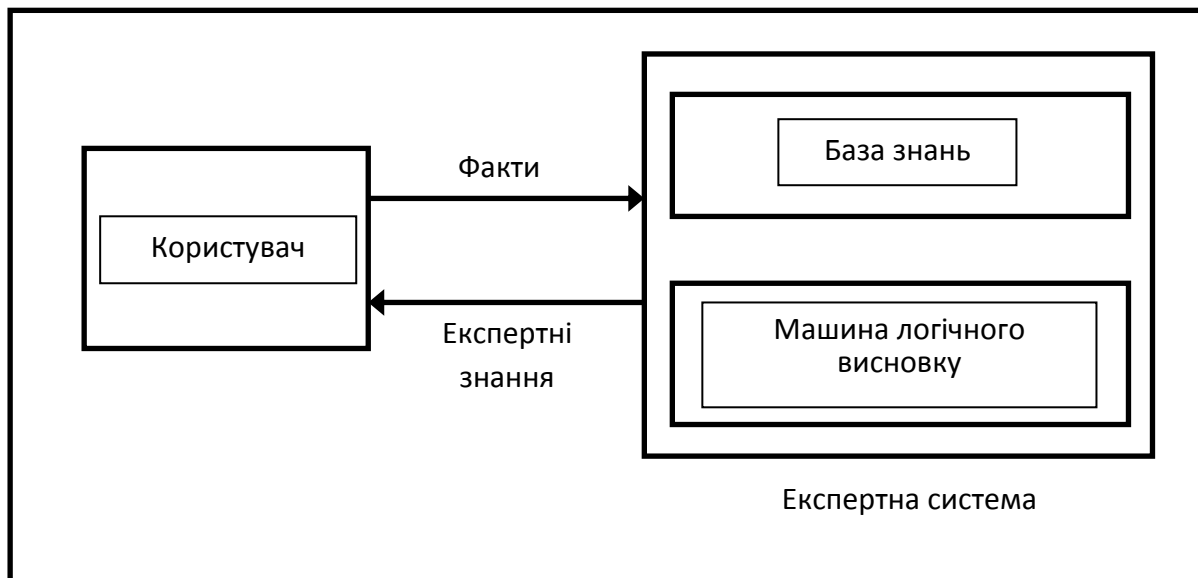


Рисунок 1 – Структурна схема експертної системи, заснованої на знаннях

Система логічного висновку містить в собі загальні формальні правила прийняття рішення [3], які можуть застосовуватися в різних предметних галузях. Характерні особливості - відмінності ЕС, що визначають їхнє застосування в конкретних предметних галузях лежать в області бази знань. Нагромадження і організація знань є найважливішою властивістю ЕС. На відміну від традиційного програмування де є вхідні дані і чіткий алгоритм вирішення задачі, ЕС мають справу із складними нечітко визначеними (неформалізованими) задачами. У зв'язку з цією обставиною надзвичайно важливим є залучення в процесі навчання (створення БЗ) ЕСПБ провідних експертів в області пожежної безпеки. Це експерти в таких галузях системи пожежної безпеки:

- управління та контролю;
- організації та служби;
- навчання та тренування.

Вони повинні володіти такими загальними якостями:

- великий багаж знань;
- великий досвід роботи;
- вміння точно сформулювати і правильно вирішити завдання (від цього залежить ефективність функціонування ЕС).

По-суті тільки такий комплексний підхід до створення БЗ забезпечить ефективне використання ЕСПБ і забезпечить її наступні властивості:

- застосування для розв'язку задач високоякісного досвіду та знань, що представляє рівень мислення найбільш висококваліфікованих експертів в області пожежної безпеки, що приводить до правильних та ефективних рішень.
- наявність можливостей прогнозування, при яких ЕС надає відповіді не тільки для конкретної ситуації, але й показує як змінюються ці відповіді в нових ситуаціях, з доскональним поясненням, яким чином нова ситуація призвела до змін в рішеннях.

- можливість використання ЕС для навчання і тренування, забезпечуючи нових службовців великим багажем досвіду і стратегій

В основу функціонування ЕСПБ закладено механізми автоматичного логічного міркування (висновку) і методи засновані на пошуку відповідності [3]. Користувач ЕС передає запит (факти або іншу інформацію) та отримує від ЕС експертну пораду, відповідь або експертні знання. По своїй структурі ЕС поділяється на два основних компоненти – БЗ і машину логічного висновку (рис. 1). База знань містить в собі знання експертів, ґрунтуючись на яких машина логічного висновку генерує рішення. Ці рішення представляють собою відповіді експертної системи на запити користувача, що бажає отримати експертні знання.

Варто зазначити, що запропоновані механізми створення і функціонування ЕСПБ мають певні перевагами у порівнянні з іншими інтелектуальними системами заснованими на інших механізмах розв'язку задач, зокрема:

- *Підвищена доступність* - для забезпечення доступу до ЕСПБ можуть застосовуватися різноманітні комп'ютерні апаратні засоби. В певному сенсі цілком виправданим є твердження, що ЕС – це засіб масового продукування експертних знань.
- *Зменшені витрати* - вартість надання експертних знань у розрахунку на окремого користувача суттєво зменшується.
- *Зменшення рівня або уникнення фактору небезпеки* - ЕС можуть використовуватися в середовищах, що можуть виявитися небезпечними для людини.
- *Постійність* - експертні знання нікуди не зникають, ЕС зберігаються на невизначено довго.
- *Можливість отримання експертних знань з багатьох джерел* - за допомогою ЕСПБ можуть бути зібрані і сконцентровані знання багатьох експертів в області пожежної безпеки, які можуть бути задіяні для вирішення задач, що виконуються одночасно і неперервно, в будь-який момент. Рівень експертних знань, сконцентрованих в ЕС шляхом об'єднання знань декількох експертів, може перевищувати рівень знань окремо взятої людини-експерта.
- *Підвищена надійність* - застосування ЕСПБ дозволяє підвищувати ступінь довіри до правильності прийнятого рішення, шляхом надання ще одного обґрунтованого висновку людині-експерту або посереднику при визначенні найбільш правильного (ефективного) рішення, що вибирається із сукупності альтернатив наданих людьми-експертами. (Зрозуміло, що даний метод не може застосовуватися у випадку, коли база знань ЕС створювалася на основі знань однієї людини-експерта, що приймає участь у визначенні кращої з альтернатив). Розв'язок ЕС повинен завжди співпадати з рішенням експерта: неспівпадання може бути викликано тільки помилкою, допущеною експертом, що може відбутися у випадку коли експерт втомився або знаходиться в стані стресу.
- *Пояснення* - ЕСПБ здатна детально пояснювати свої дії, які привели до конкретного висновку. Можливість отримати пояснення сприяє підвищенню довіри до правильності рішення.
- *Швидка реакція* - для деяких додатків може знадобитися швидка відповідь або відповідь в режимі реального часу. В залежності від апаратного і програмного забезпечення ЕС може реагувати і бути готовою до роботи швидше, ніж людина експерт. В деяких екстремальних випадках може знадобитися більш швидка реакція, ніж у людини, в такому випадку найкращим варіантом є ЕС, що можуть діють в режимі реального часу.
- *Незмінно правильна, повна і позбавлена емоцій відповідь при будь-яких обставинах* - властивість може бути корисною в реальному часі і в екстремальних умовах, коли людина-експерт може виявитися нездатним діяти з максимальною ефективністю, через наприклад втомленість або стрес.
- *Можливість застосування в якості інтелектуальної навчаючої програми* - ЕС може діяти як інтелектуальна навчаюча програма, що передає учню приклади вирішення задач, пояснюючи на чому ґрунтуються механізми її розв'язку.

Для підвищення ефективності механізмів функціонування ЕСПБ є надзвичайно важливим забезпечення такої нової якості як інституціональна пам'ять, яка на наш погляд

обов'язково повинна входити до складу БЗ ЕСПБ. Вона створюється за рахунок взаємодій з фахівцями організацій і являє собою поточну політику цієї групи людей. Цей набір знань стає збірником кваліфікованих думок з постійно обновлюваним довідником найкращих стратегій і методів використовуваних персоналом задіяним в системі пожежної безпеки.

Підсумовуючи раніше сказане зазначимо, що головним завданням в процесі створення ЕСПБ є розробка програмних засобів реалізації методів логічного висновку і пошуку відповідності, які при вирішенні задач складних для людини, одержують результати, що не поступаються за якістю і ефективністю рішенням людини-експерта.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про пожежну безпеку : Закон України 17.12.1993 р., № 3745_ХІІ // Відомості Верховної Ради. – 1994. – № 5.
2. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы / Н.Н. Брушлинский. – М. : МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
3. Naylor C. Build your own expert system. - John Wiley&Sons Ltd., Chichester, 1987. – 289 p.

УДК 678.686:66.046.516

Е.Ю.Спирина-Смилка, Р.А.Яковлева, д.т.н., проф., Ю.В.Попов, к.т.н., с.н.с.,
Л.П.Снагощенко, к.х.н., доц., Т.С.Ковтун, Харьковський державний технічний
університет будівництва і архітектури

И.Г.Маладыка, к.т.н., доц., Академія пожежної безпеки ім. Героев Чорнобыля

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрено влияние ко-интеркалированных графитов на жизнеспособность, структуру, адгезионно-прочностные свойства, водо- и химстойкость эпоксидных полимерных материалов.

Ключевые слова: ко-интеркалированные графиты, эпоксидные композиции, термомеханические свойства, адгезионная прочность, водостойкость, химстойкость, пожарная опасность, огнезащитные характеристики.

Эпоксидные полимеры благодаря своей технологичности, высоким адгезионно-прочностным, механическим и антикоррозионным свойствам широко применяются для огнезащиты строительных конструкций [1]. Однако, они относятся к горючим материалам с КИ=19,0% и, следовательно, имеют повышенную пожарную опасность [2]. Поэтому важной научно-практической задачей является снижение горючести эпоксиполимерных материалов без ухудшения их технологических и эксплуатационных свойств.

Для снижения пожарной опасности и придания эпоксидным покрытиям огнезащитных свойств применяют различные добавки, в том числе ко-интеркалированные соединения графита (КСГ) в системе графит - H_2SO_4 - H_3PO_4 [3]. Разнообразие свойств подобных соединений открывает широкие возможности получения эпоксиполимерных материалов с заданными характеристиками [4]. Введение наполнителей, как правило, оказывает существенное влияние на процессы структурирования, хим- и водостойкость, адгезионно-прочностные свойства и структуру эпоксиполимеров [5]. Однако при решении вопросов, связанных с созданием эпоксидных композиционных материалов пониженной горючести практически отсутствуют данные о влиянии графитосодержащих наполнителей на эксплуатационные свойства эпоксиполимеров.

Поэтому целью данной работы является оценка и сравнение влияния различных интеркалированных и ко-интеркалированных графитов на технологические и эксплуатационные свойства огнезащитных полимерных композиций.

В качестве полимерной матрицы использовали эпоксидный олигомер марки ЭД-20, отвержденный бинарным отвердителем аминного типа, состоящим из моноцианэтилдиэтилтриамина марки УП-0633М, смеси 2-диметиламинометилфенола и 2,6- бис(диметиламинометил)фенола переаминированной этилендиамином марки АФ-2, с применением в качестве модификатора реакционноспособного олигомера - триглицидилового эфира полиоксипропилентриола марки Лапроксид 503.

В качестве антипиренов были использованы моноаммонийфосфат (МАФ) в виде аммофоса и образцы графита марки ГСМ-2, интеркалированные серной кислотой (S) и ко-интеркалированные смесью серной и фосфорной кислот (SP), в присутствии окислителей бихромата калия (бхк) - S-бхк и SP-бхк, а также персульфата калия (пск) - S-пск и SP-пск.

Жизнеспособность композиций определялась в температурном интервале 268 - 298 К по ГОСТ 20835-75.

Структурные параметры отвержденных огнезащитных эпоксидных полимеров изучали методом термомеханического анализа на консистометре Хепплера при одноосном сжатии под нагрузкой 50Н при скорости нагрева - 1,5-2°C/мин по методике, приведенной в

работе [6]. Испытания осуществляли на цилиндрических образцах диаметром и высотой 10 мм. Измеряли деформацию, развивающуюся при нагревании образца. По данным термомеханических исследований определяли температуру стеклования (T_c), величина относительной деформации в высокоэластическом состоянии ($\epsilon_{отн}$) равновесный модуль высокоэластичности (E_∞) и молекулярную массу фрагмента цепи между узлами сетки (M_c).

Адгезионно-прочностные свойства к стали 3 осуществляли методом нормального отрыва по ГОСТ 14760-69, водопоглощение по ГОСТ 4650-80 и стойкость к действию химических сред по ГОСТ 12020-72. Физико-механические свойства эпоксидных огнезащитных составов в виде покрытий по металлу определяли по стандартным методикам для лакокрасочных материалов.

Показатели пожарной опасности эпоксиполимеров определяли по ГОСТ 12.1.044-89. Огнезащитная эффективность покрытий определялась по ГОСТ 16363 – 98.

Природа наполнителя и физико-механические свойства его поверхности влияют на процесс формирования сетчатого эпоксиполимера и, следовательно, на его структуру и весь комплекс эксплуатационных характеристик. Взаимодействие полимера с поверхностью наполнителя приводит к ограничению подвижности полимерных цепей, которая эквивалентна образованию дополнительных физических узлов полимерной сетки [7].

Изучено влияние наполнителей различной природы на структурные параметры полимерной сетки вспучивающихся огнезащитных составов. На рис. 1. представлены термомеханические кривые эпоксиполимеров, наполненных МАФ и различными графитами.

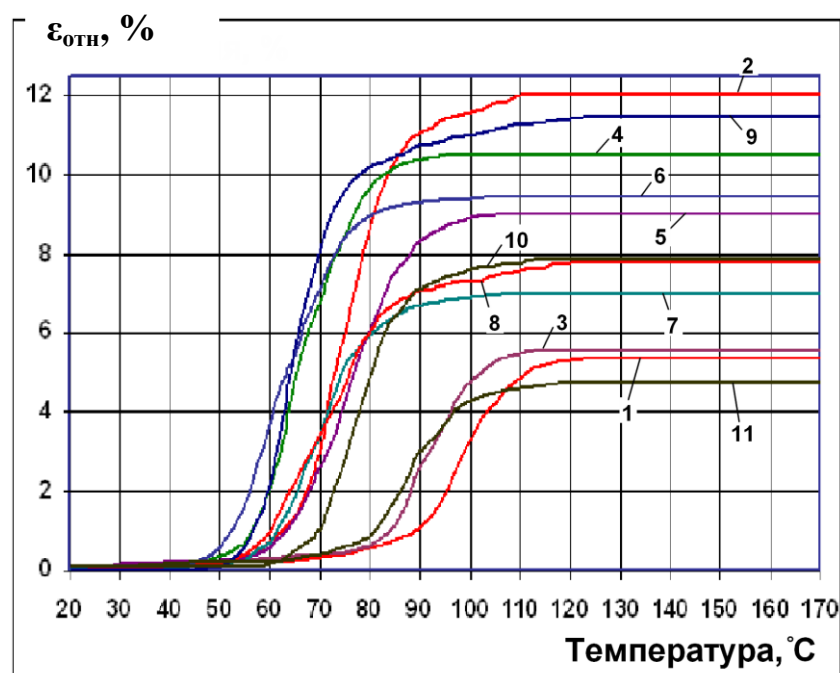


Рисунок 1 – Термомеханические кривые эпоксиполимера без наполнителя (1), содержащего МАФ (2), ГСМ-2 (3), S-бхк (4), SP-бхк (5), S-пск (6), SP-пск (7), МАФ и ГСМ-2 (8), МАФ и S-бхк (9), МАФ и SP-бхк (10), и МАФ и SP-пск (11)

Из представленных данных видно, что для всех эпоксиполимеров процесс перехода из стеклообразного состояния в высокоэластичное проходит в относительно узком температурном интервале от 24-40°C, при этом температуры этого перехода сильно отличаются между собой. Так, например, ненаполненный полимер начинает переходить из стеклообразного состояния в высокоэластичное при 115 °C. Для всех наполненных систем отмечается повышение температуры перехода в высокоэластичное состояние и увеличивается относительная деформация в высокоэластичном состоянии, кроме эпоксиполимера с добавкой МАФ и SP-пск (рис.1, кр. 11). Температура перехода в ВЭС зависит от химической природы вводимых наполнителей, особенно в присутствии графитов,

отличающихся различной степенью окисления. Как видно, в присутствии интеркалированных графитов – S-бхк и S-пск наблюдается наибольшее понижение температуры стеклования, по сравнению с исходным графитом ГСМ-2, с одновременным повышением относительной деформации в ВЭС. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 1 – Физические свойства и структурные параметры эпоксиполимеров в зависимости от природы наполнителей

№	Композиция с добавкой	T_c , °C	ΔT ($T_{вэ} - T_c$), °C	$\epsilon_{отн}$, %	E_{∞} , МПа	M_c , кг/моль
1	Без наполнителя	85	30	5,34	14,54	386,6
2	МАФ	60	45	12,04	4,87	1151
3	ГСМ-2	83	24	5,59	14,92	328,8
4	S-бхк	55	30	10,54	6,12	715,0
5	SP-бхк	63	30	8,99	7,47	620,7
6	S-пск	52	26	9,43	8,61	543,4
7	SP-пск	62	23	6,98	10,77	457,2
8	МАФ+ ГСМ-2	58	40	7,79	6,82	830,4
9	МАФ+ S-бхк	52	26	9,43	8,61	543,4
10	МАФ+ SP-бхк	68	24	7,85	9,42	558,3
11	МАФ+ SP-пск	78	28	4,71	16,39	344,9

Добавление ко-интеркалированных графитов (рис.1, кр. 5,7) приводит к увеличению температуры стеклования на 8-10 °C и снижению относительной деформации на 1,55-2,45% по сравнению с интеркалированными графитами.

Эти данные свидетельствуют об увеличении эффективной плотности сшивок за счет увеличения числа сорбированных поверхностью ко-интеркалированных графитов полярных гидроксидных и других групп в составе эпоксиполимера, что приводит к ограничению сегментальной подвижности цепей (уменьшается молекулярная масса межузлового фрагмента M_c) и в результате этого возрастает температура стеклования. Можно предположить, что возрастание жесткости эпоксиполимеров происходит за счет увеличения взаимодействия полярных групп полимера с ионами PO_4^{3-} , находящимися на поверхности графитов.

Добавление к исходному полимеру МАФ в количестве 23 масс.ч. снижает T_c , при одновременном повышении величины относительной деформации. Это свидетельствует о рыхлой структуре наполненной МАФ полимерной матрицы по сравнению с исходным полимером. Введение в полимер МАФ и ко-интеркалированных графитов способствует увеличению эффективной плотности сшивок полимера, о чем свидетельствует повышение температуры стеклования при введении МАФ+SP-бхк и МАФ+SP-пск на 10 и 20 °C соответственно, по сравнению с полимером, наполненным МАФ и исходным графитом – ГСМ-2. При этом для композиции МАФ+SP-пск уменьшается относительная деформация в 1,2-1,65 раза по сравнению с ненаполненным эпоксиполимером и наполненным МАФ+ГСМ-2 соответственно.

Таким образом, в результате термомеханических исследований установлено, что при введении ко-интеркалированных графитов, как в отдельности, так и совместно с МАФ, повышается температура стеклования и снижается величина высокоэластичной деформации эпоксиполимеров и эти эффекты зависят от содержания групп PO_4^{3-} на поверхности графитов.

Косвенным показателем степени адсорбционного взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель и густоты сшивки наполненного эпоксиполимера является

исследование диффузии низкомолекулярных соединений в полимер. Поэтому были определены водо- и химстойкость эпоксиполимеров в кислотной и щелочной средах .

В качестве агрессивных сред использовали растворы, рекомендованные для защиты деревянных и металлических строительных конструкций от коррозии в неагрессивной, слабоагрессивной и среднеагрессивной средах [8]. Полученные данные представлены на рис. 2-4.

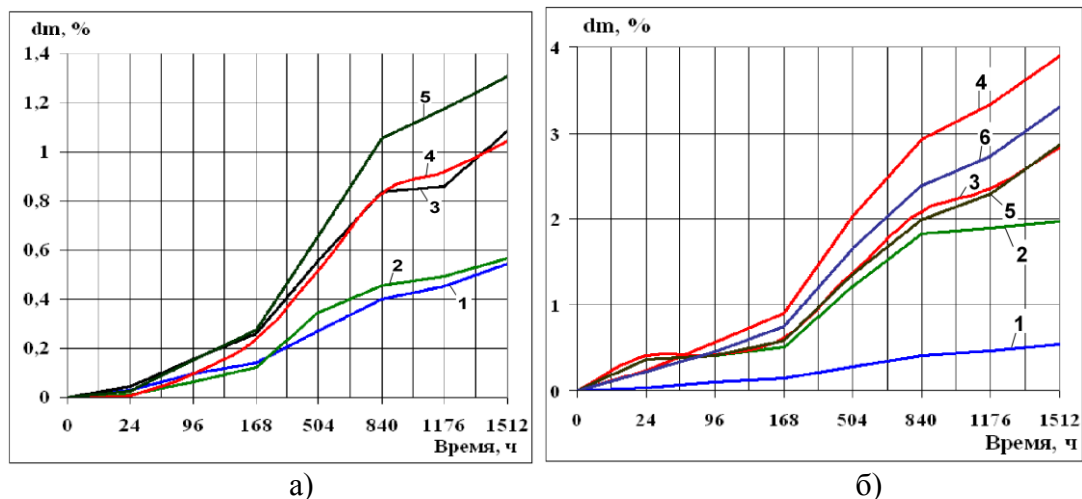


Рисунок 2 – Водостойкость эпоксидных композиций без наполнителей (1), содержащих 10 масс.ч. S-бхк (2), 10 масс.ч. SP-бхк (3), 20 масс.ч. S-пск (4), 20 масс.ч. SP-пск (5) – (а) и 23 масс.ч. МАФ (2), содержащих смесь наполнителей МАФ+S-бхк (3), МАФ+SP-бхк (4), МАФ+ S-пск (5) и МАФ+ SP-пск (6) – (б)

Как видно из представленных данных (рис. 2), водостойкость эпоксидных композиций увеличивается в такой последовательности:

ненаполненная → S-бхк → SP-бхк → S-пск → SP-пск → МАФ → МАФ+ S-пск → МАФ+S-бхк → МАФ+ SP-пск → МАФ+SP-бхк.

При введении МАФ снижаются показатели водо-, кислото- и щелочестойкости ненаполненной композиции, но его введение в композицию обусловлено снижением горючести наполненных эпоксиполимеров. Интеркалированные графиты повышают водостойкость композиции по сравнению с наполненной только МАФ, вероятно, за счет чешуйчатого строения, которое приводит к снижению свободного объема полимера.

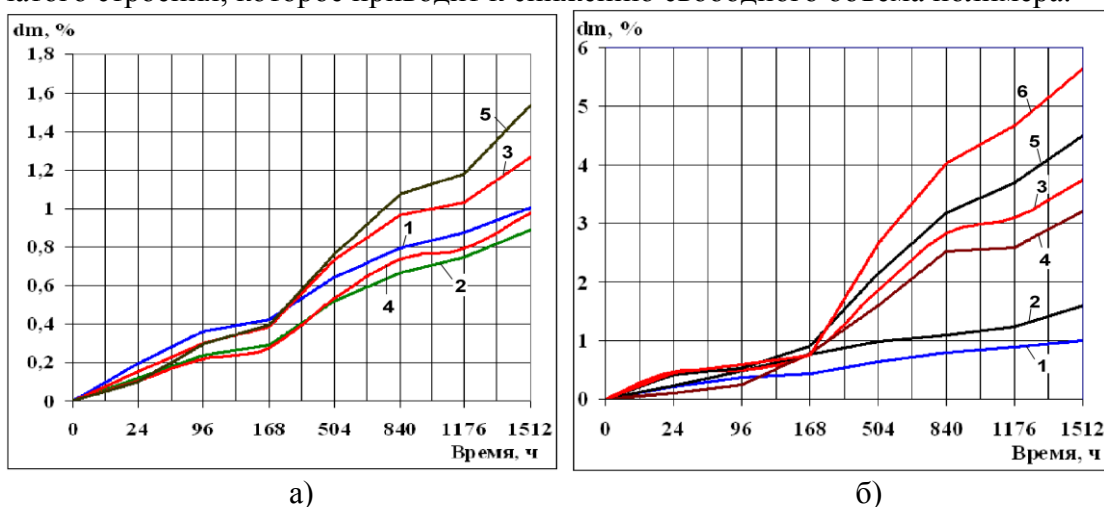


Рисунок 3 – Стойкость эпоксидных композиций к действию 3%-го раствора H₂SO₄: без наполнителей (1), содержащих 10 масс.ч. S-бхк (2), 10 масс.ч. SP-бхк (3), 20 масс.ч. S-пск (4), 20 масс.ч. SP-пск (5) – (а) и 23 масс.ч. МАФ (2), содержащих смесь наполнителей МАФ+S-бхк (3), МАФ+SP-бхк (4), МАФ+ S-пск (5) и МАФ+ SP-пск (6)- (б)

Кислотостойкость повышается в такой последовательности (рис. 3):

S-бхк → S-пск → ненаполненная → SP-бхк → SP-пск → МАФ → МАФ+SP-бхк → МАФ+S-бхк → МАФ+ S-пск → МАФ+ SP-пск.

Введение наполнителей S-бхк и S-пск позволяет увеличить кислотостойкость, однако, введение интеркалированных графитов совместно с МАФ приводит к снижению как водо-, так и кислотостойкости, особенно при добавлении наполнителей - SP-пск и SP-бхк.

Несколько иная картина наблюдается в условиях воздействия на образцы раствора щелочи. Как видно из рис. рис. 4, щелочестойкость увеличивается в следующей последовательности:

ненаполненная → S-бхк → S-пск → SP-бхк → SP-пск → МАФ → МАФ+ SP-пск → МАФ+SP-бхк → МАФ+S-бхк → МАФ+ S-пск.

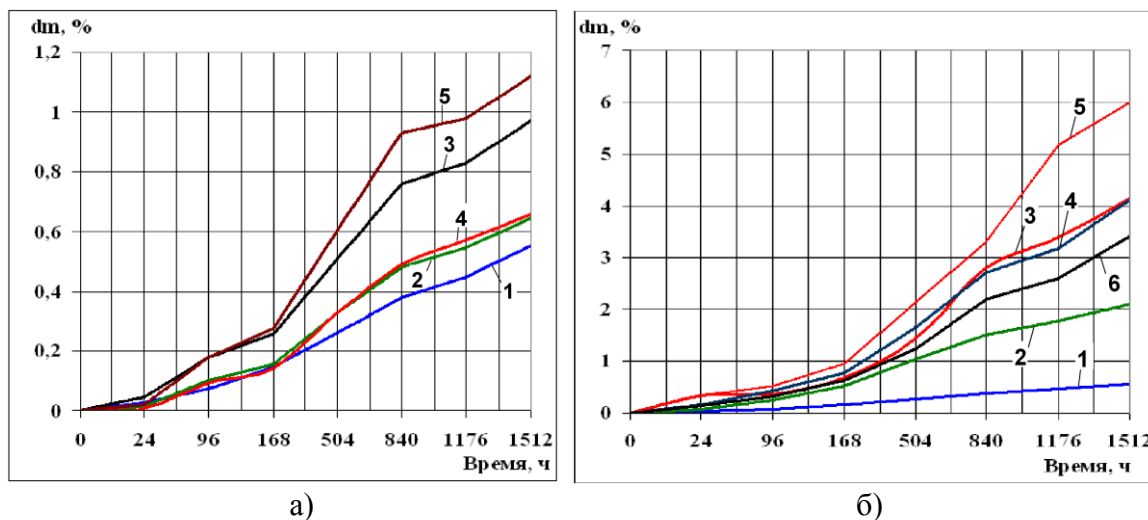


Рисунок 4 – Стойкость эпоксидных композиций к действию 1%-го раствора NaOH: без наполнителей (1), содержащих 10 масс.ч. S-бхк (2), 10 масс.ч. SP-бхк (3), 20 масс.ч. S-пск (4), 20 масс.ч. SP-пск (5) – (а) и содержащих 23 масс.ч. МАФ (2), содержащих смесь наполнителей МАФ+S-бхк (3), МАФ+SP-бхк (4), МАФ+ S-пск (5) и МАФ+ SP-пск (6) – (б)

Введение ко-интеркалированных графитов - SP-бхк и SP-пск совместно с МАФ повышают щелочестойкость эпоксидной композиции по сравнению с наполненной МАФ и интеркалированными графитами - S-бхк и S-пск.

Из композиций наполненных МАФ совместно с графитами наилучшей водостойкостью в течении 1512 часов обладает композиция, содержащая наполнители МАФ+S-пск ($dm=2,66\%$), щелочестойкостью - МАФ+SP-пск ($dm=3,12\%$) и кислотостойкостью - МАФ+SP-бхк ($dm=3,05\%$) Разработанные композиции, в состав которых входит ко-интеркалированный графит, хотя и имеют показатели химстойкости ниже, чем у исходного эпоксиполимера, однако незначительно ухудшают эти показатели и могут быть использованы при атмосферных условиях и в условиях воздействия слабо- и среднеагрессивных сред.

Другие свойства огнезащитных эпоксидных композиций: технологические (жизнеспособность), адгезионно-прочностные (адгезия, твердость, удар и изгиб), а также некоторые показатели пожарной опасности приведены в табл. 3.

Как видно, из таблицы 3, добавляя различные антипирены можно в широком интервале температур варьировать жизнеспособность разработанных эпоксидных композиций низкотемпературного отверждения. Введение в композицию МАФ снижает жизнеспособность, тогда как введение ко-интеркалированных графитов, а также МАФ совместно с SP-пск, позволяет увеличить их жизнеспособность.

При совместном использовании в качестве добавок МАФ и ко-интеркалированных графитов SP-бхк и SP-пск, адгезионная прочность покрытий увеличивается в 1,3 и 1,5 раз,

прочность при ударе – в 10 раз, эластичность при изгибе – в 4 раза, соответственно, по сравнению с исходным эпоксиполимером.

Таблица 2 – Технологические, адгезионно-прочностные свойства и пожароопасность эпоксиполимерных огнезащитных составов

Показатель	Эпоксидный состав			
	Ненаполненный	МАФ	МАФ + SP-бхк	МАФ + SP-пск
Жизнеспособность, мин при температуре				
- 268 К	110-125	75-85	85-90	110-120
- 273 К	90-100	65-75	80-85	100-110
- 286 К	75-85	60-65	70-80	90-100
- 298 К	60-70	50-60	65-70	70-80
Адгезионная прочность к стали Ст.3, МПа	3,77	4,04	5,13	5,74
Твердость покрытия по маятниковому прибору (ГОСТ5233-89), услов. ед.	0,60	0,53	0,25	0,30
Прочность покрытия при ударе (ГОСТ 4765-73), см	5	5	50	50
Эластичность покрытия при изгибе (ГОСТ 6806-73), мм	100	170	25	25
Кислородный индекс, КИ, %	19	28	30	31
Теплота сгорания, ΔH_c , кДж/кг:				
- высшая	32060	27910	27880	27495
- низшая	31590	26460	26130	26595
Температура				
- воспламенения, °С	290	305	265	285
- самовоспламенения, °С	465	545	535	515
Коэффициент дымообразования, D_m , м ² /кг:				
- при тлении	1307,5	965,0	1174,0	1027,0
- при горении	552,6	490,0	526,0	469,0
Показатель токсичности продуктов горения, N_{CL50} , г/м ³				
при 450 °С	65,5	82,5	–	105,6
при 750 °С	86,1	108,6	–	128,3
Потеря массы покрытия, % и группа огнезащитной эффективности	–	–	3,26 (I группа)	3,04 (I группа)

Для всех наполненных антипиренами эпоксиполимеров снижается нижняя теплота сгорания приблизительно в 1,2 раза, коэффициент дымообразования в 1,2 раза, уменьшается температура воспламенения на 50-80 °С по сравнению с ненаполненным эпоксиполимером, при этом величина кислородного индекса увеличивается до 28-32%. Показатель токсичности продуктов горения эпоксиполимера, наполненного МАФ+SP-пск также снижается в 1,5 раза.

Была проведена оценка огнезащитной эффективности разработанных покрытий для древесины и определена потеря массы испытуемых образцов, содержащих МАФ+SP-бхк и МАФ+SP-пск которая составила в среднем 3,26% и 3,04% соответственно, что соответствует I группе огнезащитной эффективности для древесины.

Таким образом, совместное использование МАФ и ко-интеркалированных графитов позволило улучшить многие характеристики пожарной опасности эпоксиполимеров без ухудшения их технологических и эксплуатационных свойств.

Выводы:

1. Установлено, что введение ко-интеркалированных графитов в состав эпоксиполимеров приводит к увеличению температуры стеклования на 8-10 °С и снижению относительной деформации на 1,5-2,5% по сравнению с интеркалированными графитами, по-видимому, за счет увеличения взаимодействия полярных групп полимера с ионами PO_4^{3-} , находящимися на поверхности графитов.

2. Показано, что совместное использование МАФ и ко-интеркалированного графита, полученного в присутствии окислителя – персульфата калия, способствует повышению теплостойкости (температуры стеклования) на 20 °С и уменьшает степень деформирования эпоксидной матрицы в 1,65 раз по сравнению с эпоксиполимером, наполненным МАФ и исходным графитом – ГСМ-2.

3. Разработанные композиции относятся к I группе огнезащитной эффективности для древесины, обладают пониженной горючестью (КИ=30-31), сниженными показателями пожарной опасности: коэффициентом дымообразования при горении (469-526 м²/кг), показателем токсичности (128,3 г/м³), теплотой сгорания (26130-26595 кДж/кг); при этом увеличиваются их жизнеспособность до 70-80 мин. при 25 °С, адгезионно-прочностные свойства в 1,3-1,5 раз и остается на уровне стойкость к воздействию среднеагрессивных сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования / В. Страхов, А. Гаращенко // Строительные материалы. – 2002. – №6. – С.2-5.
2. 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.
3. Яковлева Р.А. Влияние коинтеркалированных соединений графита на показатели огнезащитных свойств вспучивающихся огнезащитных композиций / Р.А. Яковлева, Е.Ю. Спирина, Ю.В. Попов, Саенко Н.В., Р.А. Быков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, – 2010. – Вип. 59. – С. 259-263.
4. 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.
5. Макаров В.Г. Влияние дисперсных наполнителей на свойства эпоксидных композиций / В.Г. Макаров, В.И. Помещиков, Р.М. Синельникова // Химия и химическая технология. – 2000. – Т.43, вып. 5. – С. 117-120.
6. Тризно М.С. К методике определения плотности сшивки эпоксиполимеров термомеханическим методом / [М.С. Тризно, Ю.П. Беляев, Д.С. Вашевко и др.] // Химическая технология, свойства и применение пластмасс. – Л.: изд. ЛТИ им. Ленсовета, 1979. – С. 92 – 97.
7. Заиков Г.Е. Международная конференция по замедлению процессов горения полимерных материалов / Г.Е. Заиков // Высокомолекулярные соединения. – 1995. – №2. – С. 364 – 366.
8. Защита строительных конструкций от коррозии: СНиП 2.03.11-85. – [Введ. 01.01.86]. – М.: Стройиздат, 1985 – 81с.

УДК 159.91:654.071.004.15(048)

П.В.Теслюк, к. психол. н., доц.,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ВПЛИВ ОСОБИСТІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАЧАЛЬНИКІВ КАРАУЛІВ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НА ПРОЦЕС ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Робота в складних і відповідальних ситуаціях передбачає наявність у начальника караулу ОРС цивільного захисту МНС України умінь швидко оцінити обстановку і ухвалити правильне рішення. Поєднання високих показників рівня інтелектуального розвитку та емоційно-психологічної стійкості начальників караулу є необхідною передумовою ухвалення ними ефективних рішень у ризиконебезпечних ситуаціях службової діяльності.

Ключові слова: рішення, стрес-чинник, експертна оцінка, кореляційний аналіз.

Постановка проблеми. Складність завдань, виконуваних начальниками караулів ОРС цивільного захисту МНС України, екстремальний характер їх професійної діяльності пов'язані з необхідністю прийняття ефективних управлінських рішень. Згідно з даними психологічних досліджень, понад 30 % рішень середнього начальницького складу у ситуаціях службової діяльності, не пов'язаних з екстремальними умовами, і до 87 % - в екстремальних ситуаціях є недостатньо ефективними. При цьому в умовах реального виконання оперативно-службових завдань переважають саме екстремальні ситуації. Опосередкованою ілюстрацією актуальності даної проблеми можуть служити обставини трагічної загибелі Президента Польщі Л. Качинського в авіакатастрофі біля міста Смоленськ. Як показали дані розслідування обставин падіння літака, саме *неправильне рішення* командира екіпажу стало основною причиною трагедії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Психологічні проблеми ухвалення рішень в процесі управлінської діяльності вивчалися в роботах П.К. Анохіна, В.Г. Афанасьєва, Г.Я. Гольдштейна, Л.М. Карамушки, А.В. Карпова, Б.Ф. Ломова, Л.Е. Орбан-Лембрик та інших дослідників. Низка вчених і практиків, серед яких О.С. Анісімов, Г.С. Грибенюк, В.Ф. Дружинін, Я.В. Подоляк, Д. Рейнхард, О.Д. Сафін, А.М. Тарасов, О.В. Тимченко та ін., докладно розглядали у своїх роботах технологічні аспекти управлінської діяльності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Разом з тим, проблематику психологічних особливостей прийняття ефективних рішень у конкретних умовах оперативно-службової діяльності начальників караулів ОРС цивільного захисту, вплив їх особистісних властивостей на процес прийняття рішень, розроблено недостатньо.

Постановка завдання. На основі аналізу особливостей професійної діяльності начальників караулів ОРС цивільного захисту визначити психологічні фактори прийняття ними ефективних рішень, а також розкрити роль особистісних властивостей начальників караулів у цьому процесі.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Процес прийняття рішень представляє собою свідомий вибір серед наявних альтернатив діяльності. З інформаційної точки зору рішення є результатом обробки інформації, у ході якої здійснюється вибір серед можливих варіантів найбільш близького до оптимального, тобто найкращого. Даний процес включає в себе багато різних складових, але обов'язково в ньому присутні такі елементи, як проблеми, цілі, альтернативи.

У широкому розумінні процес прийняття рішень включає підготовку рішення (планування). У рамках перспективного планування приймаються стратегічні рішення (що робити?), потім у процесі поточного планування, організації, координації, регулювання, зміни планів – рішення у вузькому розумінні (як робити?), хоча така межа є умовною. На практиці процес прийняття рішення опосередковується термінами, недоліками кваліфікації чи недостатністю інформації для рішення, суперечками між особами, що ухвалюють рішення.

Всі види рішень класифікував відомий фахівець у галузі управління Г.Я. Гольдштейн за наступними ознаками [1]:

- за об'єктом рішення (орієнтовані на цілі або засоби, фундаментальні структурні або ситуаційні);
- за надійністю початкової інформації (на основі надійної інформації, ризиковані і ненадійні);
- за термінами дії наслідків (довго-, середньо-, короткотермінові);
- за зв'язком з ієрархією планування (стратегічні, тактичні, оперативні);
- за частотою повторюваності (випадкові, повторювані);
- за масштабом діяльності (масштабні, вузькоспеціалізовані);
- за кількістю рішень в процесі їх прийняття (статичні, динамічні, одно і багатоетапні);
- за кількістю осіб, що приймають рішення (одноосібні, групові, з боку керівників, з боку виконавців);
- з врахуванням зміни даних (жорсткі, мінливі);
- за мірою незалежності (автономні, доповнюючі);
- за складністю (прості і складні).

Слід враховувати наступні закономірності прийняття рішень: процес ухвалення рішення тим більше індивідуальний, чим складніше рішення; обмежений обсяг інформації обмежує раціональність рішення, зростає роль інтуїції; попередні установки щодо альтернатив впливають на вибір рішення; прагнення до оптимального рішення знижується, якщо є задовольняюче рішення; особи, які приймають рішення, різним чином втручаються в структуру і процес ухвалення рішень, впливаючи, таким чином, на їх якість.

Згідно Закону України «Про правові засади цивільного захисту» Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту – це спеціальне воєнізоване формування, на яке покладається захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного, природного і військового характеру, участь у заходах територіальної оборони, а також міжнародних рятувальних та інших гуманітарних операціях [4].

У Довіднику кваліфікаційних характеристик професій працівників МНС України зазначається, що начальник караулу ОРС цивільного захисту здійснює керівництво діяльністю підрозділу. Забезпечує підтримання постійної бойової готовності караулу. Оцінює становище до прибуття старшого начальника, визначає головний напрямок дій особового складу караулу. Керує особовим складом караулу на всіх етапах бойових дій щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. У разі відсутності старшого начальника виконує його функції під час ліквідації надзвичайної ситуації тощо [2].

Виключно високі вимоги до прийняття рішення начальником караулу ОРС цивільного захисту пред'являє бойова обстановка на пожежі. Для успішного керівництва особовим складом йому необхідні ґрунтовні знання пожежної справи, уміння застосовувати їх на практиці. Він повинен володіти високими морально-бойовими і психологічними якостями [5].

Начальник караулу несе відповідальність за організацію рятувальних робіт і дій по гасінню пожежі на рівні ввіреного йому підрозділу, безпеку особового складу, збереження техніки і пожежного устаткування. Успіх гасіння пожежі багато в чому залежить від правильної оцінки фахівцем обстановки і ухвалених ним рішень. Оцінка обстановки включає осмислення бойових чинників, що сприяють або перешкоджають розвитку пожежі.

Начальник караулу ОРС зобов'язаний оцінити обстановку на пожежі; визначити вирішальний напрям, способи і прийоми бойових дій; ухвалити рішення і поставити бойові завдання перед підлеглими, організувати їх взаємодію і забезпечити виконання поставлених завдань; безперервно стежити за змінами обстановки на пожежі і ухвалювати відповідні рішення. В ході розвідки начальник караулу повинен встановити наявність загрози людям, їх місцезнаходження, шляхи і способи порятунку; місце і розмір пожежі, шляхи розповсюдження вогню; рівень небезпеки вибуху, отруєння, обвалення, наявність легкозаймистих і отруйних речовин, електроустановок і електромережі під напругою; необхідність евакуації майна і матеріалів, а також захисту їх від вогню, води і диму; необхідність і місця розкриття і розбирання конструкцій будівлі; можливі шляхи і напрями введення сил і засобів. Такий далеко не повний перелік обов'язків начальника караулу ОРС цивільного захисту на пожежі.

Робота в складних, відповідальних і несподіваних ситуаціях вимагає наявності у начальника караулу високорозвинутого самовладання, уміння протистояти дії різних об'єктивних і суб'єктивних стрес-чинників, здібності швидко оцінити обстановку і ухвалити правильне рішення. В безперервно змінних умовах гасіння пожежі важливу роль грають емоційно-вольові якості начальника караулу, що виражаються в його умінні в потрібний момент зберігати високу працездатність і, не гублячись, знаходити вихід зі скрутних умов.

У момент виконання службової діяльності, пов'язаної з впливом на начальника караулу стрес-факторів підвищеної інтенсивності, у нього формуються певні емоційні стани, що носять найчастіше динамічний характер та багато в чому визначають особливості прийняття рішень.

Емоційна напруга, яка виникає у відповідь на стрес-впливи і суб'єктивно переживається працівниками як негативний емоційний стан, може принципово змінювати характер рішень, що приймаються, і форми поведінки начальників караулу в умовах надзвичайної ситуації [3].

Одним із найважливіших психологічних факторів забезпечення професійної надійності, що проявляється, зокрема, в процесі прийняття рішень, є стійка поведінка начальників караулу в умовах стресу.

Спроби встановити критерії розподілу людей на стійких і нестійких до впливу стресу робилися багатьма дослідниками. Г.Сельє активну і пасивну поведінку при стресі пов'язував з індивідуальними гормональними розходженнями [6]. Згідно В.О.Файвишевському, розходження у сприйнятті однієї і тієї самої стресогенної ситуації різними людьми обумовлені різним балансом збуджуваності систем позитивної і негативної мотивації. Р.Лазарусом було доведено, що в особи з високим рівнем нейротизму оцінка власних ресурсів піддається значному перекручуванню, у той час як емоційно стійкі індивіди сприймають стресогенні події як виклик, потребу і прагнення їх активно переборювати.

Найчастіше для встановлення стресоусталеності людини використовують універсальну закономірність, що відбиває взаємозв'язок інтенсивності стресу, ступеня активізації нервової системи й ефективності діяльності. Ця закономірність полягає у тому, що зі зростанням активізації нервової системи до певного критичного рівня ефективність діяльності підвищується. Подальша активізація нервової системи в умовах впливу стресу, що продовжується, призводить до зниження показників діяльності, зокрема ефективності рішень, що приймаються.

Виходячи з гіпотези дослідження про те, що поєднання високих показників рівня інтелектуального розвитку та емоційно-психологічної стійкості начальників караулу ОРС цивільного захисту є необхідною передумовою ухвалення ними ефективних рішень у ризиконебезпечних ситуаціях службової діяльності, нами було проведено емпіричне дослідження ролі особистісних властивостей даної категорії працівників в процесі прийняття рішень.

Як відомо, оцінка стану готовності до дій в екстремальних ситуаціях робиться із врахуванням їх специфіки. Рівні умови виміру актуалізованої професійної майстерності начальників караулу забезпечувались завдяки тому, що предметом розгляду була діяльність начальників караулу під час ліквідації пожеж у житлових будинках.

У дослідженні взяли участь 14 начальників караулу різних пожежно – рятувальних підрозділів ГУ МНС України в АР Крим.

На першому етапі дослідження за допомогою методу експертних оцінок визначався рівень професійної майстерності начальників караулу, що проявлявся в ухвалюваних ними рішеннях під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Критеріями адекватності рішень виступали успішність виконання завдань з ліквідації пожеж у житлових будинках, витрачений час, відсутність фізичних та психологічних втрат серед особового складу караулу, морально – психологічний клімат у підрозділі.

До участі в дослідженні залучалися дві групи експертів. Перша складалася з начальників пожежно – рятувальних частин, в структуру яких входять відповідні караули. Друга – з бійців караулів. Їх ми просили оцінити адекватність рішень начальників караулів під час ліквідації пожеж за 12 – бальною шкалою.

Підсумковий бал щодо кожного учасника визначався як середнє арифметичне оцінок, отриманих від усіх експертів.

Таким чином, було проведено порядкове вимірювання змінної «адекватність рішень начальників караулу» і, крім цього, отримана можливість співставлення оцінок двох груп експертів.

На другому етапі дослідження за допомогою тестових методик визначалися вольові якості начальників караулу і рівень їх інтелектуального розвитку. Були використані наступні методики:

1. Методика дослідження вольової саморегуляції (тест-опитувальник Є.В.Ейдмана).
2. Опитувальник Т.В.Корнілової «Особистісні фактори ухвалення рішень».
3. Культурно – вільний тест на інтелект (CFIT) Р. Кетгела.

Методика Є.В.Ейдмана дозволяє оцінити міру опанування особистою поведінкою в різноманітних ситуаціях, здатність свідомо керувати своїми діями, бажаннями і станами. Рівень розвитку вольової саморегуляції може бути охарактеризовано в цілому й окремо за такими властивостями характеру, як наполегливість та самовладання.

Високий бал за шкалою вольової саморегуляції властивий емоційно зрілим, активним, незалежним, самостійним особам. Їх відрізняє спокій, упевненість у собі, стійкість намірів, реалістичність поглядів, розвинене почуття особистого обов'язку. Як правило, вони добре рефлексують особисті мотиви, планомірно втілюють власні наміри, вміють розподіляти зусилля і здатні контролювати свої вчинки, володіють вираженою соціально позитивною спрямованістю. В екстремальних ситуаціях у них можливе нарощування внутрішньої напруги, пов'язаної з прагненням контролювати кожен нюанс власної поведінки і з тривожністю з приводу найменшої її спонтанності.

Низький бал спостерігається у людей чутливих, емоційно нестійких, вразливих, невпевнених у собі. Рефлексивність у них невисока, а загальний фон активності, як правило, занижений. Їм властива імпульсивність і нестійкість намірів.

Опитувальник Т.В.Корнілової дозволяє визначити схильність до ризику і раціональність (емоційну стійкість) при ухваленні рішень.

Схильність до ризику часто породжується і супроводжується неадекватною самооцінкою і не завжди сприяє професійній діяльності. Проте якщо остання включає прийняття відповідальних рішень, то вона значною мірою регулюється «ставленням до ризику». В експериментальних дослідженнях виявлено зв'язок ставлення до ризику з успішністю професійної діяльності. В усіх випадках несприятливими є крайні значення вираженості цієї властивості. Високі оцінки означають, що діяльність професіонала детермінується потребами афективного плану; типовими при цьому є недооцінка вимог ситуації і переоцінка власних можливостей. Низькі оцінки пов'язані з острахом прийняття рішень, повільністю і пасивністю. В обох випадках порушеним є імовірнісне прогнозування у діяльності. Результат – суттєве зниження загальної ефективності.

Емоційна стійкість і раціональність як здатність зберегти оптимальні показники діяльності під впливом емоційних факторів залежить від індивідуально-психологічних

властивостей. Саме показники за шкалою «раціональність при ухваленні рішень» враховувались у подальшому статистичному аналізі.

Культурно – вільний тест на інтелект (CFIT) Р. Кеттела призначений для вимірювання рівня інтелектуального розвитку дорослих незалежно від впливу факторів оточуючого середовища (культури, освіти і т. ін.).

Тестові оцінки представляють собою результат порядкового вимірювання, що дозволило нам застосувати коефіцієнт рангової кореляції Спірмана для оцінки наявності кореляційного зв'язку між показниками когнітивних властивостей і емоційно-психологічної стійкості начальників караулу та рівнем їх професійної майстерності, що проявлявся в ухвалюваних рішеннях під час ліквідації надзвичайних ситуацій.

Проведені обчислення дозволяють констатувати наступне.

По – перше, не вдалося виявити статистично значимого кореляційного зв'язку між оцінками двох груп експертів ($r = 0,52$; $P > 0,05$). Це вказує на те, що керівництво і підлеглі по-різному інтерпретують адекватність рішень начальників караулу, ухвалюваних під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Цілком виправдане рішення для підлеглого може не видаватися таким для керівництва і навпаки.

По – друге, кореляційний зв'язок між показниками експертних оцінок адекватності рішень начальників караулу, ухвалюваних під час ліквідації надзвичайних ситуацій (загальна середня експертна оцінка), і результатами дослідження емоційно – вольових якостей начальників караулу та рівня їх інтелектуального розвитку (середній ранг результатів тестування) є статистично достовірним ($r = 0,78$; $P < 0,05$).

Висновки. Потенціал адекватності управлінських рішень начальників караулу ОРС цивільного захисту МНС України залежить від предметно-практичної специфіки екстремальних ситуацій. Серед психологічних чинників, які визначають ефективність рішень, що ухвалюються начальником караулу, єдності інтелектуальних і емоційно-вольових властивостей працівника належить вирішальна роль. При цьому особливою значимістю відзначаються такі особистісні властивості начальника караулу, як емоційна стійкість і раціональність як здатність зберегти оптимальні показники діяльності під впливом емоційних факторів, активність, незалежність, упевненість у собі, розвинене почуття особистого обов'язку, виражена соціально позитивна спрямованість.

Перспективи подальших досліджень. Все вищезазначене, на нашу думку, повинно визначати особливості психологічної підготовки начальника караулу, яка полягає в розвитку якостей, що мають для нього першорядне значення, зокрема командирського мислення і уміння ухвалювати в екстремальних умовах правильне рішення. Для розвитку здібностей начальника караулу оцінювати обстановку, ухвалювати адекватні рішення, виховання вольових якостей, уміння управляти своєю поведінкою і поведінкою підлеглих заняття, очевидно, повинні проводитись в умовах, максимально наближених до бойових. Для цих цілей можуть служити полігони, де необхідно створювати складну учбову обстановку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гольдштейн Г.Я. Основы менеджмента / Г.Я. Гольдштейн. - М.: Прогресс, 1998. – 224 с.
2. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників МНС України / [Мельник С.А., Юров Ю.В., Гонтар В.В. та ін.] – К. : ТОВ «Август трейд», 2007. – 356с.
3. Екстремальна психологія / [О.П. Євсюков, А.С. Куфлієвський, Д.В.Лебедев та ін.; ред. О.В.Тімченка]. – К. : ТОВ «Август трейд», 2007. – 502 с.
4. Закон України «Про правові засади цивільного захисту». – К.: ТОВ «Август трейд», 2004. – 52 с.
5. Самонов А.П. Психология для пожарных. Психологические основы подготовки пожарных к деятельности в экстремальных условиях / А.П. Самонов. — Пермь : Звезда, 1999. - 600 с.
6. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М.: Прогресс, 1979. – 238 с.

УДК 614.8

Е.А.Тищенко, к.т.н., АПБ им. Героев Чернобыля,
О.Е. Безуглов, Ю.А. Абрамов, д.т.н., проф., НУГЗУ

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Проведен анализ применительно к времени срабатывания и постоянной времени чувствительного элемента тепловых пожарных извещателей.

Ключевые слова: пожарный извещатель, постоянная времени, время срабатывания.

Временные характеристики тепловых пожарных извещателей (ТПИ) отражают инерционные свойства этих элементов систем раннего обнаружения пожара, а следовательно, определяют эффективность его обнаружения. К числу временных характеристик ТПИ относятся: величина постоянной времени чувствительного элемента извещателя и время срабатывания пожарного извещателя.

В первом приближении все чувствительные элементы ТПИ, независимо от физических явлений или эффектов, положенных в основу их построения, описываются передаточной функцией вида [1]

$$W(p) = (\tau p + 1)^{-1}, \quad (1)$$

где τ – постоянная времени.

Вследствие того, что пороговое устройство ТПИ представляет собой нелинейный элемент, свойства которого определяются его статической характеристикой, то время срабатывания ТПИ есть решение трансцендентного уравнения [2]

$$\theta(t_c) = L^{-1}[W(p)\theta(p)]_{t=t_c} = \theta_c, \quad (2)$$

где L^{-1} – оператор обратного интегрального преобразования Лапласа; $\theta(p)$ – изображение по Лапласу входного воздействия; t – время срабатывания; θ_c – температура срабатывания.

В стандарте ДСТУ EN 54-3: 2003 при определении временной характеристики t_c используется входной воздействие следующего вида

$$\theta(t) = \theta_0 + at, \quad (3)$$

где θ_0 – начальное значение температуры или нормальная температура использования; a – скорость изменения температуры.

Тогда с учетом (1), (3) уравнение (2) трансформируется следующим образом

$$\begin{aligned} \theta_c &= L^{-1}\left[(\tau p + 1)^{-1}(\theta_0 p + a)p^{-2}\right]_{t=t_c} = \\ &= \theta_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t_c}{\tau}\right)\right) + a \left(t_c - \tau + \tau \exp\left(-\frac{t_c}{\tau}\right)\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Из этого следует, что время срабатывания ТПИ определяется характером входного воздействия и его динамическими свойствами и зависит от температуры срабатывания θ_c , от начальной температуры θ_0 , от скорости изменения температуры a , а также от постоянной времени τ , т.е.

$$t_c = t_c(\theta_c, \theta_0, a, \tau). \quad (5)$$

В [1] с использованием методов теории планирования эксперимента получены регрессионные модели для (5) при условии, что $\theta_0 = 25^\circ\text{C}$; $\theta_c = (54, 99, 160)^\circ\text{C}$; $a = (0,017, 0,167, 0,5)^\circ\text{C}/\text{c}$; $\tau = (10, 45, 80)\text{c}$. В частности, для $\theta_0 = 25^\circ\text{C}$, $\theta_c = 54^\circ\text{C}$ и $a = 0,017^\circ\text{C}/\text{c}$ время срабатывания ТПИ определяется выражениями

$$t_c = 1739,9 - 316,9x_1 - 387,9x_2 + 803,9x_3 - 176,9x_2x_3, \quad (6)$$

если $\tau = 10\text{ c}$;

$$t_c = 1829,5 - 386,5x_1 - 436,8x_2 + 829,9x_3 + 116,5x_2^2 + 98,2x_1x_2 - 210x_1x_3, \quad (7)$$

если $\tau = 45\text{ c}$,

где x_i – кодированные переменные ($i=1$ соответствует переменной θ_0 , $i=2$ – соответствует переменной a , $i=3$ – соответствует переменной θ_c , $i=4$ – соответствует переменной τ).

При $a = 0,167^\circ\text{C}/\text{c}$ и остальных аналогичных значениях параметров выражения (6) и (7) принимают вид

$$t_c = 191,8 - 38,9x_1 - 46,7x_2 + 84,4x_3 + 2,6x_4 + 12,1x_2^2 + 9,6x_1x_2 - 21,4x_1x_3; \quad (8)$$

$$t_c = 224,6 - 40,9x_1 - 47,1x_2 + 85,9x_3 + 9,9x_4 + 11,9x_2^2 + 9,1x_1x_2 - 20,9x_2x_4, \quad (9)$$

а при $a = 0,5^\circ\text{C}/\text{c}$ трансформируется следующим образом

$$t_c = 70,6 - 13,1x_1 - 15,8x_2 + 28,4x_3 + 2,5x_4 + 4,1x_2^2 + 2,9x_1x_2 - 7,0x_2x_3; \quad (10)$$

$$t_c = 98,5 - 15,2x_1 - 17,2x_2 + 32,5x_3 + 7,9x_4 + 4,2x_2^2 - 1,8x_3^2 + 2,7x_1x_2 + 2,1x_1x_3 - 0,9x_1x_4 - 6,9x_2x_3 + 1,1x_3x_4. \quad (11)$$

Анализ этих зависимостей свидетельствует о том, что с увеличением скорости изменения температуры возрастает влияние динамического параметра чувствительного

елемента ТПИ на время срабатывания извещателя. Это влияние возрастает с увеличением инерционности чувствительного элемента извещателя. Например, увеличение параметра a с $0,017 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ до $0,167 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ для $\tau=10\text{ с}$ приводит к тому, что вклад величины динамического параметра в величину времени срабатывания составляет около 1,5%, а для $\tau=45\text{ с}$ – 4,4%. Если $a=0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$, то при тех же условиях этот вклад соответственно равен 3,6% и 8,2%. Эти оценки получены для условий, когда переменные в (5) варьируются в пределах 25% относительно их номинальных значений [3].

В [4] показано, что минимальными значениями динамического параметра τ обладают чувствительные элементы, реализованные с использованием термоэлектрического или терморезистивного эффектов. Динамический параметр – постоянная времени чувствительного элемента ТПИ определяется рядом физических параметров. В частности, постоянная времени терморезистивного чувствительного элемента определяется выражением [3, 4]

$$\tau = R^2 (a\mu_1^2)^{-1}, \quad (12)$$

где R – радиус цилиндрического чувствительного элемента; a – коэффициент температуропроводности материала чувствительного элемента; μ_1 – первый корень трансцендентного уравнения

$$\mu J'_0(\mu) + Bi J_0(\mu) = 0, \quad (13)$$

$Bi = hR$ – число Био; h – относительный коэффициент конвективного теплообмена; $J_0(\mu)$ – функция Бесселя нулевого порядка.

Для корня μ_1 получена регрессионная зависимость

$$\mu_1 = \sum_{n=0}^4 a_n (Bi)^n, \quad Bi \leq 0,2, \quad (14)$$

где $a_0 = 0,81$; $a_1 = 6,33$; $a_2 = -44,43$; $a_3 = 210,08$; $a_4 = -393,48$.

На рис. 1 приведена зависимость $\tau R^{-1} = f(Bi, a)$. Из анализа этой зависимости следует, что для $Bi \leq 0,2$ и наиболее характерных материалов чувствительного элемента ТПИ относительная величина его постоянной времени может изменяться примерно на порядок.

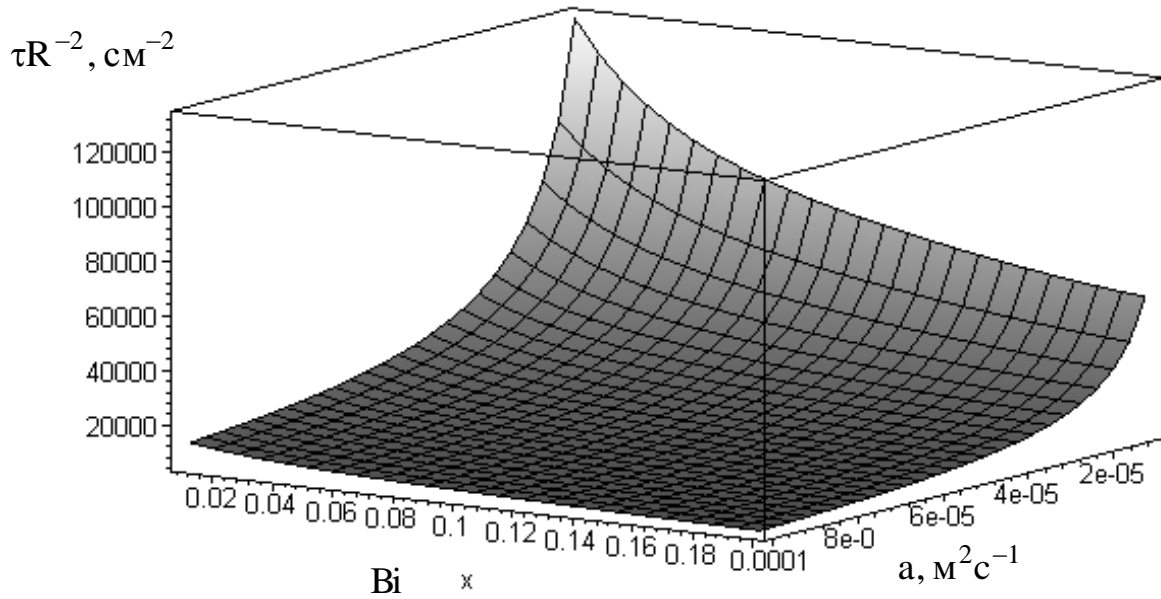


Рисунок 1 - Зависимость $\tau R^{-2} = f(Bi, a)$

Следует отметить, что величина постоянной времени чувствительного элемента ТПИ используется для нормирования времени его срабатывания, значение которого определяется при испытаниях согласно ДСТУ EN-54: 2003. Однако определение величины постоянной времени чувствительного элемента извещателя при его испытаниях не предусмотрено ни одним нормативным документом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ю.А. Точечные тепловые пожарные извещатели максимального типа / Ю.А. Абрамов, Е.В. Куринный. – Х. : АГЗУ, 2005. – 124 с.
2. Абрамов Ю.А. основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х. : ХИПБ, 1993. – 288 с.
3. Куринный Е.В. Определение времени срабатывания точечных тепловых пожарных извещателей максимального типа: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Е.В. Куринный– Харьков, 2004. – 189 с.
4. Гвоздь В.М. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / В.М. Гвоздь– Черкассы, 2005. – 181 с.

УДК 336.02:614.84

І.П.Частоколенко, к.е.н., доц., П.П.Частоколенко, доц.,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ПРО ВПЛИВ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ НА РИЗИК БАНКРУТСТВА СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У роботі розглянуто питання місця пожежного ризику в системі забезпечення стійкого функціонування підприємства; досліджений взаємозв'язок між комплексними заходами щодо забезпечення пожежної безпеки, пожежним ризиком та фінансово-економічними коефіцієнтами; розглянуто поняття економічної стійкості суб'єкта господарської діяльності.

Ключові слова: фінансово-економічні показники, економічна стійкість, пожежний ризик, банкрутство, пожежна безпека, збитки, економічна безпека

Постановка проблеми.

Аналіз динаміки зростання пожеж за останні роки переконує, що, незважаючи на досягнуті в деяких країнах світу успіхи по зменшенню кількості пожеж, вони продовжують завдавати серйозної шкоди світовій економіці. Пожежі стали серйозною проблемою для багатьох країн світу. З кожним роком збільшується їх негативний вплив на економіку та екологію, вони все частіше загрожують життю і здоров'ю людей.

Забезпечення протипожежного захисту народного господарства з кожним роком стає усе більш важливим не тільки для вирішення вузлових проблем економіки, але і для вирішення багатьох соціальних і екологічних питань [1]. В умовах високого пожежного ризику, зокрема в нашій країні, в результаті збільшення матеріальних збитків від пожеж, актуальним є дослідження питання впливу пожежного ризику на ризик банкрутства суб'єкта господарської діяльності (СГД)[2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питаннями забезпечення пожежної безпеки (ПБ) підприємств, аналізом впливу наслідків пожеж на результати господарської діяльності займалися дослідники М.М. Брушлинський, В.В. Горяєв, О.Л. Герасимов, М.Г. Топольский, які розглядали окремі питання методології визначення втрат від пожеж, проводили обґрунтування витрат на проведення протипожежних заходів.

Питання пожежних ризиків досліджували такі вчені як Ю.М. Глуховенко, Д.М. Гордієнко, Ю.І. Дешевих, В.М. Єсін, В.Б. Коробко, Ю.М. Шебеко.

Висвітленням питань економічної безпеки території та їх стійкого розвитку займалися вчені Недін І.В., Татаркін О.І., Львов Д.С.

Формування цілей статті.

Виходячи з необхідності розгляду питання забезпечення стійкого функціонування господарської діяльності СГД на основі мінімізації пожежного ризику, робота ставить за мету: вивчення ролі і місця пожежного ризику в системі забезпечення стійкого функціонування підприємства; розгляд змісту категорії економічної стійкості СГД; дослідження взаємозв'язку між комплексними заходами щодо забезпечення пожежної безпеки, пожежним ризиком та фінансово-економічними коефіцієнтами.

Викладення основного матеріалу.

Щорічно в Україні виникає більше 40 тисяч пожеж, на яких гине близько 3000 людей, зокрема біля 100 дітей. Так, у 2010 році зареєстровано 62207 пожеж, прямий збиток від яких склав більше 665 млн. грн. Унаслідок пожеж загинуло 2819 людей, зокрема 95 дітей і підлітків. Знищено або пошкоджено 22 284 будівель і споруд, а також 3045 одиниць техніки.

Щоденно в 2010 році в Україні, в середньому, виникало 170 пожеж, матеріальні втрати від яких склали 2 млрд. 310 тис. грн. Кожною пожежею державі наносились прямі збитки в середньому на суму 10,7 тис. грн.

Пожежі в Україні виникають на підприємствах різних форм власності та різного призначення і розподілилися у 2010 р. таким чином: споруди виробничого призначення – 440 пожеж; торговельно-складські споруди – 888; соціально-культурні, громадські та адміністративні споруди – 471; тваринницькі будівлі – 33; інші сільськогосподарські об'єкти – 111; споруди житлового сектору – 49318; інші об'єкти – 10946.

Головними причинами виникнення пожеж протягом 2010 року залишалися: необережне поводження з вогнем (38799 пожеж, або 62,4%), порушення правил пожежної безпеки під час влаштування та експлуатації електроустановок (11691, або 18,8%) і порушення правил пожежної безпеки під час влаштування та експлуатації печей, теплогенеруючих агрегатів та установок (4176, або 6,7%).

За даними статистики України в АР Крим, областях, Києві і Севастополі у 2010 році кількість пожеж проти 2009 року збільшилася на 41,3 % [3].

Головною причиною пожеж в приватному секторі економіки залишається низький рівень фінансових ресурсів, які виділяються власниками на проведення попереджувальних заходів в сфері ПБ. Це обумовлено тим, що власники підприємств не зацікавлені в додаткових витратах, пов'язаних з фінансуванням заходів в області ПБ. Вилучення фінансових ресурсів з обороту підприємств на ПБ знижує їх інвестиційні можливості, фінансування оборотних засобів, фінансову стійкість та ін. особливо це відображується на підприємствах дрібного та середнього бізнесу, де проблема їх функціонування тісно пов'язана з їх фінансовим забезпеченням. Таким чином, утворюється замкнене коло: приватний власник економить на ПБ і створює загрозу економічній безпеці свого бізнесу, оскільки об'єктом негативного впливу пожежі є засоби і предмети праці, частина яких знищується пожежею або втрачає працездатність. Знищення пожежею предметів праці призводить до простою засобів праці і недовипуску продукції. Знищення частини засобів праці знижує виробничу потужність і може призвести до скорочення об'єму виробництва і, як наслідок, до застосування замовниками штрафних санкцій за порушення договірних зобов'язань. Для відновлення засобів і предметів праці необхідні час і додаткові витрати. Додаткові витрати на відновлення працездатності об'єкту викликають підвищення витрат виробництва, погіршення фінансового стану об'єкту. Таким чином, наслідки пожежі впливають на всі основні показники економічної безпеки СГД і можуть призвести до його банкрутства, що являє собою неспроможність боржника платити по своїх зобов'язаннях [4].

Стан економічної стійкості підприємства характеризується ступенем його прибутковості та оборотності капіталу, фінансової стійкості та джерелами фінансування, здатністю розраховуватися за борговими зобов'язаннями.

Під економічною стійкістю СГД слід розуміти його здатність протидіяти загрози банкрутства. Реалізація даної здатності можлива за умов беззбиткової виробничо-господарської діяльності СГД, яка дозволяє накопичувати фінансові ресурси, які в перспективі можуть бути направлені на підвищення конкурентоспроможності основних виробничих фондів [5].

Забезпечення економічної стійкості підприємства являє собою сукупність мір і засобів, а також створення умов, що сприяють підтримці значення економічної стійкості підприємства на заданому рівні і запобіганню її зниженню в умовах підвищеного пожежного ризику.

Для визначення ефективності роботи СГД (з урахуванням можливості виникнення пожежі) застосовують розрахунок фінансових коефіцієнтів, отримані значення яких порівнюють з нормативними величинами або тими, які вважаються граничними значеннями. Для аналізу фінансової спроможності підприємства необхідно вибрати найбільш суттєві коефіцієнти, які дають найбільш повне уявлення про фінансово-економічний стан підприємства. Данні коефіцієнти використовуються в якості індикаторів рівня економічної стійкості [6,7].

Методика розрахунку основних фінансово-економічних показників підприємства згідно існуючої форми балансу приведена згідно наказу від 19.01.2006 №14 «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо виявлення ознак неплатоспроможності підприємства та ознак дій з приховування банкрутства, фіктивного банкрутства чи доведення до банкрутства» в табл. 1,2,3.

В таблиці 2 приведені умовні скорочення рядків балансу підприємства, які використовуються в розрахункових формулах для кожного коефіцієнта, приведених в табл.1.

Таблиця 1 – Формули розрахунку показників фінансової стабільності підприємств

Показник	Формула розрахунку
коефіцієнт покриття	ОА / ПК
коефіцієнт забезпечення власними засобами	ВК+ЗНВП+ДМП-НА /ОА
коефіцієнт абсолютної ліквідності (платоспроможності)	ГК + ПФІ /ПЗ
коефіцієнт фінансової автономії	ВК/ Б
коефіцієнт фінансової стабільності	ВК/ПК

Таблиця 2 – Умовні скорочення рядків балансу підприємства

Рядки балансу підприємства	Код рядку	Умовне скорочення
Власний капітал	380	ВК
Грошові кошти та їх еквіваленти в національній та іноземній валюті, поточні фінансові інвестиції	230 + 240	ГК
Баланс	280 (або 640)	Б
Забезпечення наступних виплат і платежів	430	ЗНВП
Доходи майбутніх періодів	630	ДМП
Поточні фінансові інвестиції	220	ПФІ
Необоротні активи	080	НА
Оборотні активи	260	ОА
Позиковий капітал (довгострокові та поточні зобов'язання)	480 + 620	ПК
Поточні зобов'язання	620	ПЗ

Таблиця 3 – Фінансові коефіцієнти, які застосовуються в Україні

Назва показника	Порядок (формула) розрахунку	Нормати вне (рекомендоване) значення	Призначення (опис)
Коефіцієнт автономії	Ф.1 (ряд. 380/ ряд. 640)	> 0,5	Визначається як відношення загальної суми власних коштів до підсумку балансу, чим більше значення коефіцієнта, тим менша залежність підприємства від зовнішніх джерел фінансування

Коефіцієнт фінансової стабільності	$\Phi. 1$ (ряд.380)/ (ряд. 420 + ряд. 620)	> 1	Визначається як відношення власного капіталу та залученого
Коефіцієнт покриття	$\Phi.1$ (ряд. 260/ (ряд. 480+ряд.620)	> 1	Визначається відношенням усіх поточних активів підприємства до його поточних зобов'язань
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	$\Phi.1$ (ряд.230+240+220)/ ряд. 620	$> 0,2$	Визначається коефіцієнт абсолютної ліквідності як відношення суми грошових коштів і короткострокових фінансових вкладень до суми короткострокових (поточних) зобов'язань
Коефіцієнт забезпечення власними засобами	$\Phi.1$ (ряд.380+430+630-080)/ряд. 260	$> 0,1$	відношення різниці між обсягами джерел власних та прирівняних до них коштів і фактичною вартістю основних засобів та інших необоротних активів до вартості наявних у підприємства оборотних активів

На рис. 1 зображена схема функціонування виробничо-економічної системи в ринковій економіці з урахуванням пожежного ризику, комплексних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки та врахуванням фінансово-економічних коефіцієнтів.

Як видно з рисунку, здійснення ефективної пожежної охорони та впровадження комплексних заходів щодо пожежної безпеки прямо впливає на величину ймовірності виникнення пожежі на підприємстві та величину збитків від неї та опосередковано впливає на фінансову спроможність СГД.

В свою чергу, величина збитків від пожеж напряму впливає на інвестиційний потенціал підприємства, можливість його кредитування та створення резервів, величину отриманого прибутку, об'єму випуску продукції, основних та оборотних фондів. Фінансово-економічні коефіцієнти, у разі збільшення величини збитків від пожежі, погіршуються, що призводить до фінансової нестабільності СГД та його можливої залежності від позичкових коштів у разі понесення значних затрат на відновлення виробництва та ремонтних робіт.

Погіршення фінансового стану підприємств в результаті понесення значних матеріальних збитків призводить до скорочення надходжень в бюджети у вигляді податків, що в свою чергу впливає на видаткову частину бюджету у його частині забезпечення оснащення і утримання ПО.

Опосередкованою характеристикою спроможності здійснення оплати зобов'язань є показники обертання дебіторської та кредиторської заборгованості підприємства. Якщо період обертання кредиторської заборгованості більший за період обертання дебіторської заборгованості, тоді підприємство використовує ресурси партнерів для фінансування власного виробництва, що може відбутися за умов ліквідації наслідків пожежі.

Аналізуючи рисунок слід відмітити, що коефіцієнт покриття знаходиться в обернено пропорційній залежності від суми кредиторської заборгованості. Коефіцієнти забезпечення власними засобами і автономії обернено пропорційні сумі дебіторської заборгованості. Коефіцієнти абсолютної ліквідності і фінансової стабільності використовуються для аналізу відношення грошових засобів і капіталу підприємства відповідно до кредитних засобів і знаходяться в обернено пропорційній залежності від кредиторської заборгованості, відповідаючи головним чином на питання про наявність і походження грошових засобів.

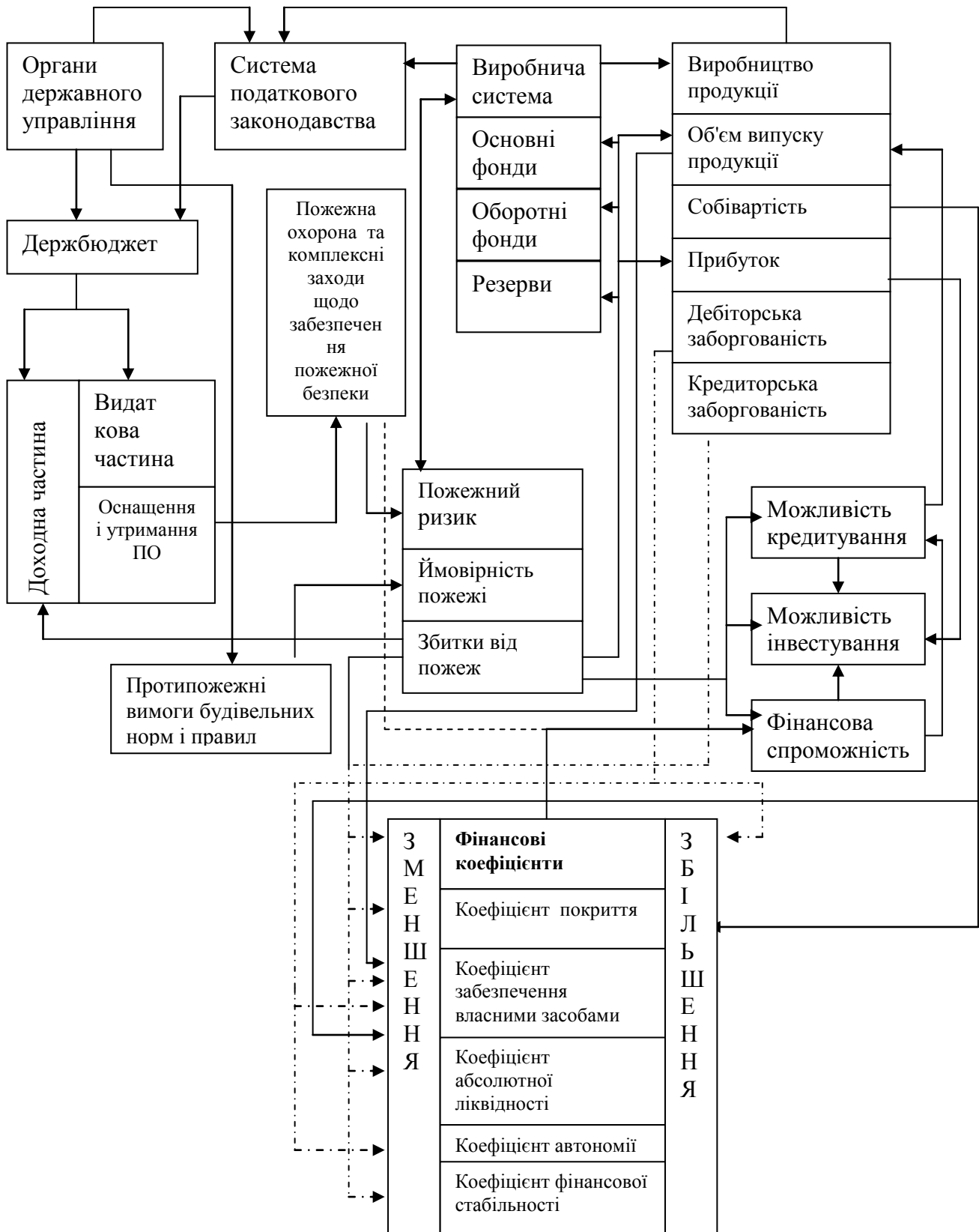


Рисунок 1 – Схема функціонування виробничо-економічної системи в ринковій економіці з урахуванням пожежного ризику та врахуванням фінансово-економічних коефіцієнтів

Висновки. Таким чином, розглядаючи ефективність впровадження тих чи інших комплексних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки СГД і пов'язаних з цим матеріальних затрат, необхідно крім проведення оцінки та аналізу пожежного ризику на даному підприємстві та визначення можливих сукупних збитків від пожежі, проводити оцінку фінансово-економічних коефіцієнтів підприємства. Дана оцінка дозволить дослідити можливість виникнення в майбутньому загрози банкрутства даного підприємства через погіршення фінансового стану СГД в результаті ліквідації наслідків від надзвичайних ситуацій, зокрема пожеж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Климась Р.В. Застосування математичного методу екстраполяції даних для короткострокового прогнозування основних показників статистики пожеж / Р.В. Климась, О.П. Якименко // Науковий вісник УкрНДПБ. – К.: № 1 (17), 2008. – С. 109-114.
2. Моделирование пожаров и взрывов / под ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2000. – 492 с.
3. Стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 2010 рік // Пожежна безпека. – 2011. – №2(137). – С.26-27.
4. Микеев А.К. Пожар: Социально-экономические, экологические проблемы / А.К. Микеев. – М.: Пожнаука, 1994. – 386 с.
5. Актуальные проблемы устойчивого развития / [В.А. Акимов, Е.В. Бридун, М.Ю. Ватагин и др.]. – К. : Знание, 2003. – 430 с.
6. Економічний аналіз: навч. посібник / М. А. Болюх, В. З. Бурчевський, М. І. Горбаток та ін.; За ред. акад. НАНУ, проф. М. Г. Чумаченка. – вид. 2-ге, перероб. і доп. – К. : КНЕУ, 2003. – 556 с.
7. Гриньова В. М. Фінанси підприємств: навч. посібник / В. М. Гриньова, В. О. Коюда. – 2-е вид., перероб. і доп. – К.: Знання-Прес, 2004. – 424 с.
8. Наказ Міністерства Економіки України «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо виявлення ознак неплатоспроможності підприємства та ознак дій з приховування банкрутства, фіктивного банкрутства чи доведення до банкрутства» від 19.01.2006 №14.

УДК 613.155.3

А.С. Дубенець, В.С. Чубань, к.е.н., Т.В. Нікітіна, к.соц.н., доц.,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ЩОДО ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН У КОНТЕКСТІ ЗАКОНОДАВСТВА REACH

Проведено системний аналіз Європейського законодавства REACH та запропоновано кроки, що мають бути зроблені українською стороною для роботи в умовах законодавства "REACH" (реєстрація, оцінка, авторизація й обмеження хімічних речовин), у тому числі, можливість поступової адаптації положень цього законодавства в Україні.

Ключові слова: Регламент REACH, законодавство ЄС, хімічна безпека, хімічна речовина, регуляторні документи.

Постановка проблеми. 29 жовтня 2003 року Європейська Комісія прийняла до розгляду пропозицію з нової системи регулювання виробництва та використання хімічних речовин REACH (COM (2003) 644). Саме ця пропозиція лягла в основу розробки Законодавства REACH. У різних інформаційних матеріалах законодавство REACH називається також Регламентом/Постановою. У даному дослідженні застосовується термін «Регламент REACH», якщо мова йде безпосередньо про текст нормативно-правового акту, термін «законодавство», якщо мова йде про весь пакет законодавчих та нормативних актів ЄС, які введені до складу Регламенту REACH – постанови, директиви та ін. У листопаді 2005 р. у Європейському Парламенті відбулося перше читання тексту Регламенту REACH (попередні виправлення (2005)0434 і (2005)0535).

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженню причин прийняття нового Європейського законодавства REACH присвячені наукові праці провідних експертів та дослідників: Довганя В., Ковені Т., Мукомели А., Тамулене А. та ін.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є системний аналіз Європейського законодавства REACH. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: дослідити основні правові передумови розробки нової системи регулювання виробництва та використання хімічних речовин у Європейському Союзі та відмінності нового законодавства REACH від раніше діючого законодавства; провести системний аналіз європейського законодавства REACH та проблем адаптації товаровиробників до роботи в умовах дії нового Регламенту, запропонувати кроки, що мають бути зроблені українською стороною для роботи в умовах законодавства REACH.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Причини прийняття нового Європейського законодавства REACH достатньо глибоко та послідовно вивчені та узагальнені у науковій літературі. Разом з тим практичні аспекти пожежної безпеки для підприємств-експортерів продукції у контексті вимог Європейського Регламенту REACH потребують більш глибокого аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Офіційне підписання остаточного тексту Регламенту REACH здійснено Президентом Європейського Союзу та Президентом Європарламенту в Брюсселі 18 грудня 2006 року. Регламент набув чинності з 1 червня 2007 року.

В основу Законодавства REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals – реєстрація, оцінка та видача дозволів на виробництво і використання хімічних речовин) покладені наступні основні блоки відповідальності:

- реєстрація хімічних сполук;
- оцінка технічного досвіду та/або речовини;

- видача дозволів і обмежень на виробництво та використання небезпечних хімічних речовин;
- узгоджена нова класифікація, маркування та пакування хімічної продукції (Регламент CLP);
- доступ до інформації [1].

Нове хімічне законодавство, спрямоване на регулювання виробництва та використання хімічних речовин всередині Європейського Союзу, безпосередньо торкається широкого кола виробників у різних галузях промисловості, імпортерів, дистриб'юторів і споживачів хімічної продукції в країнах Співтовариства.

Основна мета законодавства REACH – забезпечити більш високий рівень захисту здоров'я людини й навколишнього середовища, включаючи сприяння альтернативним методам оцінки небезпеки речовин, а також вільний обіг хімічних речовин на внутрішньому ринку Європейського Союзу, підвищуючи при цьому конкурентоспроможність хімічної промисловості країн ЄС і сприяючи впровадженню інноваційних технологій.

Крім того, новий Закон спрямований також на вирішення наступних завдань:

- підвищення прозорості поточного законодавства;
- забезпечення інтеграції з міжнародними зусиллями в галузі контролю над обігом хімічних речовин;
- сприяння проведенню тестування речовин без використання тварин;
- дотримання міжнародних зобов'язань Євросоюзу у СОТ [2].

У країнах ЄС на сьогоднішній день зареєстровано приблизно 100 тисяч хімічних речовин. Вони були присутні на ринку до вересня 1981 року та були внесені в реєстр EINECS. Ці зареєстровані речовини становлять більше 99 % обсягу ринку ЄС. З них лише 141 речовина систематично проходить контроль з безпеки в рамках програми ЄС.

Розробкою та внесенням змін до законодавства REACH займалися дев'ять Комісій Європейського Парламенту, Рада міністрів, Комісія з розробки REACH, 4 політичні партії (EPP-ED, PES, ALDE, UEN), CEFIC (Європейська Рада хімічної індустрії) і інші громадські організації.

Основні виправлення, прийняті в другому читанні тексту Закону Європарламентом:

- Дозвіл небезпечних речовин. Для виробників небезпечних речовин вводиться зобов'язання про заміну їх на більш безпечні альтернативні речовини. Якщо альтернативи не існує, то виробники повинні будуть представити науково-дослідний план з пошуку такої альтернативи (період - 6 років досліджень), а надалі, - аналіз у контексті соціально-економічних витрат і вигід;
- Реєстрація речовин. Для речовин, що виробляються менше 10 тонн на рік, надається термін 12 років для рекомендації щодо включення речовини у систему регулювання та період 7 років – для злоякісних і мутагенних речовин. Посилені вимоги до оформлення інтелектуальної власності на хімічні речовини;
- Вимоги до обережності. Передбачається, що виробництво, імпорт, розміщення на ринку речовин повинні гарантувати заходи, що не заподіюють шкоду людському здоров'ю та навколишньому середовищу. Мова йде про збір необхідної інформації про дані речовини і передача рекомендацій із їхнього використання по всьому ланцюжку виробництва та споживання;
- Проведення мінімальної кількості випробувань на тваринах (у процесі реєстрації хімічних речовин);
- Оцінка речовин. Парламент призначає двох керівників Європейського хімічного агентства, після їхнього подання Комітету з екології при Європейській Комісії;
- Інформаційний зв'язок. Надання громадськості інформації про небезпечні речовини, що містяться в складі виробу у кількості 0,1% від повної ваги виробу згідно запиту зацікавленої особи. Рекомендовано створення на міжнародному рівні Європейського знака якості для хімічних виробів [4].

Розробка методології, платежів і технічного керівництва, необхідних для реалізації Регламенту REACH, здійснюється Європейською Хімічною Агенцією за допомогою ряду Проектів (Керівництв) з реалізації REACH (RIPs - REACH Implementation Projects).

Мета проектів полягає у забезпеченні ефективного виконання Закону через розробку технічних посібників та ІТ-засобів для Агентства (ІТ - інформаційні технології), промисловості та органів влади. Діяльність у рамках підготовки проектів скоординована з основними зацікавленими сторонами, такими як держави-учасники, промисловість і неурядові організації.

Таким чином, проекти RIPs передбачають розробку нормативних і регламентуючих документів у рамках реалізації Закону REACH, а саме [6]:

- технічне керівництво та інструментарій для промисловості і органів влади;
- регламентація роботи Агентства;
- регламентація дій Комісії щодо Регламенту REACH.

Проекти RIPs охоплюють 7 основних областей реалізації/застосування Закону REACH, які наведені нижче:

- RIP 1 - Опис Процесу REACH: Розробка детального опису процесів REACH;
- RIP 2 - REACH-ІТ: Розробка ІТ системи для підтримки реалізації REACH;
- RIP 3 - Документи з Керівництва: Розробка документів з керівництва для промисловості;
- RIP 4 - Документи з Керівництва: Розробка документів з керівництва для органів влади (контрольні, дозвільні, заборонні функції, планується організація хімічної поліції й т.ін.);
- RIP 5/6 – Організація Агентства;
- Пакет документів з Загального Керівництва.

Зокрема, проект RIP-3 - Керівництво для промисловості - включає:

- Підготовку досьє для реєстрації;
- Посібник з перевірки ідентичності речовин;
- Посібник з обміну даними;
- Посібник із заявок на дозвіл;
- Посібник з SEA;
- Посібник відповідності до GHS/СГС;
- Вимоги для виробів;
- Керівництво для подальших споживачів;
- Вимоги до інформації;
- Підготовка ОХБ.

Слід зазначити, що RIPs являються собою практичні посібники з окремих сегментів застосування/реалізації Регламенту REACH. Вони конкретизують і роз'яснюють норми нового законодавства.

ДП «Черкаський НДІТЕХІМ» здійснений переклад більшості ключових RIPs, розроблених ЄСНА, з англійської на російську мову та переклади цих документів надані основним підприємствам-експортерам [5]. Відповідними органами виконавчої влади (Мінюстом України) здійснений офіційний переклад тексту Регламенту REACH на українську мову.

Аналіз показує, що прийняття пакетного Законодавства REACH, який протягом найближчих 20 років буде основним регулятором виробництва та споживання хімічної продукції (хімічних речовин) у Європі, створює цілий комплекс проблем для виробників і трейдерів практично в усіх країнах світу, де виробляється та експортується до Європи хімічна продукція.

Однак, більшість європейських країн мають розвинену систему та інфраструктуру технічного регулювання в сфері хімічної промисловості, що істотно спростить перехід до роботи в умовах нового законодавства. У багатьох країнах Європи (та й інших промислово розвинених країнах світу) прийняте і діє національне хімічне законодавство, яке ґрунтується

на принципах забезпечення максимальної безпеки виробництва та застосування хімічної продукції (хімічних речовин). Воно вже давно гармонізовано відповідно до основних директив ЄС у сфері регулювання хімічної продукції.

В основі нового Законодавства лежать три основні принципи: хімічна безпека; безпека хімічного виробництва; безпека хімічної продукції, процесів її зберігання, перевезення, реалізації, застосування та утилізації. Названі принципи протягом тривалого часу присутні тією чи іншою мірою в практичній діяльності виробників і споживачів хімічної продукції. Новий Регламент REACH лише посилив і уніфікував вимоги дотримання названих принципів хімічної та екологічної безпеки.

В Україні спеціальне національне хімічне законодавство практично не сформоване. Сьогодні правове поле законодавчих і нормативно-правових актів, що регулюють різні аспекти виробництва, споживання, експорту, імпорту, перевезення хімічної продукції (хімічних речовин) представлено різними законодавчими та нормативними документами, які, з одного боку, не дозволяють реалізувати системний підхід у забезпеченні безпеки хімічної продукції та хімічного виробництва, з іншого боку, вони дуже відрізняються від діючих європейських норм [2].

Не гармонізована з європейською і система технічного регулювання виробництва хімічної продукції, включаючи систему національних стандартів і сертифікації продукції.

Всі перераховані фактори свідчать про те, що процес адаптації українських виробників і трейдерів до законодавства REACH буде дуже складним і вимагатиме значних фінансових, організаційних, інформаційних і нормативно-правових зусиль із боку всіх фігурантів цього процесу. З іншого боку, введення в дію нового хімічного законодавства створює цілий комплекс проблем не лише у міжнародній торгівлі хімічними речовинами.

На першому етапі були розроблені загальні заходи щодо оптимізації процесу підготовки підприємств хімічного комплексу України до роботи в умовах чинності Регламенту REACH, які передбачали:

1) Створення постійно діючого Консультаційно-інформаційного центру по проблемам Регламенту REACH при Мінпромполітики України та Союзу хіміків України. При необхідності залучити до його функціонування європейських експертів;

2) Проведення розширеного цільового дослідження законодавства REACH і його наслідків для хімічної промисловості з рекомендаціями всім учасникам процесу щодо вживання адаптаційних заходів для роботи в умовах нового хімічного законодавства;

3) Створення реєстру хімічних речовин, що виробляються в Україні та експортуються до країн ЄС, які повинні пройти попередню реєстрацію, тестування та остаточну реєстрацію відповідно до вимог нового європейського хімічного законодавства;

4) Проведення «інвентаризації» діючої законодавчої бази України та законопроектів, що розробляються у сфері регулювання хімічної продукції в контексті Закону REACH;

5) Здійснення комплексу інформаційних заходів щодо підготовки підприємств хімічної промисловості до роботи в умовах Регламенту REACH (інформування через систему спеціальних семінарів, робочих нарад, підготовка серії публікацій у профільних періодичних виданнях та ін.);

6) Інформування відповідних органів виконавчої влади про можливі негативні наслідки дії Регламенту REACH для виробників і експортерів хімічної продукції, його впливу на можливе зниження експорту хімічної продукції в країни ЄС. Підготовка аналітичної записки з обґрунтуванням можливих застережних заходів;

7) Проведення круглих столів з питань адаптації підприємств хімічної промисловості України до закону REACH [3].

Діюча законодавчо-правова база, що безпосередньо регулює сферу виробництва та обігу хімічних речовин в Україні, становить 25 нормативно-правових актів (Закони України, положення, технічні регламенти, концепції, інші нормативно-правові та

нормативно-розпорядчі документи); 6 документів перебувають на різних етапах розробки та прийняття.

Певна частина діючих документів та документів, які знаходяться на стадії розробки, гармонізована з Законодавством ЄС (зокрема, Регламентами REACH/CLP). Однак переважна більшість діючих національних нормативно-правових актів у сфері виробництва та обігу хімічних речовин розроблялася до введення в дію Регламентів REACH/CLP та не відповідає вимогам, як названих Регламентів, так і інших правових актів (директив) ЄС, що регулюють різні аспекти обігу хімічних речовин.

До технічних регулятивних документів, які гармонізовані з Регламентами REACH/CLP та введені в дію в Україні з 1 січня 2010 року без перехідного етапу, належать ДСТУ ГОСТ 30333:2009 «Паспорт безпечності хімічної продукції» та ДСТУ ГОСТ 30341:2009 «Попереджувальне маркування хімічної продукції».

Загалом рівень гармонізації технічних регуляторних актів (ДСТУ, ДСТУ ГОСТ) у сфері виробництва та обігу хімічної продукції з європейськими не перевищує 25-30 %.

Національна законодавчо-правова база у сфері виробництва та обігу хімічних речовин вимагає перегляду та оновлення, зокрема, у контексті гармонізації з відповідними правовими актами Законодавства ЄС. Так, 6 нових нормативно - правових актів перебувають на різних стадіях розробки та прийняття. Регламенти REACH та GLP потребують якісної та продуманої імплементації в межах чинного національного законодавства або ж розробки в разі необхідності для цілей імплементації з Регламентами REACH та GLP нових нормативно-правових актів різного рівня.

Крім того, 8 діючих директив ЄС у сфері виробництва та обігу хімічних речовин не мають відповідних національних нормативно-правових актів, які б були гармонізовані з вимогами Законодавства ЄС. Частина важливих директив ЄС не мають офіційного перекладу на українську мову.

Висновки. Незважаючи на посилення ризиків і ускладнення процедури «легітимізації» експорту для виробників/експортерів у зв'язку із введенням у дію нового Європейського хімічного законодавства, все-таки Регламент REACH досить жорсткими методами дозволить експортованій українській продукції офіційно інтегруватися у сферу міжнародної діяльності з управління та контролю за хімічними речовинами. Це досить важливий чинник, який має стратегічне значення для розвитку хімічного комплексу України в умовах підготовки до євроінтеграції та функціонування зовнішньої торгівлі України в умовах СОТ, відкритості внутрішнього товарного ринку [6].

З іншого боку, буде прискорений процес імплементації українського законодавства щодо виробництва, споживання та обігу хімічної продукції на внутрішньому ринку до європейського законодавства. Оптимальним наслідком цього процесу повинна стати розробка українського варіанту REACH, введення в дію якого створило б правову та легітимну перепону на шляху критичного збільшення ввезення в Україну неякісного хімічної продукції.

До позитивних моментів варто віднести також «примус» товаровиробників до більш високого рівня екологічної та хімічної безпеки хімічної продукції і, отже, підвищення її конкурентоспроможності.

Разом з тим потрібно бути об'єктивними – законодавство REACH, незважаючи на офіційно задекларовані дещо інші цілі, у найближчі роки буде важливим фактором конкуренції в європейській і світовій хімічній промисловості та, можливо, призведе до переформатування певних товаропровідних потоків на європейському хімічному ринку.

Перспективи подальших досліджень. Отже, національна законодавчо-правова база у сфері виробництва та обігу хімічних речовин після аналізу та оцінки законодавчих розбіжностей між Україною та ЄС повинна бути доповнена новими нормативно-правовими актами, які закрийють існуючі правові прогалини та невідповідності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC // Official Journal of the European Union.– 29.5.2007.– L 136.– P. 3.
2. Ковеня Т. В. Аналіз роботи хімічної та нафтохімічної промисловості України в 2007 р. Основні тенденції та прогноз розвитку / Ковеня Т. В. // Хімічна промисловість України. – 2008.– № 4. – С. 3 -19.
3. Ковеня Т.В. Законодательство REACH, практические аспекты подготовки промышленных предприятий к работе к условиям REACH («Дорожная карта» для производителей/экспортеров) / Ковеня Т. В. // Хімічна промисловість України. – 2008. – № 5 – С. 51-60.
4. Матеріали офіційного сайту Європейської комісії [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/enterprise/reach/index_en.htm
5. Матеріали офіційного сайту Європейського Хімічного Агентства [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/echa/>
6. Матеріали офіційного сайту державного підприємства «Черкаський державний науково-дослідний інститут техніко-економічної інформації в хімічній промисловості» [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://reach.ck.ua>.

УДК 614.841.332

П.Г. Круковский, д.т.н., проф., Институт технической теплофизики НАН Украины,
А.И. Ковалев, АПБ им. Героев Чернобыля

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА БЕТОННЫХ ПЕРЕГОРОДКАХ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Изложена методика (методическое обеспечение (МО)) определения характеристики огнезащитной способности (ХОС) вспучивающихся огнезащитных покрытий (ВОП) на бетонных перегородках расчетно-экспериментальным методом по данным огневых испытаний. На основе решения ряда тестовых (методических) задач по данным вычислительного эксперимента (ВЭ) определялись составляющие МО, включающего в себя следующие вопросы выбора параметров проведения огневого испытания и математической обработки его результатов: количество испытываемых образцов и количество термопар на этих образцах, законов представления теплофизических характеристик (ТФХ) бетона и ВОП при их определении с помощью решения обратных задачи и определении ХОС ВОП с учетом погрешностей измерения температуры образцов, а также граничных условий на необогреваемой поверхности образцов. Разработанное МО апробировано при определении ХОС ВОП Феникс СТВ по результатам натурных огневых испытаний бетонных перегородок при использовании критерия потери их теплоизолирующей способности.

Ключевые слова: бетонные перегородки, огнестойкость, вспучивающиеся огнезащитные покрытия, характеристика огнезащитной способности покрытий, расчетно-экспериментальный метод, прямые и обратные задачи теплопроводности.

Состояние проблемы и анализ публикаций. Для повышения пределов огнестойкости железобетонных конструкций используются различные огнезащитные материалы, среди которых особое место занимают ВОП. Для того чтобы правильно оценить огнестойкость таких конструкций, обработанных ВОП, нужно знать какая толщина ВОП при определенной толщине бетона нужна для обеспечения требуемого предела огнестойкости конструкции по критерию потери теплоизолирующей способности перегородки. Для этого необходимо получить характеристику огнезащитной способности (ХОС) ВОП, как зависимость толщины ВОП от толщины бетона, при которых обеспечивается требуемый предел огнестойкости конструкции, обработанной ВОП [1]. Наряду с существующим ДСТУ для определения ХОС ВОП на металлических конструкциях [2-3] отсутствуют научно обоснованные методы получения ХОС ВОП для железобетонных конструкций, в частности перегородок, по данным огневых испытаний.

В работе [3] дано определение ХОС ВОП для защиты металлических конструкций, как зависимость минимальной толщины огнезащитного покрытия от приведенной толщины металлической конструкции при нормированных значениях предела огнестойкости конструкции. Методика (методическое обеспечение) определения ХОС ВОП для бетонных конструкций по критерию потери теплоизолирующей способности для разных пределов огнестойкости [4] с помощью расчетно-экспериментального подхода [1-3] не разработаны, поэтому тема работы актуальна. Определение ХОС ВОП для бетонных конструкций имеет целый ряд особенностей, которые в данной работе предлагается исследовать с помощью проведения вычислительного эксперимента (ВЭ) и решения ряда тестовых (методических) задач.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы есть разработка МО определения ХОС ВОП бетонных перегородок с помощью решения ряда тестовых задач теплопроводности по данным ВЭ и апробация МО для определения ХОС ВОП Феникс СТВ по данным огневых испытаний.

Решить такую задачу с помощью натурального эксперимента практически не возможно, поэтому применяется расчетно-экспериментальный метод (РЭМ) (рис. 1), который является совокупностью экспериментальных и расчетных процедур, позволяющих принципиально определить искомую характеристику исследуемого объекта, в нашем случае ХОС ВОП.

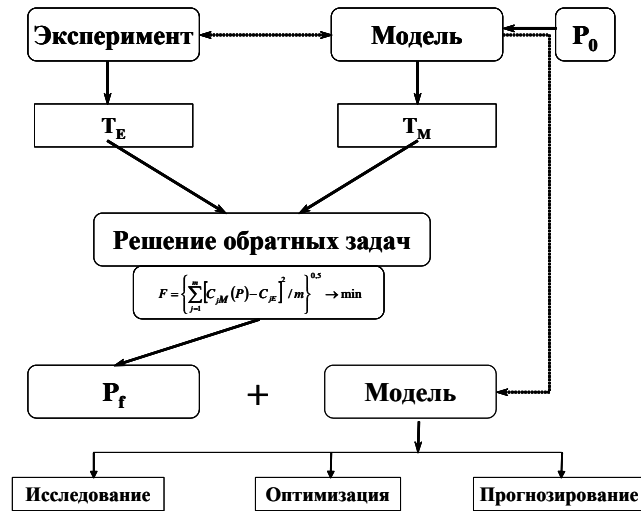


Рисунок 1 – Детальная схема расчетно-экспериментального подхода

Исследуемый объект и математическая модель, описывающая основные физические процессы, происходящие в объекте, позволяют получать соответственно экспериментальную характеристику (Т_Э) и рассчитывать модельную характеристику (Т_М). В свою очередь эти характеристики зависят от ряда входных параметров Р физического или технологического характера.

В нашем случае к таким параметрам Р относятся теплофизические характеристики (ТФХ) бетона и ВОП, – теплопроводность и теплоемкость. Параметры Р, как правило, неизвестны и их определение возможно с помощью решения обратных задач по данным экспериментальных измерений Т_Э. Решение обратных задач сводится к поиску таких значений Р, для которых расчетные (Т_М) и экспериментальные (Т_Э) значения некоторых характеристик (в нашем случае тепловых) становятся близкими друг к другу [5-8].

Критерием близости этих характеристик наиболее часто является величина

$$F(P) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (T_{M,j} - T_{E,j})^2}{m}} \approx \delta, \quad (1)$$

где m – число экспериментальных измерений, используемых для решения обратной задачи; δ - среднеквадратическая ошибка измерения.

Полученные решением обратных задач параметры Р исследуемого процесса используются на основе той же модели для решения основных инженерных задач анализа, оптимизации параметров или прогноза (рис.1). В нашем случае – для получения ХОС ВОП. Решение же обратных задач является вспомогательной процедурой, призванной обеспечить адекватность выбранной модели рассматриваемым физическим процессам.

Разработку МО определения ХОС ВОП бетонных перегородок предлагается определять с помощью решения ряда тестовых задач теплопроводности по данным ВЭ, т.е. решения ряда прямых задач теплопроводности (ПЗТ) с заданными ТФХ бетона и ВОП. Для проведения ВЭ (рис. 2) брались бетонные перегородки, толщиной 50 мм и ВОП толщиной 1 мм. ТФХ бетона задавали из [9]. В тестовых задачах с помощью математической и компьютерной моделей, заданных ТФХ и граничных условий (ГУ) решением ПЗТ, получали

нестационарное температурное распределение в бетонной перегородке и ВОП $T(t)$. Затем точки, в которых предполагается измерения температуры во времени при огневом испытании возмущались, имитируя ошибки δ измерения температур, с погрешностями $T(t) \pm \delta$. Обратными задачами определялись ТФХ бетона, ВОП и ГУ, которые далее сравнивались с заданными. Это дало возможность исследовать алгоритм определения этих ТФХ и ГУ с контролируемой точностью, а также установить необходимое количество испытываемых образцов для определения этих параметров модели и зависимости толщины ВОП от толщины бетона [10], т.е. ХОС ВОП.

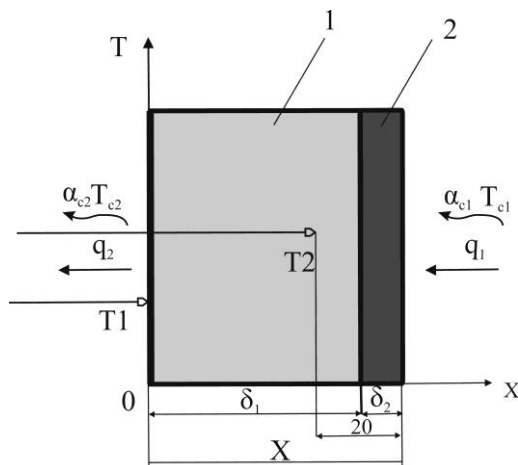


Рисунок 2 – Схема исследуемой двухслойной перегородки: 1– бетонная перегородка; 2 – слой ВОП

Физическая модель нагрева системы «бетонная конструкция-ВОП» представляет собой процесс теплопроводности в двухслойной стенке (рис.2), состоящей из слоя бетона толщиной δ_1 и слоя ВОП, толщиной δ_2 . Математическая модель процесса теплопроводности в такой двухслойной системе в декартовой системе координат, описывающая рассмотренную выше физическую модель, многократно описана в литературе [11] и представляет собой одномерное уравнение теплопроводности с комбинацией лучистого теплообмена и ГУ 3-го рода на обогреваемой поверхности X и ГУ 3-го на необогреваемой поверхности, учитывающим температуру окружающей среды [12]. Распределение температуры T в бетоне и ВОП описывается системой уравнений

$$c_v(x, T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(x, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (2)$$

$$0 < x < X; T = T(x, t), \quad (3)$$

$$T(x, 0) = T_0, \quad (4)$$

$$c_v = \begin{cases} c_{вб}, & 0 \leq x \leq \delta_1, \\ c_{воп}, & \delta_1 < x < \delta_2, \end{cases} \quad (5)$$

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_б, & 0 \leq x \leq \delta_1, \\ \lambda_{воп}, & \delta_1 < x < \delta_2, \end{cases} \quad (6)$$

$$\lambda_{воп} \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} + \alpha^* [T_{c1}(t) - T(0, t)] = 0, \quad (7)$$

$$\alpha^* = \alpha_{c1} + \frac{C_0 \varepsilon}{T_{c1}(t) - T(0, t)} \left\{ \left[\frac{T_{c1}(t)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T(0, t)}{100} \right]^4 \right\} \quad (8)$$

$$\lambda_b \frac{\partial T(X, t)}{\partial x} = \alpha_{c2} [T(X, t) - T_{c2}] \quad (9)$$

где c_v – удельная объемная теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности, T – температура, t – время, x – координата, α_{c1} – коэффициент теплоотдачи от горячих газов к нагреваемой поверхности ВОП или бетона, α_{c2} – коэффициент теплоотдачи от поверхности бетона в воздух слева от перегородки, C_0 – излучательная способность абсолютно черного тела ($C_0 = 5,67$), ε – коэффициент излучения нагреваемой поверхности ВОП или бетона; T_{c1} – температура горячих газов в печи при испытании; T_0 – начальная температура перегородки перед испытанием. Коэффициент теплообмена от горячих газов в печи к нагреваемой поверхности образца α_{c1} принимался равным $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, степень черноты нагреваемой поверхности $\varepsilon = 0,7$. Коэффициент теплообмена между необогреваемой поверхностью перегородки и окружающим воздухом $\alpha_{c2} = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Обычно этот коэффициент теплообмена принимают неизменным на всем протяжении огневого воздействия.

Система уравнений (2)-(9) решалась численно методом конечных разностей на сетке из 40 узлов (20 для бетон и 20 для ВОП) с помощью программы FRIEND [11].

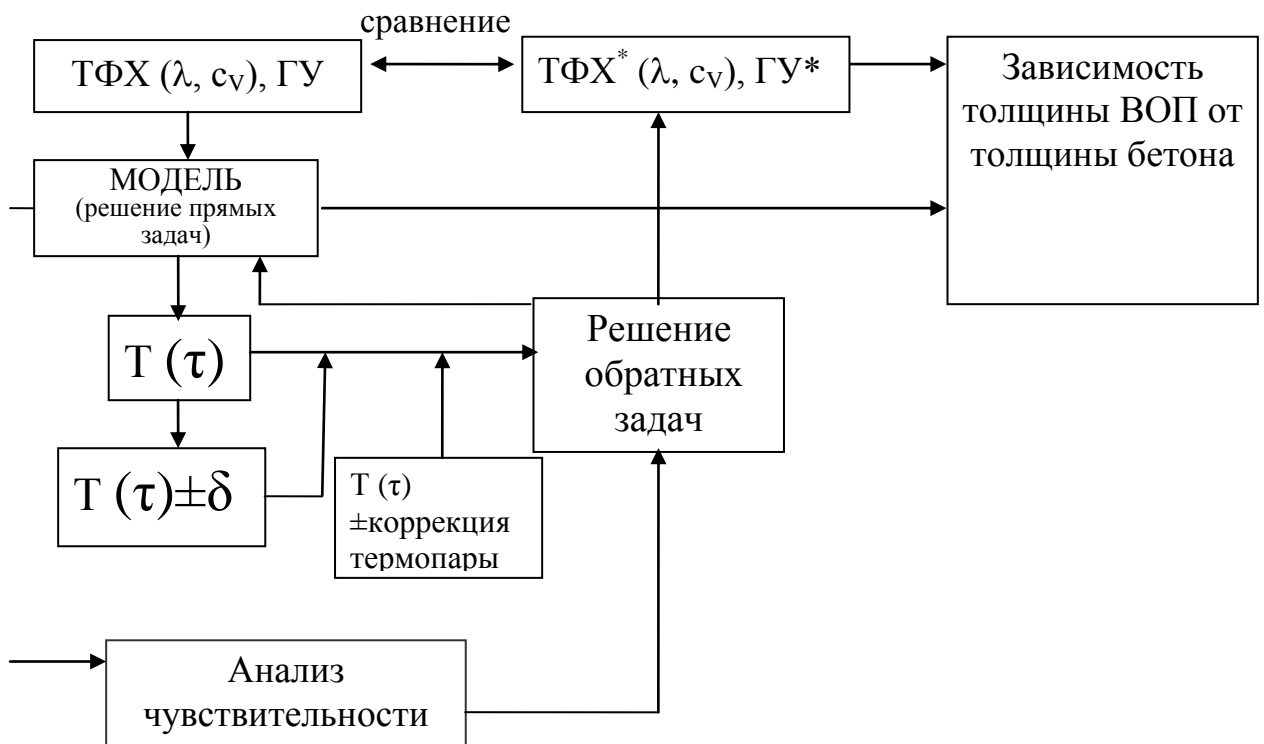


Рисунок 3 – Схема решения тестовых (методических) задач

При определении ХОС ВОП на бетонных перегородках существует ряд особенностей, отличных от ХОС на металле. Поэтому требуется некое МО определения ХОС ВОП, которое возможно разработать с помощью методических задач (рис.3), методов определения ТФХ бетонной конструкции и огнезащитных материалов по данным ВЭ на основе обратных задач. Критерием точности определения ТФХ бетонной конструкции и огнезащитных материалов является критерий (1) среднеквадратичного отклонения F как сумма квадратов отклонений

рассчитываемых величин (в нашем случае температуры на необогреваемой стороне образца и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности перегородки) от величины, измеренной в натурном или вычислительном эксперименте [12].

С помощью решения тестовых задач нужно было ответить на вопросы выбора параметров проведения огневого испытания и математической обработки его результатов: количество испытываемых образцов и количество термопар на этих образцах, законов представления ТФХ бетона и ВОП при их определении с помощью решения обратных задач и определении ХОС ВОП с учетом погрешностей измерения температуры образцов, а также ГУ на необогреваемой поверхности образцов. Следует отметить, что в погрешность измерения температуры образцов на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности перегородки входит также часть, связанная с некорректным отводом электродов термопары T_2 (рис.2) в сторону необогреваемой поверхности перегородки (см. также рис.15, сечение А-А), а не по изотерме, как это обычно стараются делать. Такой вывод электродов термопары приводит к тому, что показания термопар оказываются заниженными и это необходимо учитывать. Поскольку, как будет показано ниже, показания этой термопары являются очень важными для определения ТФХ бетона и ВОП, то предлагается процедура коррекции показаний этой термопары путем определения обратными задачами также и ее координаты (сдвинутой в сторону необогреваемой поверхности образца). При этом координата этой термопары входит в число искомых параметров P при решении ОЗТ и минимизации критерия (1).

Ответы на поставленные выше вопросы и есть МО определения ХОС ВОП на бетонных перегородках. Под МО подразумевается совокупность составляющих экспериментальных и расчетных процедур, позволяющих с контролируемой точностью определять искомую характеристику исследуемого объекта с учетом особенностей испытаний и физических процессов в объекте [12].

В результате проведения ВЭ для системы «бетонная конструкция-ВОП» с описанными выше условиями были получены зависимости температуры от времени во всех узлах сетки, в том числе и в месте установки термопар (рис.3). ВЭ проводился для 2-х образцов - образец бетона без ВОП и образец бетона с ВОП, толщиной 1 мм.

Рассмотрим влияние случайных погрешностей в измерении температур на точность определения ТФХ бетона и ВОП, а также ХОС ВОП.

На рис. 4 показаны точные и возмущенные (учитывающие случайные погрешности до 10 %) значения температур на необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности бетонной перегородки, используемые при проведении ВЭ для образца бетона без ВОП. Возмущенные значения температур определялись путем добавления случайной погрешности к точным с помощью генератора случайных чисел.

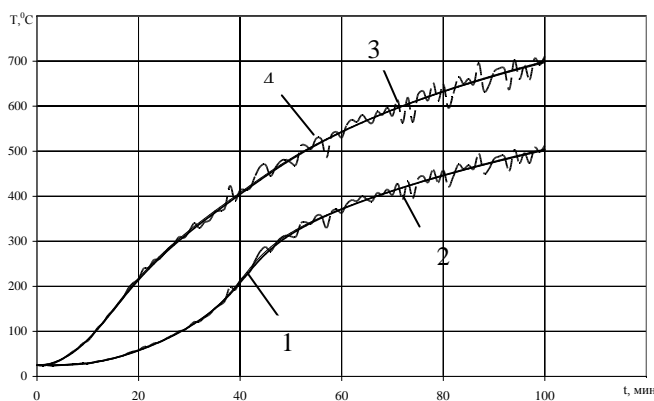


Рисунок 4 – Зависимости температуры от времени в местах измерения температур для образца бетона без ВОП. Кривая 1 – точная кривая на необогреваемой поверхности, 2 – там же с ошибками; 3 – точная кривая на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности; кривая 4 – там же с ошибками

Измерения температур с ошибками в отмеченных точках были использованы для определения ТФХ бетона с помощью решения обратных задач. В качестве начальных распределений для определения ТФХ бетона были выбраны начальные значения: коэффициента теплопроводности бетона $\lambda=0,85$ Вт/м·К, коэффициента удельной объемной теплоемкости бетона $C_v=2,76 \cdot 10^{-6}$ Дж/м³·К. Зависимости ТФХ бетона искались в виде кубических сплайнов с числом искомых параметров для теплопроводности 3, для теплоемкости - 6. В результате решения обратных задач теплопроводности (ОЗТ), были получены следующие ТФХ бетона (рис. 5,6), значения критерия (1) составляло $12,9^{\circ}\text{C}$.

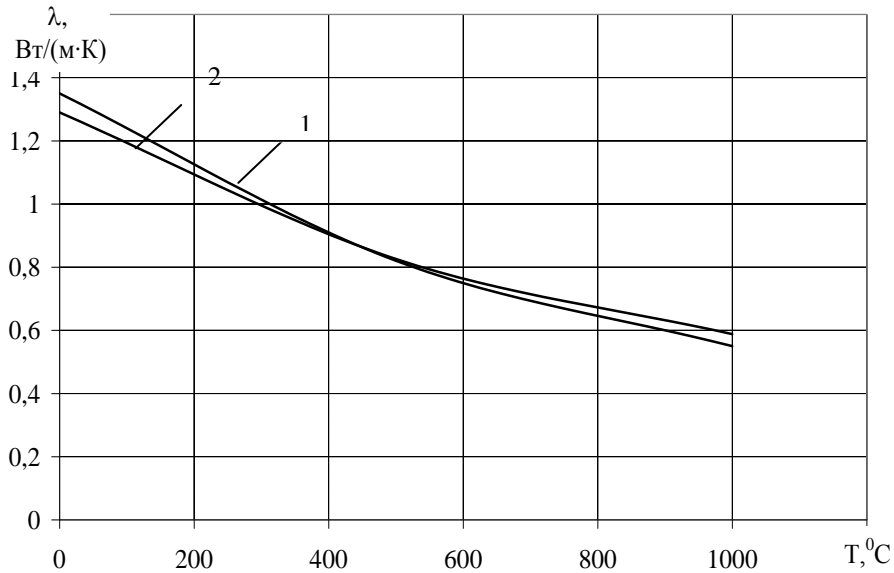


Рисунок 5 – Зависимости коэффициента теплопроводности бетона от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная в результате решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %

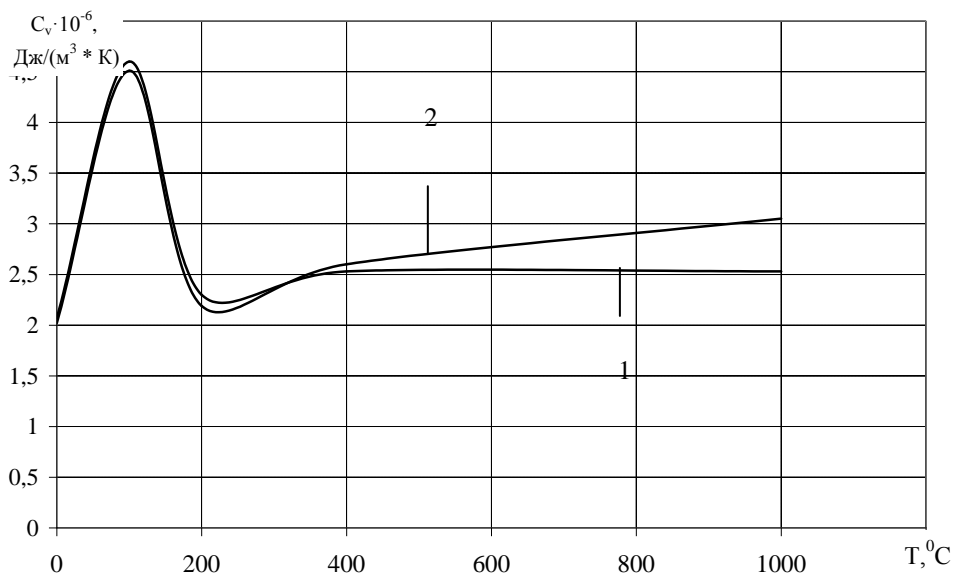


Рисунок 6 – Зависимости коэффициентов удельной объемной теплоемкости бетона от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – полученная в результате решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %

Как видно из рис. 5,6 функциональное представление ТФХ бетона нужно задавать с максимальной точностью.

Найденные ТФХ бетона, использовали при нахождении ТФХ ВОП для образца бетона с ВОП.

На рис. 7 показаны точные и возмущенные (учитывающие случайные погрешности до 10 %) значения температур на необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности бетонной перегородки, используемые при проведении ВЭ для образца бетона с ВОП.

При этом, начальные распределения коэффициента теплопроводности ВОП для решения ОЗТ задавали равным $0,0124 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, коэффициента удельной объемной теплоемкости ВОП - $2,58\cdot 10^{-5} \text{ Дж/м}^3\cdot\text{К}$. В результате решения ОЗТ, были получены следующие ТФХ ВОП (рис. 8,9), значения критерия (1) составляло $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

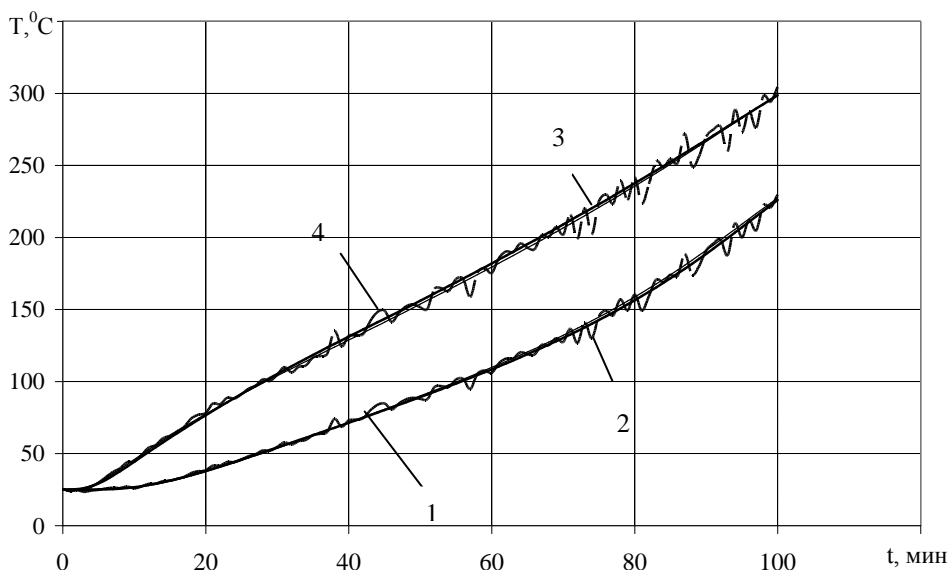


Рисунок 7 – Зависимости температуры от времени в местах измерения температур для образца бетона с ВОП. Кривая 1 – точная кривая на необогреваемой поверхности, 2 – там же с ошибками; 3 – точная кривая на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности; кривая 4 – там же с ошибками

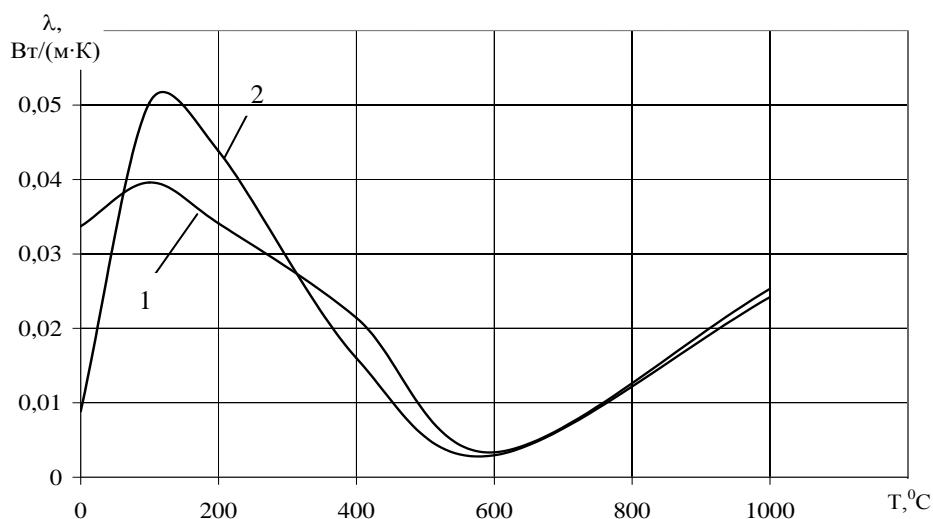


Рисунок 8 – Зависимости коэффициента теплопроводности ВОП от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная в результате решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %

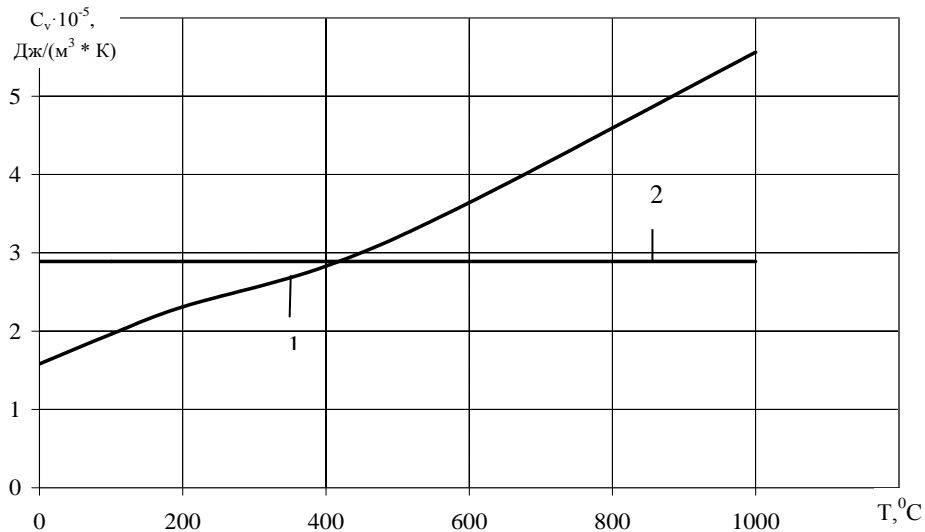


Рисунок 9 – Залежності коефіцієнтів удельної об'ємної теплоємності ВОП від температури. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – полученная в результате решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %

Поскольку влияние коэффициента теплоемкости ВОП на величину критерия (1) очень малое, то его можно задавать как константу (рис.9), что далее и делалось для определения ХОС ВОП.

Исследовалось также влияние погрешности измерения температуры внутренней термопарой вследствие оттока тепла в сторону необогреваемой поверхности по электродам термопары на ТФХ бетона и ВОП. Термопара обычно была расположена на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности (и так было в огневом испытании, рассмотренном ниже). Ее электроды были выведены вдоль теплового потока, что неправильно, потому что их нужно выводить по изотерме (перпендикулярно потоку тепла), что не возможно для тонких железобетонных конструкций. Такой вывод электродов термопары приводит к тому, что показания термопар оказываются заниженными и их необходимо учитывать. Поскольку показания этой термопары являются очень важными для определения ТФХ бетона и ВОП, предложена процедура коррекции показаний этой термопары путем определения обратными задачами также и ее координаты (сдвинутой в сторону необогреваемой поверхности образца). При этом координата этой термопары входит в число искомых параметров P при решении ОЗТ и минимизации критерия (1).

Имитация этой погрешности проводилась путем использования показаний термопары на глубине 28 мм вместо 20 мм от обогреваемой поверхности, показания которой были в среднем на 25°C ниже, чем для показаний при 20 мм. В результате получили ТФХ бетона (рис. 10,11) с учетом такой погрешности измерения температуры.

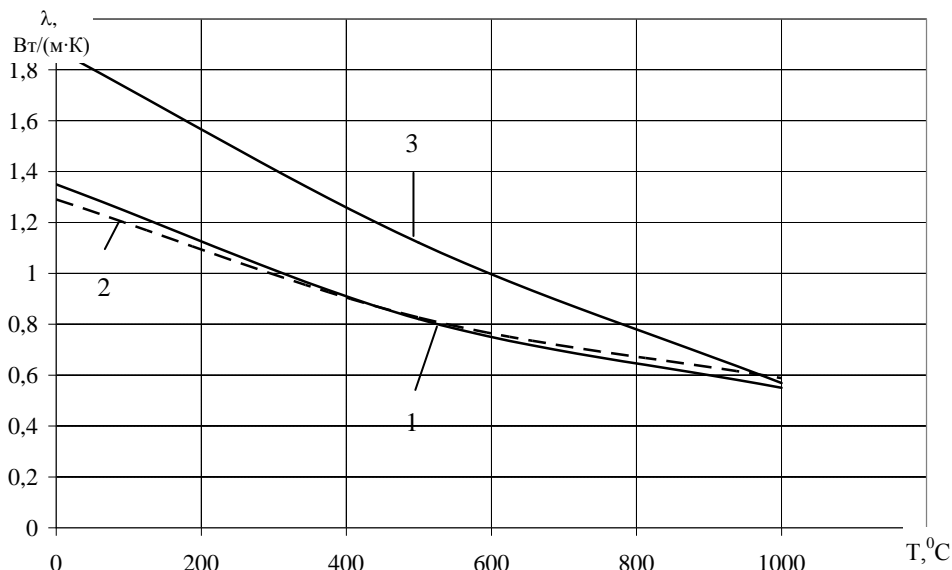


Рисунок 10 – Зависимости коэффициента теплопроводности бетона от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %, кривая 3 – зависимость, полученная решением ОЗТ с учетом ошибки размещения термопары

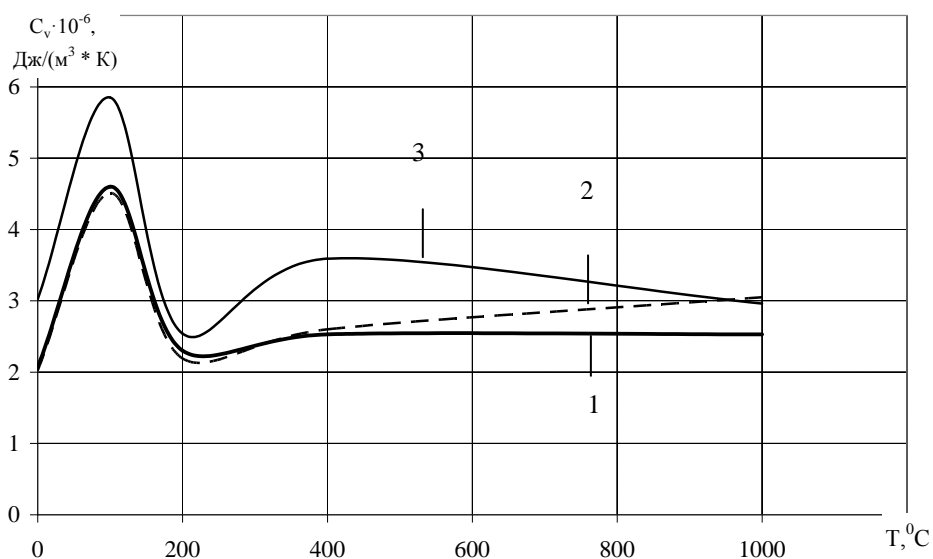


Рисунок 11 – Зависимости коэффициента теплоемкости бетона от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная решением ОЗТ при возмущенных температурах на 10 %, кривая 3 – зависимость, полученная решением ОЗТ с учетом ошибки размещения термопары

По полученным ТФХ бетона и ВОП решением серии ПЗТ были получены ХОС ВОП для пределов огнестойкости 60, 90 и 120 мин с учетом влияния рассмотренных выше ошибок (рис.12).

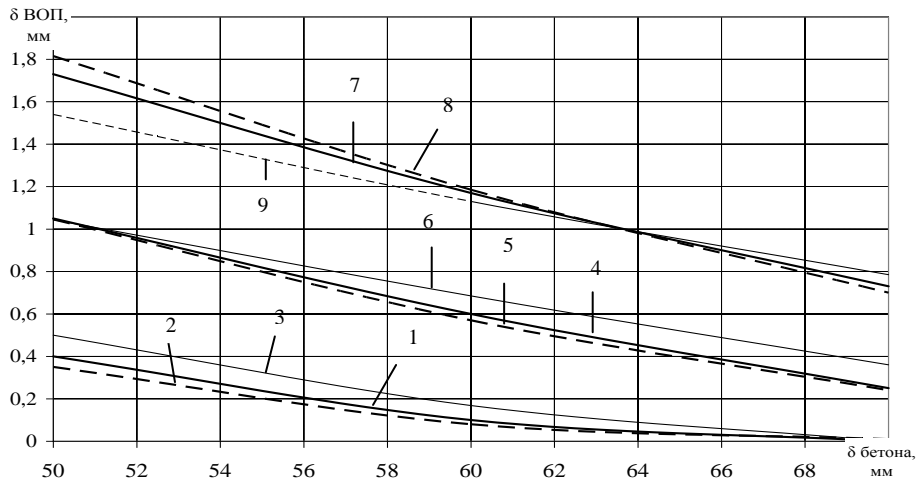


Рисунок 12 – ХОС ВОП Феникс СТВ, полученная решением тестовых задач теплопроводности: 1 – для предела огнестойкости 60 мин, полученная на точных данных; 2 – на возмущенных до 10 % данных; 3 – с учетом ошибки размещения термопары; 4 – для предела огнестойкости 90 мин, полученная на точных данных; 5 – полученная на возмущенных до 10 % данных; 6 – полученная с учетом ошибки размещения термопары; 7 – для предела огнестойкости 120 мин, полученная на точных данных; 8 – полученная на возмущенных до 10 % данных; 9 – полученная с учетом ошибки размещения термопары.

Как видно из рис. 12, толщина ВОП для предела огнестойкости в 120 минут не превышает 2 мм, что подтверждает правильность полученной ХОС ВОП потому, что, как показывает практика, нанесение огнезащитных вспучивающихся покрытий, слоем более 2 мм нецелесообразно, так как при толщине более 2 мм слой огнезащитного покрытия вспучивается неравномерно. Это приводит к неоднородности вспучивающегося защитного слоя, снижению его прочности и разложению [13].

Как показали исследования вариантов получения ТФХ бетона, их нужно искать как функции от температуры, а коэффициент удельной объемной теплоемкости ВОП нужно задавать как постоянную величину, так как он слабо влияет на величину среднеквадратического отклонения (1).

Исследование используемого количества термопар (1 или 2) для определения ТФХ бетона, ВОП, а затем ХОС ВОП показало следующее. Для более точного определения ТФХ бетона, ВОП, а затем ХОС ВОП нужно использовать показания двух термопар, одна из которых установлена в бетоне (рис.2 и 13).

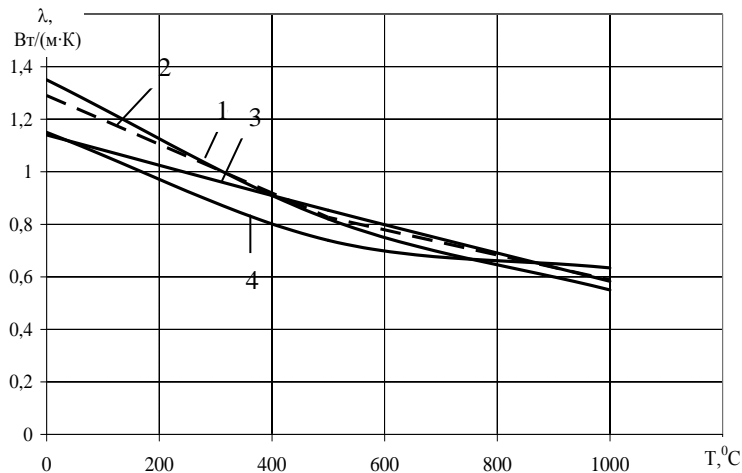


Рисунок 13 – Зависимости эффективных коэффициентов теплопроводности бетона от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная решением ОЗТ по показаниям двух термопар, кривая 3 – зависимость, полученная решением ОЗТ по показанию термопары с необогреваемой поверхности, кривая 4 – зависимость, полученная решением ОЗТ по показанию термопары на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности.

Критерий среднеквадратичного отклонения при определении ТФХ бетона по одной термопаре, установленной с необогреваемой поверхности, ниже в среднем на 5°C , чем по термопаре, установленной на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности, но как видно из рис. 13, показаний только одной термопары недостаточно для максимально точного определения ТФХ бетона.

Схема РЭМ и основные составляющие его МО, которые были исследованы и получены в этой работе, изображены на рис. 14.

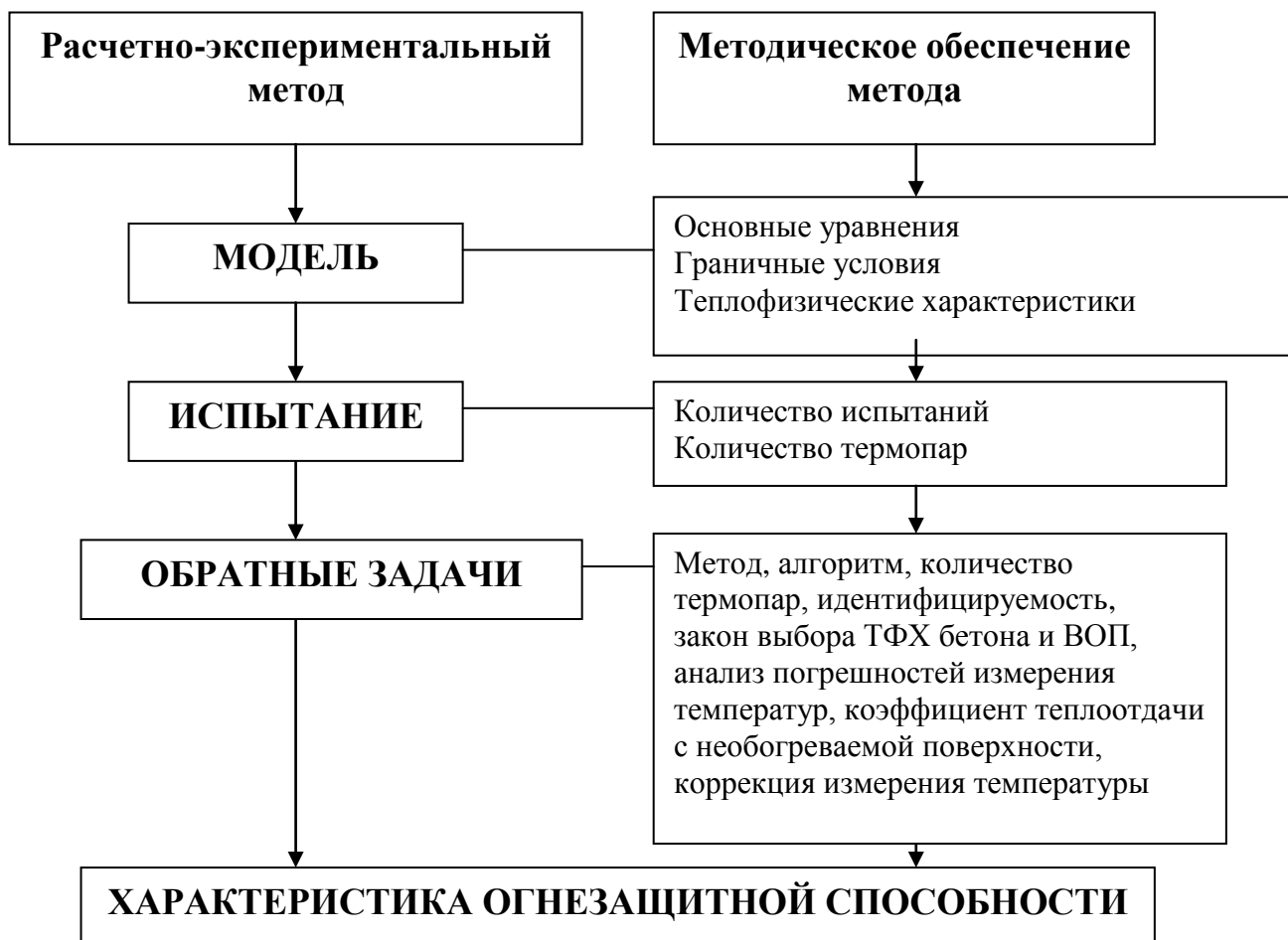


Рисунок 14 – Схема расчетно-экспериментального метода и основные составляющие его методического обеспечения.

Таким образом, составляющими и алгоритмическими шагами МО для определения ХОС ВОП являются (рис. 14):

1. Выбрать математическую модель процессов тепломассообмена, происходящих в исследуемом объекте, описанную в (2)-(9), которая адекватно описывает распределение температур с необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности образцов во время их испытаний в огневой печи.

2. Выбрать один образец исследуемой бетонной перегородки без ВОП и другой образец с выбранной толщиной ВОП и провести одно испытание этих образцов с двумя термопарами, установленными с необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности для определения ТФХ бетона и ВОП и далее ХОС ВОП исследуемого огнезащитного покрытия.

3. Выбрать метод решения ОЗТ [15] для оценки (идентификации) параметров в общем случае нелинейных математических моделей (в том числе моделей процессов тепломассопереноса).

4. Выбрать функциональное представление ТФХ бетона как функции от температуры, коэффициент теплопроводности ВОП - как функцию от температуры, а удельную объемную теплоемкость ВОП как постоянную величину.

5. Для определения ХОС ВОП сначала необходимо найти ТФХ бетона на образце без покрытия, а потом ТФХ ВОП на образце бетона с ВОП, используя найденные ТФХ бетона.

6. Коэффициент теплоотдачи с необогреваемой поверхности бетона α задавать равным $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

7. При решении ОЗТ провести поиск координаты внутренней термопары, путем выбора заданного положения термопары в сторону необогреваемой поверхности, тем самым имитируя уменьшение температуры из-за оттока температуры по электродам термопар.

8. Определить ХОС ВОП, используя найденные ТФХ бетона и ВОП.

Разработанное МО было применено для получения ХОС ВОП по результатам огневых испытаний бетонных плит, обработанных покрытием Феникс СТВ. Для этого были проведены натурные огневые испытания бетонной перегородки, толщиной 60 мм, обработанной ВОП Феникс СТВ, средней толщиной 1,5 мм. Термопары устанавливали с необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности. Сверлили отверстия для термопар на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности (вдоль теплового потока (рис. 15)).

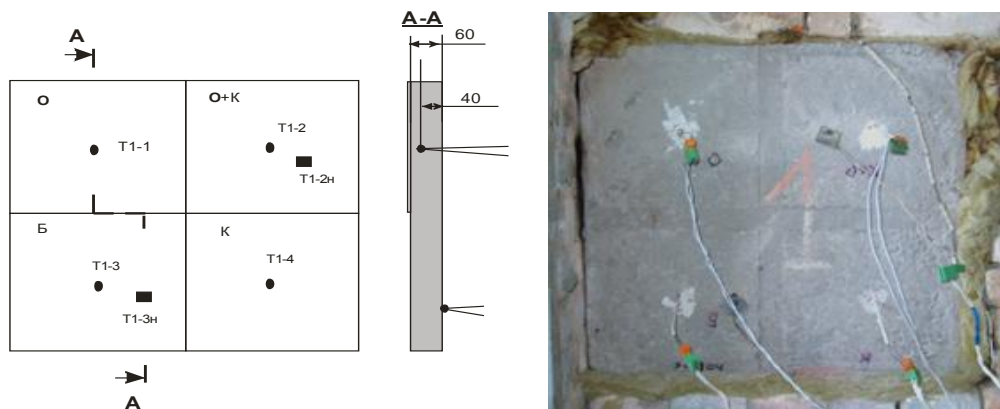


Рисунок 15 – Схема расположения термопар на перегородке и вид перегородки перед огневыми испытаниями с необогреваемой стороны: О – огнезащитное покрытие; К – грунтовка; Б – бетон

В результате решения ОЗТ и ПЗТ были получены ТФХ бетона и ВОП по данным натурных огневых испытаний (рис. 16), с учетом коррекции измерения температуры на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности к необогреваемой поверхности. При этом найденный коэффициент удельной объемной теплоемкости ВОП был равен $1,54 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{К}$. Критерий среднеквадратичного отклонения экспериментальных и расчетных температур составил $7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 17).

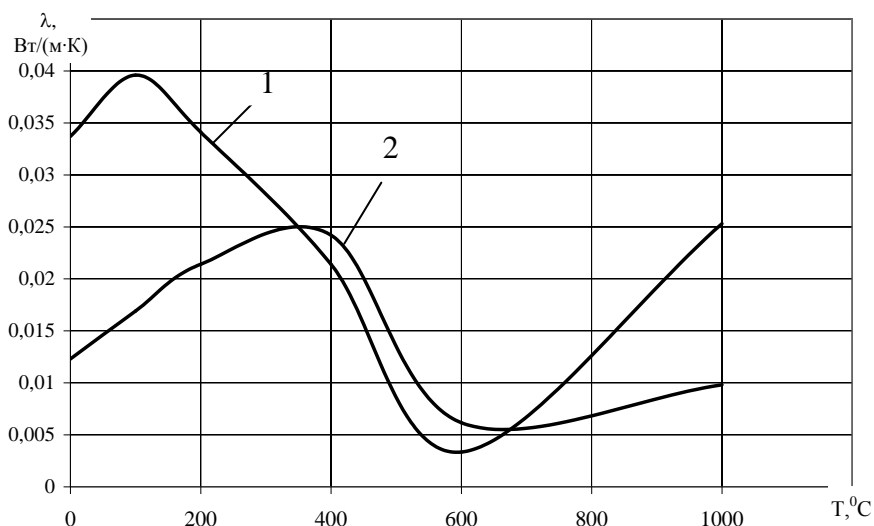


Рисунок 16 – Зависимости коэффициента теплопроводности ВОП от температуры. Кривая 1 – точная зависимость, кривая 2 – зависимость, полученная решением ОЗТ по данным огневых испытаний

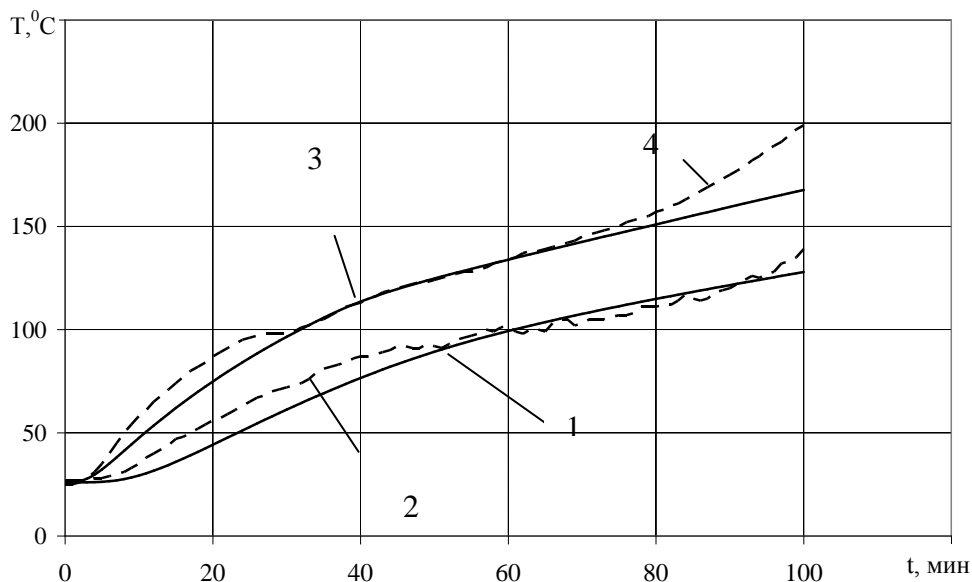


Рисунок 17 – Зависимости температуры от времени в местах измерения температур для образца бетона с ВОП. Кривая 1 – точная кривая на необогреваемой поверхности, 2 – расчетная кривая там же; 3 – точная кривая на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности; кривая 4 – расчетная кривая там же

Испытания образцов проводились при температурном режиме, близком к режиму стандартного пожара (рис. 18).

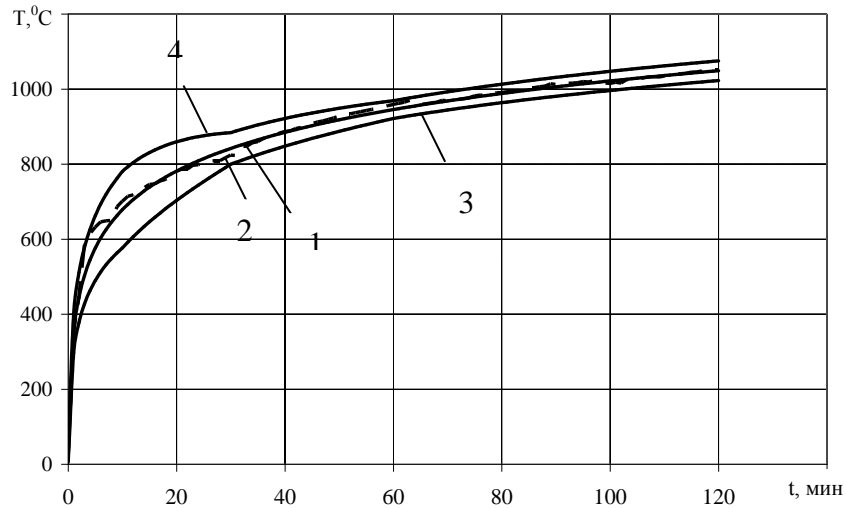


Рисунок 18 – Зависимости температуры в печи от времени огневого воздействия на обогреваемой поверхности бетонного образца (толщиной 60 мм) с ВОП, толщиной 1,5 мм. Кривая 1 – кривая стандартного температурного режима, кривая 2 – реальная кривая изменения температуры в печи; 3 – допустимые при испытаниях минимальные значения температуры в печи; 4 – допустимые при испытаниях максимальные значения температуры в печи

Полученные ТФХ использовать для нахождения ХОС ВОП, что и есть конечным этапом работы (рис. 19). Определение ТФХ бетона и ВОП одновременно решением ОЗТ не дает возможность найти их корректно.

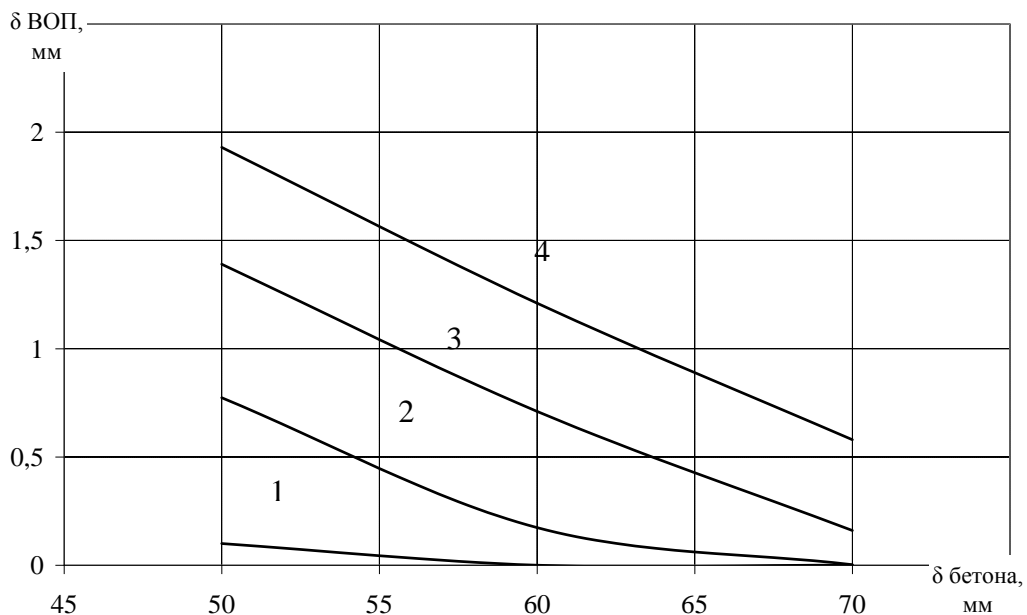


Рисунок 19 – Характеристика огнезащитной способности ВОП Феникс СТВ, полученная решением ОЗТ по данным огневых испытаний для пределов огнестойкости: 1 – 60 мин; 2 – 90 мин; 3 – 120 мин; 4 – 150 мин

Выводы.

1. Разработано МО определения ХОС ВОП бетонных конструкций, которое позволяет с контролируемой точностью определять ТФХ бетона (максимальная погрешность до 39 %), ВОП (максимальная погрешность до 38 %), а затем и ХОС (максимальная погрешность 11 %) для разных пределов огнестойкости.

2. Для разработки МО использовали решение тестовых (методических) задач по результатам ВЭ, в рамках которого определили: влияние погрешностей в измерении

температуры, законы выбора ТФХ бетона и ВОП, количество термопар для измерения температуры, влияние коэффициента теплоотдачи с необогреваемой поверхности на точность определения ХОС.

3. Сделан вывод о том, что для определения ХОС ВОП сначала необходимо находить ТФХ бетона на образце без покрытия, а потом ТФХ ВОП на образце бетона с ВОП.

4. Сделан вывод об идентифицируемости параметров тепловой модели: ТФХ бетона и теплопроводность ВОП нужно искать как функции от температуры, а коэффициент удельной объемной теплоемкости ВОП нужно задавать как постоянную величину.

5. Минимальное количество термопар, необходимых для определения ХОС ВОП должно быть 2, - с необогреваемой поверхности и на глубине 20 мм от обогреваемой.

6. При определении ТФХ бетона и ВОП необходимо также искать координату внутренней термопары (сдвинутую в сторону необогреваемой поверхности образца) для коррекции оттока тепла по ее электродам.

7. Проведены исследования по определению влияния коэффициента теплоотдачи α с необогреваемой поверхности на точность определения ТФХ бетона, ВОП, ХОС ВОП. Показано, что при $\alpha=5$ Вт/(м²·К) наблюдается наиболее точная сходимость расчетных и экспериментальных температур, по сравнению со значениями $\alpha=3$ и 7 Вт/(м²·К).

8. Достаточно испытаний одного образца с одной толщиной ВОП для определения ХОС ВОП.

9. Разработанное МО апробировано при определении ХОС ВОП Феникс СТВ по результатам натуральных огневых испытаний бетонных перегородок без покрытия и с покрытием.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Эффективность вспучивающихся огнезащитных покрытий железобетонных конструкций при различных режимах пожара / П.Г. Круковский, Е.В. Качкар, А.И. Ковалев [и др.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – №21. – С. 75-83.
2. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV13381-4:2002, NEQ): ДСТУ Б В. 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. - К.: Укрархбудинформ, 2007. – 53с. – (Державний стандарт України).
3. Цвиркун С.В. Усовершенствование метода определения огнезащитной способности покрытий металлических конструкций: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Цвиркун Сергей Викторович. – К., 2006. – 146 с.
4. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. - К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).
5. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена / Алифанов О.М. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
6. Алифанов О.М. Экстремальные методы решения некорректных задач / Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. – М.: Наука, 1988. – 288 с.
7. Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем / [О.М. Алифанов, П.Н. Вабищевич, В.В. Михайлов и др.]. – Учебное пособие, М.: Логос, 2001. – 400 с.
8. Артюхин Е.А. Определение коэффициента температуропроводности по данным эксперимента / Е.А. Артюхин // Инж.-физ. журн. – 1975. – № 1 (29). – С. 87-90.
9. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design (Еврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій – Частина 1-2: Загальні вимоги. Вогнестійкість).

10. Круковський П. Розробка й апробація методичного забезпечення застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення залежності товщини перегородок від межі вогнестійкості / Павло Круковський, Євгеній Качкар // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2009. - № 3. – С. 97-113.
11. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – К., Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.
12. Качкар Е.В. Обоснование параметров трехслойных перегородок с минераловатными плитами для зданий и сооружений с учетом их огнестойкости: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Качкар Евгений Владимирович. – К., 2009. – 157 с.
13. Круковский П.Г. Определение огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий на железобетонных конструкциях / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев, Е.В. Качкар // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2010. – №22 (2). – С. 38-44.
14. Кошмаров Ю.А. Теплотехника: учебник для вузов / Кошмаров Ю.А. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.: ил.
15. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров / Носач В.В. – М.: МИКАП, 1994. – 382 с.

ABSTRACTS / АННОТАЦІИ

UDC 614.8

Yu.A. Abramov, O.E. Bezouglov, V.M. Gvozd

DETERMINATION OF CONSTANT TO TIME OF SENSIBLE ELEMENT OF THERMAL FIRE SENSORS AT THE AUTONOMOUS TESTS

Algorithms and charts of their apparatus realization for determination of size of permanent to time of thermal fire sensors at the autonomous tests are resulted.

УДК 614.8

Ю.О. Абрамов, О.Е. Безуглов, В.М. Гвоздь

ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ЧАСУ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ПРИ АВТОНОМНИХ ВИПРОБУВАННЯХ

Наведені алгоритми і схеми їх апаратурної реалізації для визначення величини сталої часу теплових пожежних сповіщувачів при автономних випробуваннях.

UDC 614.84

M. Andrienko Cand. Of Sc. (Eng), A. Tishenko Cand. Of Sc. (Eng), E. Tishenko

DEFINITION OF KEY PARAMETERS OF THE EMERGENCY EFFLUENCE AND BURNING OF HYDROCARBONS

Features of an emergency effluence and burning of hydrocarbons are considered. On the basis of the comparative analysis the optimum order of definition of key parameters of a torch depending on modes of an effluence of hydrocarbons is resulted.

УДК 614.84

Н.В. Андриенко к.и.н., А.М. Тищенко к.т.н., доц., Е.А. Тищенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ И ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Рассматриваются особенности аварийного истечения и горения углеводородов. На основании сравнительного анализа приведен оптимальный порядок определения основных параметров факела в зависимости от режимов истечения углеводородов.

UDC 678.5.046

O.Berezovsky, I. Maladyka, Cand. Of Sc. (Eng), N. Saenko, Cand. Of Sc. (Eng), R. Bykov, Cand. Of Sc. (Eng), N. Bruev, Cand. Of Sc. (Eng)

ESTIMATION OF THERMAL - OXIDATIVE BREAKDOWN AND BURNING QUALITY OF REACTIVE OLIGOMERS

Thermal-oxidative breakdown of reactive oligomers and burning quality according to oxygen index are studied. It is found, that the fillers loading can significantly reduce the exothermic effect in the process of thermal-oxidative breakdown, which leads to decrease of burning quality of modified oligoestercyclocarbonate oligomers.

УДК 678.5.046

А.І. Березовський, І.Г. Маладика, к.т.н., доц., Н.В. Сасенко, к.т.н., Р.А. Биков, к.т.н., М.О. Бруєв, к.т.н.

ОЦІНКА ТЕРМООКИСЛЮВАЛЬНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ І ГОРЮЧОСТІ РЕАКЦІЙНОЗДАТНИХ ОЛІГОМЕРІВ

Вивчена термоокислювальна деструкція реакційноздатних олігомерів і горючість за кисневим індексом. Встановлено, що введення наповнювачів дозволяє істотно зменшити екзотермічний ефект в процесі термоокислювальної деструкції, що призводить до зниження показника горючості модифікованих олігоефірциклокарбонатних олігомерів.

UDC 658.382.3: 614.841

V. I. Bikov, doctor of engineering sciences, professor, V. L. Tsikanovskiy

THE EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCHING OF ENTRANCE IMPEDANCE OF THE OPERATOR'S HANDS DURING THE APPLICATION OF IMPULSE FIRE EXTINGUISHERS

It is presented the experimental stand which allows to investigate an entrance impedance of the operator's hands during the action of the loadings, similar themes, which arise at use of impulse fire extinguishers.

УДК 658.382.3: 614.841

В.И. Быков, д.т.н., проф., В.Л. Цикановский

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВХОДНОГО ИМПЕДАНСА РУК ОПЕРАТОРА ВО ВРЕМЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ОГнетушителей

Представлен экспериментальный стенд, который позволяет исследовать входной импеданс рук оператора во время действия нагрузок, аналогичных тем, которые возникают при использовании импульсных огнетушителей.

UDC 536.241.46

V. Vashchenko, D-r of Technical Science, Prof., P. Zaika, Cand. of Technical Science, Docent, O. Kyrychenko, Cand. of Technical Science, Docent, S. Shchepak, Docent, A. Blashchuck, Docent

INVESTIGATION OF THE INTENSITY OF DISPERSION OF PARTICLES OF MAGNESIUM IN THE FLAME ZONE DURING COMBUSTION OF NITRATE-MAGNESIUM SYSTEM

The physical mechanism of the impact of small angular velocity of the axisymmetric rotation (10000 rpm/minute) on the process of combustion of condensed nitrate-magnesium system was examined. The experimental research of the influence of drag force, ascensional power and centrifugal force on magnesium particle was analyzed.

УДК 536.241.46

В. А. Ващенко, д.т.н., проф., П. І. Заїка, к.т.н., доц., О. В. Кириченко, к.т.н., доц., С. В. Щепак, А.Д. Блащук

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДИСПЕРГУВАННЯ ЧАСТОК МАГНІЮ В ЗОНУ ПОЛУМ'Я ПРИ ГОРІННІ НІТРАТНО-МАГНІЄВИХ СИСТЕМ

Розглянутий фізичний механізм впливу невеликих кутових швидкостей осесиметричного обертання ($\omega \leq 10000$ об/хв) на процес горіння конденсованих нітратно-магнієвих систем. Проведений аналіз експериментальних досліджень дії на частки магнію сили лобового опору, підйомної і відцентрової сил.

UDC 533.6.011.6:614.628

A. Vynohradov, PhD of physics, associate professor

CALCULATION OF TRAJECTORIES OF WATER DROPS TAKING INTO ACCOUNT THE REAL DEPENDENCE OF THE AERODYNAMIC FACTOR

The mathematical model of movement of a spherical drop of water in the air environment is presented. Cases of constant aerodynamic factor and its experimental dependence on Reynolds's number, set by means of approximating function are considered. On the basis of the received calculation formulas comparative numerical calculations are executed and graphic dependences for both cases are constructed.

УДК 533.6.011.6:614.628

А.Г. Виноградов, к. ф.-м. н., доц.

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИЙ ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Представлена математическая модель движения сферической капли воды в воздушной среде. Рассмотрены случаи постоянного аэродинамического коэффициента и его экспериментально определенной зависимости от числа Рейнольдса, заданной с помощью аппроксимирующей функции. На основе полученных расчетных формул выполнены сравнительные численные расчеты и построены графические зависимости для обоих случаев.

UDC 614.841

B. Grigorjan, Cand. Of Sc. (Eng), S. Tsvirkun, Cand. Of Sc. (Eng), N. Grigorjan

DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS AND FIREPROOF ABILITY OF FIREPROOF COVERAGE OF «ENDOTHERM 210104»

The work focuses on the definition of thermophysical characteristics of fireproof coverage of "Эндотерм 210104" based on the results of fire tests and also the determination of fireproof ability of coverage on the basis of defined thermophysical characteristics.

УДК 614.841

Б.Б. Григорьян, к.т.н., доц., С.В. Цвиркун, к.т.н., Н.Б. Григорьян

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ «ЭНДОТЕРМ 210104»

В работе изложено определение теплофизических характеристик огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» по данным результатам огневых испытаний, а также определение огнезащитной способности покрытий на основе полученных теплофизических характеристик.

УДК 614.841

А.А. Дядюшенко, В.И. Томенко, А.В. Миненко

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ФАКТУ ПОЖАРА

Представлена математическая модель первичной обработки данных по факту пожара для специализированных средств вычислительной техники мобильной связи. Предложена функция управления информационными потоками данных в сети массового обслуживания с ожиданием, которая функционирует на основе двухканальной системы передачи данных. Выполнены численные расчеты и представлены графические зависимости.

UDC 614.841

O.O.Dyadyushenko, V.I.Tomenko, O.V. Minenko

MODEL OF PRIMARY COMPUTATIONAL PROCESS ON FACT OF FIRE

The mathematical model of the primary data processing in fact of fire for the specialized facilities of the computing engineering of mobile communication is represented. The function of management by informative data flows in the network of mass service with expectation, which functions on the basis of the twochannel system of data communication, is offered. Numeral calculations and represented graphic dependences are executed.

UDC 614.841.332

Y. Kachkar, Cand. Of Sc. (Eng), B. Grigoryan, Cand. Of Sc. (Eng), Lect., S. Bychenko Cand. Of Sc. (Eng), I.Gritsina, Cand. Of Sc. (Eng), Lect, Yu. Kuprienko

PARAMETERS IDENTIFIABILITY FOR MODEL OF THE THERMAL STATE OF THREE-LAYER PARTITIONS WITH PLATES OF MINERAL WOOL

The amount of fire tests of the three-layered partitions is determined in the article and reasonable, data of the temperature measuring of which provide sufficient exactness for authentication the thermal characteristics of the internal filling of partition and receipt of dependence of minimum thickness of partition from the required limit of fire-resistance.

УДК 614.841.332

*Є.В. Качкар, к.т.н., Б.Б. Григор'ян, к.т.н., доц., С.М. Биченко, к.і.н.,
І. М. Грицина, к.т.н., доц., Ю.А. Купрієнко*

ІДЕНТИФІКОВАНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ТЕПЛОВОГО СТАНУ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ З МІНЕРАЛОВАТНИМИ ПЛИТАМИ

У статті визначена й обґрунтована кількість вогневих випробувань тришарових перегородок, дані температурних вимірів яких забезпечують достатню точність для ідентифікації теплофізичних характеристик внутрішнього заповнення перегородки й розрахунку залежності мінімальної товщини перегородки від необхідної межі вогнестійкості.

UDC 614.841:536.46

O. V. Kiritchenko

THERMODYNAMICS METHODS OF PROGNOSTICATION OF FIRE-DANGEROUS PROPERTIES PYROTECHNIC NITRATE-MAGNESIUM MIXTURES

The results of thermodynamics computations of temperature and composition of products of combustion of pyrotechnic mixtures of magnesium with nitrate to sodium and by additions of paraffin, stearin, naphthalene and anthracene (coefficient of surplus of oxidant $\alpha = 0,1...6,0$; relative maintenance of addition $\varepsilon = 0,05...0,20$; external pressure $P = 10^5...10^7$ Pa), determining their fire danger for the surrounding objects at the premature work in the conditions of saving, and at the start from different options are presented.

УДК 614.841:536.46

О. В. Кириченко

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ НИТРАТНО-МАГНИЕВЫХ СМЕСЕЙ

Представлены результаты термодинамических расчетов температуры и состава продуктов сгорания пиротехнических смесей магния с нитратом натрия и добавками парафина, стеарина, нафталина и антрацена (коэффициент избытка окислителя $\alpha = 0,1...6,0$; относительное содержание добавки $\varepsilon = 0,05...0,20$; внешнее давление $P = 10^5...10^7$ Па), определяющих их пожарную опасность для окружающих объектов при преждевременном срабатывании как в условиях сохранения, так и при запуске из различных установок.

UDC 614

V.V. Kovalyshyn, Cand. Of Sc. (Eng), Assoc. Prof, S.Yu. Dmytrovskyy, Cand. of Sc. (Eng), Ya.B. Kyryliv, Cand. of Sc. (Eng), O.V. Khlevnoy

IMPROVEMENT OF BUILDING STRUCTURES TESTING ON NUCLEAR POWER PLANTS

The article analyzes the temperatures used for building constructions fire-resistance testing. The mathematical calculation and the comparison of temperature fields in the building structure at standard temperature and the temperature range specified by the hydrocarbon curve was held. The necessity of detailed investigation of temperature during fires in machine rooms of NPS.

УДК 614

В.В. Ковальшин, к.т.н., доц., С.Ю. Дмитровский, к.т.н., Я.Б. Кырылив, к.т.н., А.В. Хлевной

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

В работе проанализированы температурные режимы, используемые при испытании строительных конструкций на огнестойкость. На основе математической модели проведено расчетное сравнение температурных полей в строительных конструкциях при стандартном температурном режиме и при температурном режиме, заданном углеводородной кривой. На основе полученных данных обоснована необходимость детального исследования температурного режима пожаров в машинных залах АЭС.

UDC 614.841

Yu. O. Kopystynskyu, V.M. Balanyuk, Cand. Of Sc. (Eng), Lavrenyuk O.I., Cand. Of Sc. (Eng)

PHENOMENONS AND PROCESSES OCCURRING UNDER THE INFLUENCE OF SHOCK ACOUSTIC WAVES IN DISPERSED ENVIRONMENTS

It was reviewed the basic processes occurring in disperse systems under the influence of acoustic fields of constant and periodic operations. Drawbacks of the use of different types of acoustic effects on the dispersed systems in terms of change in the efficiency of aerosol extinction were defined in this paper. There were proposed fires fighting dispersed systems, such as aerosol-

based one, on the basis of inorganic salt of potassium with the simultaneous impact of shock acoustic waves on the flame. Keywords: fire extinguishing aerosol, shock acoustic wave, disperse system, sound activation of the aerosol.

УДК 614.841

Ю.О. Копыстинский, В.М.Баланюк, к.т.н., О. И. Лавренюк, к.т.н.

**ЯВЛЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ
В ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ**

В работе проведен обзор процессов, которые возникают в дисперсных системах под действием акустических полей постоянного и периодического действия. Определены недостатки использования разнотипных акустических влияний на дисперсные системы с позиции изменения эффективности тушения аэрозолем на основании неорганических солей калия при одновременном влиянии на пламя ударных акустических волн.

UDC 614.838

A. Levchenko, Cand. Of Sc.(Eng), O Djulai, Cand. Of Sc.(Eng), D. Levchenko, O. Zemlaynskiy

**IMPROVEMENT OF THE METHOD OF GAS ANALYSIS FOR EXPOSURE OF TAILINGS OF
POISONOUS, COMBUSTIBLE AND EXPLOSIVE MATTERS DURING ESTABLISHMENT
OF ORIGIN REASONS OF FIRES AND EXTRAORDINARY SITUATIONS**

A method is represented for the operative exposure of small concentrations of hazardous substances during the origin of fire or extraordinary situation.

УДК 614.838

А.Д. Левченко к.т.н., доц., А.Н. Джулай к.т.н., доц., Д.Е. Левченко, О.Н. Землянский

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ГАЗОВОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОСТАТКОВ ЯДОВИТЫХ И ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ НА МЕСТЕ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА ИЛИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

Представлен метод для оперативного выявления малых концентраций ядовитых и пожаровзрывоопасных веществ на месте возникновения пожара или чрезвычайной ситуации.

UDC 614.841

A.L. Lega

**MODELING THE PROCESS OF GAS EXCHANGE IN A ROOM WITH A VIEW TO
DETERMINING CAUSES OF FIRE IN THE INVESTIGATION**

This article shows the possibility of using the simulation of gas exchange in a room with a view to prove the cause and location of fire during the investigation.

УДК 614.841

А.Л. Лега

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ С ЦЕЛЬЮ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ**

Эта статья показывает возможность использования моделирования газообмена в комнате с целью доказательства причины и места возникновения пожара в ходе расследования.

UDC [614.841.2:622.12.2]:005.334

V.V. Matayev, candidate of Engineering, senior scientific worker

ESTIMATE OF THE FIRE RISK ON UNDERGROUND OBJECTS OF COAL MINES

Taking into account specifics of the mine production it is proposed to take advantage of the risk as a possibility of origin of hazardous factors of the fire and their influence on the mine workers to estimate the level of the fire safety of the underground objects. On the base of the standard worked out the calculation of the fire risk for a possibility of escape (self –rescue) of the mine workers from the emergency district is fulfilled.

УДК [614.841.2:622.12.2]:005.334

В.В. Мамаев, к.т.н., с.н.с..

ОЦЕНКА РИСКА ПОЖАРА НА ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С учетом особенности шахтного производства предложено для оценки уровня пожарной безопасности подземных объектов использовать риск как вероятность возникновения опасных факторов пожара и воздействия их на горняков. На основании разработанного стандарта выполнен расчет пожарного риска для возможности эвакуации (самоспасения) горняков с аварийного участка.

UDC 614.84

O. Martyn, Cand. Of Sc. (Eng)

ECONOMIC EFFICIENCY OF FIGHTING MEASURES: ITS ESSENCE AND CALCULATION

Article is devoted to improving the economic justification and calculation of economic benefit from the introduction of fire-making aimed at improving fire safety of various facilities. Proposed to use formulas and coefficients of the degree of protection in the implementation of various fire-making.

УДК 614.84

О.М.Мартын, к.э.н., доц.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ РЕШЕНИЙ: ЕЕ СУЩНОСТЬ И ВЫЧИСЛЕНИЕ

Статья посвящена совершенствованию экономического обоснования и расчета экономического эффекта от внедрения противопожарных решений, направленных на повышение уровня пожарной безопасности объектов различного назначения. Предложены формулы и коэффициенты степени защиты при осуществлении различных противопожарных решений.

UDC 614.842

V.P. Melnik

USE OF REVERSE MODELS OF SAM FOR DETERMINATION OF REJECTION OF EXECUTIVE BRANCHES OF THE SYSTEMS OF FIRE SAFETY

Two questions are examined here. The first one is the use of reverse models of SAN for the synthesis of the systems of fire safety and the second one is a possibility of choice of terms of formation of structure of the systems with the set descriptions that are the best after the chosen criteria.

УДК 614.842
В.П. Мельник

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАТНЫХ МОДЕЛЕЙ САУ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассматривается вопрос использования обратных моделей САУ для синтеза систем пожарной безопасности и возможности выбора условий образования структуры систем с заданными характеристиками, которые являются наилучшими по выбранным критериям.

UDC 004.891:629.735

*O. Melnyk, V. Roudnitsciy, D-r Of Technical Science, Prof.,
R. Melnyk, V. Tomenko, Cand. Of Technical Science, Docent*

DAILY MONITORING OF LOAD POWER ON THE ELECTRIC SYSTEM IN THE DWELLING-HOUSES

In the article one of principal reasons of origin of fires is considered in dwelling-houses is violation of rules of fire safety during setting and exploitation of elektroustanovok. The analysis of most widespread elektrodevicese, which are in an apartment is done. Certainly period of days, when loading of the electric system arrives at a maximum. Findings are a feedstock to prognostication of pre-conditions of origin of fires in dwelling-houses on the basis of method of group account of arguments.

УДК 004.891:629.735

О.Г. Мельник, В.Н. Рудницкий, д. т. н., проф., Р.П. Мельник, В.И. Томенко, к. т. н., доц.

СУТОЧНЫЙ МОНИТОРИНГ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОСЕТИ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

В статье рассмотрена одна из основных причин возникновения пожаров в жилых домах – нарушение правил пожарной безопасности при установке и эксплуатации электроустановок. Сделан анализ самых распространенных электроприборов, которые находятся в квартире. Определен период суток, когда нагрузка электросети достигает максимума. Полученные данные являются исходным материалом к прогнозированию предпосылок возникновения пожаров в жилых домах на основе метода группового учета аргументов.

UDC 519.654

O.M. Morgun, A.P. Marchenko

MODIFICATION OF LEAST-SQUARES METHOD FOR PROBLEMS OF PROGNOSTICATION

The calculation formulas of the modified least-squares method are shown out for minimization of sum of squares of rejections of experimental points from some line.

The results of numeral experiment are presented on realization of method.

УДК 519.654

А.Н. Моргун, А.П.Марченко

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Выведены расчетные формулы модифицированного метода наименьших квадратов для минимизации суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от некоторой прямой.

Представлены результаты численного эксперимента по реализации метода.

UDC 614.8.084

S. Mosov, Doctor of Military Sciences, Professor; Yu. Dendarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer; V. Shcherbina

THE GROUNDING OF EXPEDIENCY OF THE COMPLEX APPROACH TO THE ESTIMATION AND PREDICTION OF THE FIRE SAFETY DEVEL OF UNITS OF ADMINISTRATIVE AND ECONOMIC DESTINATION

The expediency of the complex approach to the estimation and prediction of the fire safety level of units of administrative and economic destination is grounded in accordance with the results of the statistics analysis and causes of fire breaks up.

УДК 614.8.084

С.П. Мосов, д. воен. н., проф., Ю.Ю. Дендаренко, к.т.н., доц., В.С.Щербина

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНИВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОВНЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АДМИНИСТРАТИВНО-ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Согласно результатам анализа статистики и причинных условий возникновения пожаров на объектах промышленной деятельности в Украине, а также современного инструментария определения противопожарного состояния объектов административно-промышленного назначения обоснована целесообразность внедрения подхода на принципах комплексного оценивания и прогнозирования уровня их пожарной безопасности.

UDC 624.012

A.V.Pozdeev, V.I.Osipenko, V.M. Gvozd, S.I.Stashenko, V.M.Nujanzin

INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIONS IN CONCRETES ON PROVIDING OF FIRE-RESISTANCE OF REINFORCE-CONCRETE BUILD CONSTRUCTIONS

The analysis of modern national and foreign normative-technical base is conducted in industry of application of additions-modifiers of composition of concrete. Positions are considered in setting of norms in relation to providing of fire-resistance of reinforce-concrete constructions with addition of components for the improvement of qualities of concrete. The review of scientific researches is conducted in industry of influence of additions in the complement of concrete on the fire-resistance of build constructions. Directions of further calculation-experimental researches are outlined in relation to determination of fire-resistance of reinforce-concrete constructions with the modified composition of concrete.

УДК 624.024

А.В.Поздеев, В.И.Осипенко, В.М.Гвоздь, С.И.Сташенко, В.М.Нуянзин

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В БЕТОНЫ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проведен анализ современной национальной и зарубежной нормативно-технической базы в отрасли применения добавок-модификаторов состава бетона. Рассмотрены положения

в нормировании относительно обеспечения огнестойкости железобетонных конструкций с добавлением компонентов для улучшения качеств бетона. Проведен обзор научных исследований в отрасли влияния добавок в состав бетона на огнестойкость строительных конструкций. Очерчены направления дальнейших расчетно-экспериментальных исследований относительно определения огнестойкости железобетонных конструкций с модифицированным составом бетона.

UDC 624.012

S.V. Pozdeyev

EXPERIMENTAL-CALCULATION METHOD OF DETERMINATION OF ELASTIC-YELDS
PROPERTIES OF ARMATURE STEEL IN THE CONDITIONS OF HEATING AT A FIRE

In the article the results of experimental researches are given in relation to the conduct of armature steel at the high temperatures of heating the that developed sequence of procedures experimental and calculation for determination of mechanical descriptions of armature in the conditions of heating for application of the specified methods of calculation of scopes of fire-resistance of reinforced concrete build constructions.

УДК 624.012

С.В.Поздеев

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНО-
ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АРМАТУРНОЇ СТАЛІ В УМОВАХ НАГРІВУ ПРИ
ПОЖЕЖІ

У статті подані результати експериментальних досліджень щодо поведінки арматурної сталі за високих температур нагріву та розроблена послідовність експериментальних та розрахункових процедур для визначення механічних характеристик арматури в умовах нагріву для застосування уточнених методів розрахунку меж вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій.

UDC 614.841

O.I. Pursky, S.S. Fedorenko

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND OPERATION OF EXPERT SYSTEMS FOR FIRE
SAFETY

Proposed principles of construction and operation of the modern expert systems fire safety (ESFS). The operation is based on the use of algorithms ESFS, used for solving the problems of the mechanisms of automatic reasoning (conclusion) and methods based on search relevance. Knowledge Base is formed on the basis of ESFS knowledge and experience of leading specialists of the subject area.

УДК 614.841

Пурский О.И., Федоренко С.С.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Определены принципы построения и функционирования современных экспертных систем пожарной безопасности (ЭСПБ). Функционирование ЭСПБ базируется на использовании алгоритмов, использующих для решения задач механизмы автоматического

логического вывода, и методы, основанные на релевантности поиска. База знаний ЭСПБ формируется исходя из знаний и опыта ведущих специалистов предметной области.

UDC 678.686:66.046.516

E.Yu. Spirina-Smilka, R.A. Jakovleva, Yu.V.Popov, L.P.Snagoshenko, T.S. Kovtun, I.G.Maladyka

STUDYING OF TECHNOLOGICAL AND PERFORMACE PROPERTIES OF FIRE-PROTECTIVE EPOXYPOLYMER MATERIALS

Influence of co-intercalation graphites on pot life, structure, adhesive strength properties, water and chemical durability of epoxypolymer materials is considered.

УДК 678.686:66.046.516

О.Ю.Спіріна-Смілка, Р.А.Яковлева, Ю.В.Попов, Л.П.Снагощенко, Т.С.Ковтун, І.Г. Маладика

ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОГНЕЗАХИСНИХ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто вплив ко-інтеркальованих графітів на життєздатність, структуру, адгезійно-міцнісні властивості, водо- та хімістійкість епоксидних полімерних матеріалів.

UDC 159.91:654.071.004.15(048)

P.Teslyuk, Cand. Of Sc. (Eng)

INFLUENCE OF PERSONAL FEATURES OF RESCUE SERVICE GUARD OFFICERS OF CIVIL DEFENCE ON THE PROCESS OF MAKING DECISIONS

Rescue service guard officer of civil defence of the Ministry of Emergencies of Ukraine must be able to size up a situation and make a right decision while working in difficult and responsible situations. Combination of high level of intellectual development and emotionally-mental tolerance of guard officer is necessary factor of making effective decisions in emergency situations of his activity.

УДК 159.91:654.071.004.15(048)

П.В.Теслюк, к. психол. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ЛИЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ НАЧАЛЬНИКОВ КАРАУЛОВ ОПЕРАТИВНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРОЦЕСС ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Работа в сложных и ответственных ситуациях предусматривает наличие у начальника караула оперативно-спасательной службы гражданской защиты МЧС Украины умения быстро оценить обстановку и принять правильное решение. Сочетание высоких показателей уровня интеллектуального развития и эмоционально-психической устойчивости начальника караула является необходимой предпосылкой принятия им эффективных решений в экстремальных ситуациях служебной деятельности.

UDC 614.8

E.O.Tishenco, O.E.Bezouglov, Yo.A.Abramov

ANALYSIS OF TEMPORAL DESCRIPTIONS OF THERMAL FIRE SENSORS

The analysis is conducted as it applies to time of work and permanent to time of sensible element of thermal fire sensors.

УДК 614.8

Є.О.Тищенко, О.Є.Безуглов, Ю.О. Абрамов

АНАЛІЗ ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Проведений аналіз часу спрацьовування і сталої часу чутливого елемента теплових пожежних сповіщувачів.

UDC 336.02:614.84

I.P.Chastokolenko, Cand. Of Economic Science, P.P Chastokolenko

ABOUT INFLUENCE OF FIRE RISK ON RISK BANKRUPTCY OF ECONOMIC ENTITIES

In the article the question fire risk in the system of provision stable function of enterprise has been examined. The correlation between complex measures concerning provision fire safety, fire risk and financial-economic coefficients has been researched. The notion of economic stability of economic entities has been investigated.

УДК 336.02:614.84

И.П Частоколенко., к.э.н., доц., П.П. Частоколенко, доц.

О ВЛИЯНИИ ПОЖАРНОГО РИСКА НА РИСК БАНКРОТСТВА СУБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В работе рассмотрен вопрос пожарного риска в системе обеспечения устойчивого функционирования предприятия; исследована взаимосвязь между комплексными мероприятиями относительно обеспечения пожарной безопасности, пожарным риском и финансово-экономическими коэффициентами; рассмотрено понятие экономической устойчивости субъектов хозяйственной деятельности.

UDC 613.155.3

A. Dubenec, V.Chuban, Cand. Of Sc. (Eng), T. Nikitina, Cand. Of Sc. (Eng)

FIRE SAFETY OF MANUFACTURE AND THE USE OF SUBSTANCES IN THE MEAN OF LEGISLATION REACH

In the article was used the system analysis of the European legislation REACH and was offered some steps that should be made by Ukrainian part for the work in conditions of legislation REACH (mark, estimation, authorization and restriction chemicals), including the possibility of gradual adaptation of the provisions of this legislation in Ukraine.

УДК 613.155.3

А.С. Дубенец, В.С. Чубань, к.э.н., Т.В. Никитина, к.соц.н., доц.

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЩЕСТВ В КОНТЕКСТЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА REACH

Проведен системный анализ Европейского законодательства REACH и предложены шаги, которые должны быть сделаны украинской стороной для работы в условиях законодательства “REACH” (регистрация, оценка, авторизация и ограничение химических веществ), в том числе, возможность постепенной адаптации положений этого законодательства в Украине.

UDC 614.841.332

P.G. Krukovskii, Doctor of Engineering Science, Professor, A.I. Kovaliov

TECHNIQUES OF DETERMINATION OF FIREPROOF CAPABILITY CHARACTERISTIC OF INTUMESCENT FIRE-RETARDANT COATINGS ON CONCRETE PARTITIONS USING EXPERIMENT-CALCULATED METHOD

Methodology of determination of fireproof capability characteristic of intumescent fire-retardant coatings on concrete partitions using experiment-calculated method according to firing test data is represented. On the basis of some tests solutions according to computational experiment data the constituents of methodological support were being defined. Methodology includes the following questions of the choice of factors of firing test operation and mathematical analysis of its results: number of testing models and number of these models thermocouple, laws of presentation of thermal characteristics of concrete and intumescent fire-retardant coatings while their determination with the help of inverse solutions and defining of fireproof capability characteristic of intumescent fire-retardant coatings. Besides the temperature measuring uncertainty of models and boundary conditions on unheated surface of models should be taken into consideration. Developed methodology was approved defining the fireproof capability characteristic of intumescent fire-retardant Fenix STV coatings according to the results of full-scale firing tests of concrete partitions while using regret criterion of thermal capacity.

УДК 614.841.332

П.Г. Круковський, д.т.н., проф., А.І. Ковальов

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТІВ, ЩО СПУЧУЮТЬСЯ, НА БЕТОННИХ ПЕРЕГОРОДКАХ РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Викладена методика (методичне забезпечення (МЗ)) визначення характеристики вогнезахисної здатності (ХВЗ) вогнезахисних покриттів, що спучуються (ВОП), на бетонних перегородках розрахунково-експериментальним методом за даними вогневих випробувань. На основі вирішення ряду тестових (методичних) задач за даними обчислювального експерименту (ОЕ) визначалися складові МЗ, що включають в себе такі питання вибору параметрів проведення вогневого випробування і математичної обробки його результатів: кількість випробовуваних зразків і кількість термопар на цих зразках, законів задавання теплофізичних характеристик (ТФХ) бетону та ВОП при їх визначенні за допомогою вирішення обернених задач і визначення ХВЗ ВОП з урахуванням похибок вимірювання температури зразків, а також граничних умов на не обігрівальній поверхні зразків. Розроблене МЗ апробовано при визначенні ХВЗ ВОП Фенікс СТВ за результатами натурних вогневих випробувань бетонних перегородок при використанні критерію втрати їх теплоізолюючої здатності.

АВТОРИ (алфавітний покажчик)

	<i>Стор.</i>
Абрамов Ю.О.....	6, 154
Андрієнко М.В.....	12
Баланюк В.М.....	72
Безуглов О.Є.....	6, 154
Березовский А.І.....	16
Блащук А.Д.....	27
Бруєв М.О.....	16
Биков В.І.....	21
Биков Р.А.....	16
Биченко С.М.....	53
Ващенко В.А.....	27
Виноградов А.Г.....	30
Гвоздь В.М.....	6, 123
Григор'ян Б.Б.....	39, 53
Григор'ян М.Б.....	39
Грицина І.М.....	53
Дендаренко Ю.Ю.....	116
Джулай О.М.....	79
Дмитровський С.Ю.....	67
Дубенець А.С.....	164
Дядюшенко О.О.....	46
Заїка П.І.....	27
Землянський О.М.....	79
Качкар Є.В.....	53
Кирилів Я.Б.....	67
Кириченко О.В.....	27, 59
Ковалишин В.В.....	67
Ковальова І.....	170
Ковтун Т.С.....	142
Копистинський Ю.О.....	72
Круковський П.Г.....	170
Купрієнко Ю.А.....	53
Лавренюк О.І.....	72
Левченко А.Д.....	79
Левченко Д.Є.....	79
Лега А.Л.....	83
Маладика І.Г.....	16, 142
Мамаєв В.В.....	89
Мартин О.М.....	96
Марченко А.П.....	111
Мельник В.П.....	100
Мельник О.Г.....	106
Мельник Р.П.....	106
Міненко О.В.....	46
Моргун О.М.....	111
Мосов С.П.....	116
Нікітіна Т.В.....	164
Нуянзін В.М.....	123
Осипенко В.І.....	123
Поздєєв А.В.....	123
Поздєєв С.В.....	130
Попов Ю.В.....	142
Пурський О.І.....	138
Рудницький В.М.....	106
Саєнко Н.В.....	16
Снагощенко Л.П.....	142

<i>Спирина-Смилка Е.Ю.</i>	142
<i>Сташенко С.І.</i>	123
<i>Теслюк П.В.</i>	149
<i>Тищенко Є.О.</i>	12, 154
<i>Тищенко О.М.</i>	12
<i>Томенко В.І.</i>	46, 106
<i>Федоренко С.С.</i>	138
<i>Хлевной О.В.</i>	67
<i>Цвіркун С.В.</i>	39
<i>Цікановський В.Л.</i>	21
<i>Частоколенко І.П.</i>	158
<i>Частоколенко П.П.</i>	158
<i>Чубань С.В.</i>	164
<i>Щепак С.В.</i>	27
<i>Щербина В.С.</i>	116
<i>Яковлева Р.А.</i>	142

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ У НАУКОВЕ ФАХОВЕ ВИДАННЯ «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА»

**(ВИХОДИТЬ 3 РАЗИ НА РІК, РУКОПИСИ СТАТЕЙ ПРИЙМАЮТЬСЯ
ДО 01.03, ДО 01.07 ТА ДО 01.11 ПОТОЧНОГО РОКУ)**

Тематична спрямованість видання «Пожежна безпека: теорія і практика» – висвітлення проблемних питань і результатів фундаментальних і прикладних наукових досліджень в сфері пожежної безпеки, а також психології діяльності в особливих умовах.

Згідно з постановою ВАК України від 15 січня 2003 р. «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України» у науковій статті мають бути наявні такі необхідні елементи:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження;
- перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. Матеріали для публікації в друкованому та електронному вигляді повинні бути написані українською, англійською або російською мовою й оформлені таким чином:

- у першому рядку ліворуч вказують індекс **УДК** (виділити жирним);
- через рядок (у називному відмінку, прямим шрифтом, по центру) ініціали, прізвище, науковий ступінь, учене звання, місце роботи автора (скорочення наукових ступенів та вчених звань оформити згідно з вимогами ВАК);
- через рядок (по центру великими літерами, виділити жирним) **НАЗВА СТАТТІ**;
- через рядок анотація українською мовою (рекомендований обсяг не більше 500 друкованих знаків), яка вміщує характеристику основної теми, проблеми об'єкта, мету роботи та її результати, представлені в статті (друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12, ліве поле – 3,75 см, праве – 2,75 см).
- через рядок: ключові слова (не менше 3);
- через рядок текст статті;
- через рядок (по центру, великими літерами, жирним шрифтом) **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**. Список літератури оформляється відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 *Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання*;

2. Текст статті має бути набраний шрифтом Times New Roman, 12 кеглем, міжрядковий інтервал одинарний; верхнє і нижнє поле – 2 см, ліве – 2,5 см, праве – 1,5 см; абзац – 1,25 см. **Об'єм матеріалу статті не менше 5 сторінок.**

3. Рисунки та графіки у статтю вставляють в одному з форматів (jpeg, bmp, tif, gif) з роздільною здатністю не менше ніж 300 dpi (якісні оригінали). Написи на рисунках виконують шрифтом основного тексту та розміру. Всі об'єкти в простих рисунках, які зроблені у Word, мають бути обов'язково згруповані.

Текст статті не повинен містити рисунків і/або тексту в рамках, рисунків, розташованих зверху/за текстом й т.ін., тобто текст повинен формуватися таким чином, щоб для всіх об'єктів було встановлено розміщення «у тексті». Складні, багатооб'єктні рисунки з нашаруваннями слід готувати за допомогою графічних редакторів (CorelDraw, PhotoShop та ін.). Підписи під рисунками виконуються згідно з ДСТУ 3008-95 *Документація. Звіти у сфері науки і техніки*.

4. Таблиці подають як окремі об'єкти у форматі Word з розмірами, приведеними до сторінки складання.

Підписи заголовків таблиць виконуються згідно з ДСТУ 3008-95 *Документація. Звіти у сфері науки і техніки*.

5. Формули подають у форматі Microsoft Equation 3.0, вирівнюють по центру посередині тексту і нумерують в круглих дужках з правого краю. Шрифт: звичайний – 12 пт, індекс – 58 %, маленький індекс – 42 %, символ – 150 %, маленький символ – 100 %.

В розмірностях величин як букви, так і цифри записують прямим шрифтом.

6. Вимоги до друкованого рукопису: стаття роздрукована на білих аркушах паперу формату А4 в якості, достатній для коректорського опрацювання, з підписами авторів на кожній сторінці.

7. Вимоги до електронної копії статті: стаття має бути в одному файлі, названому за прізвищем першого автора (латинськими літерами). Для передачі електронної версії статті можна скористатися адресою e-mail: **naucovec@ukr.net**

8. Якщо автори не мають наукового ступеня та вченого звання, то до статті додається рецензія кандидата або доктора наук за профілем даного наукового дослідження.

9. Відповідальність за науковий зміст статті, точність фактів, дат, формул, прізвищ тощо несе автор.

10. Статті, переклад яких здійснено електронними перекладачами, статті з великою кількістю помилок або такі, що не відповідають вимогам щодо технічного оформлення (див. пп. 1-7), до розгляду не приймаються. Рішення про публікацію рукопису статті приймає редакційна колегія збірника. Прорецензована стаття може бути повернута автору на доопрацювання, відхилений оригінал авторові не повертається. В одному номері може бути опублікована тільки одна стаття кожного автора.

До статті на окремому аркуші додаються:

- анотація англійською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12);

- анотація російською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12).

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 614.84

Ю.П. Рак, д.т.н., проф., ЛДУБЖД, О.В. Савченко, к.т.н., доц., НУЦЗУ,
О.І. Шкоруп, к.т.н., с.н.с., УкрНДПБ

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

Представлено розрахунки економічних показників використання гелеутворюючої системи для ліквідації пожеж на об'єктах житлового сектору

Ключові слова: гасіння, гелеутворююча система, житловий сектор, економічний ефект.

Постановка проблеми. Загальноприйнятим критерієм ефективності вогнегасної речовини (ВР) або технічного пристрою для її подачі є час гасіння пожежі. Дослідникам та конструкторам підчас їх розробки також доводиться враховувати й низку інших вимог, у тому числі прораховувати питання економічної доцільності їх використання та експлуатації. Окремо стоїть питання розрахунку економічної ефективності нової ВР при гасінні пожеж у житлових будівлях.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Практично у повному обсязі проблему заливання нижніх поверхів при гасіння пожеж у житловому секторі дозволяє вирішити застосування гелеутворюючих систем (ГУС) [1]. До їх переваг відноситься спроможність легко утримуватись на вертикальних і похилих поверхнях. Отже, коефіцієнт використання гелю ≈ 1 . В результаті досліджень було з'ясовано, що ГУС ефективні до протидії займанню матеріалів, які найбільш широко представлені у будівлях [2].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є визначення економічної ефективності використання води та ГУС для гасіння пожеж у житлових будівлях. Вирішення поставленої задачі відбувалось шляхом порівняння двох варіантів: базового та нового. Базовий варіант передбачав гасіння пожежі водою. За новим варіантом для гасіння передбачалось використання ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,8\%$, $\text{CaCl}_2 - 11,4\%$ [3,4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Для з'ясування економічної ефективності ГУС необхідно проведення відповідних розрахунків, які дозволять порівняти ГУС і традиційну ВР – воду. Задача ускладнюється тим, що на відміну від виробничих приміщень, складів матеріалів тощо, кількість і склад горючого завантаження у квартирах не регламентується.

Із аналізу роботи [2-4] відомі дані стосовно середньої кількості горючого завантаження в сучасній квартирі. Найбільшу частку горючого завантаження складає деревина та вироби на її основі – 47,1%, оббивка меблів – 34,1%, вироби з пластмаси – 11,1%, килими – 7,8%. Але безпосередньої інформації стосовно середньої «ціни» 1 м² квартири, яка включає в себе вартість меблів, майна, оздоблення тощо, в літературі немає.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Економічний результат P від використання ГУС буде визначатися за формулою:

$$P = W_B - W_H, \quad (1)$$

де W_B та W_H – відповідно збитки від пожеж для базового (гасіння водою) та нового варіанту (гасіння ГУС).

Таблиця 1 - Характеристика фізико-механічних властивостей вогнезахисних покриттів, що спучуються

Матеріал	ρ_0 , кг/м ³	φ_0	λ_0 , Вт/(м·К)	μ_n	K	Θ , кДж/кг	$T_{\text{нп}}$, °C	$T_{\text{кп}}$, °C	κ_v	$\Theta \cdot 10^{11}$, Вт/(м·К ⁴)	ψ
ВПМ-2	1150	0,25	0,23	0,085	0,25	1500	100	500	7	9,6	2,0
ВПМ-2'	1100	0,28	0,29	0,073	0,25	1500	100	510	7	8,5	0,5
СГК-1	950	0,27	0,53	0,043	0,44	3000	150	400	25	9,1	0,5
Эндотерм ХТ-1500	930	0,3	0,46	0,160	0,45	2500	150	400	18	8,0	0,5

Пожежі у житловому секторі є найбільш поширеними у більшості країн світу. Не є виключенням й Україна. За останні роки від 70 до 85% пожеж відбувалось саме у житлових будівлях, на них припадає 95-98% загиблих. Щороку збитки від цих пожеж складають сотні мільйонів гривень. Але ще більшу суму складають побічні збитки. Наприклад, у 2006 році побічні збитки (547067 тис. грн.) перевищували прямі (200552 тис. грн.) більше ніж у 2,7 раз. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 2030 від 26 грудня 2003 року, до побічних збитків від пожеж відносяться оцінені у грошовому вираженні витрати на гасіння пожежі (вартість вогнегасних речовин, паливно-мастильних матеріалів тощо), ліквідацію її наслідків (враховуючи соціально-економічні та екологічні втрати), у тому числі на відбудову об'єкту; втрати, зумовлені простоєм у виробництві, перервою в роботі, зміною графіка руху транспортних засобів тощо. Майже 68% загальної кількості побічних збитків припадає саме на пожежі у житловому секторі.

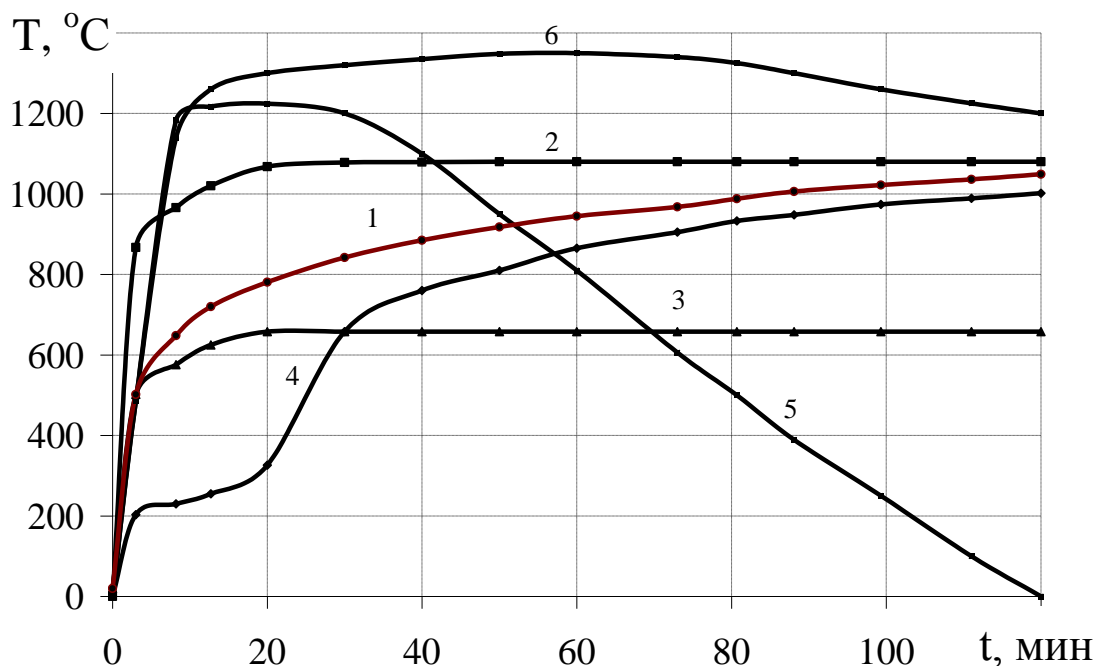


Рисунок 1 - Залежність зміни температури від тривалості вогневого впливу при різних темпах нагріву, де:

- 1 - стандартна температурна крива по ISO 834 і Держстандарт 30247.0-94;
- 2 - крива згідно EN 1363-2: 1999;
- 3 - мінімізована єдина стандартна температурна крива згідно ISO 834;
- 4 - крива тліючої пожежі згідно EN 1363-2: 1999;
- 5 - тунельна крива згідно стандарту Німеччини (RABT);
- 6 - тунельна крива згідно стандарту Нідерландів (RWS).

Висновки. Проведені розрахунки економічних показників засвідчили економічну доцільність використання ГУС для ліквідації пожеж на об'єктах житлового сектору. Екстраполяція одержаного результату дозволяє стверджувати, що використання даного складу дозволить зменшити матеріальні втрати від пожеж на об'єктах житлового сектору на $\approx 10\%$.

Перспективи подальших досліджень.

У цей момент в Україні відсутня нормативна база по визначенню вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів на залізобетонних конструкціях. Тому, метою подальших досліджень є вивчення особливостей підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою ВОП і можливості застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення вогнезахисної здатності ВОП на залізобетонних конструкціях при різних режимах пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. Бондарев В.Ф. Организация и проведение водозащитных работ при тушении пожаров / В.Ф. Бондарев, П.М. Агеев // Крупные пожары: предупреждение и тушение/ Материалы 16 научно-практической конференции, Ч 2 . – М.: Изд-во ВНИИПО, 2001.– С. 239-241.
3. Савченко О.В. Попередження надзвичайних ситуацій при горінні полівінілхлориду / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, В.В. Тригуб, К.В. Жернокльов // Проблеми надзвичайних ситуацій: Сб. наук. пр. УЦЗ України – Харків, 2007. – Вип. 5. – С. 177 – 181.

ABSTRACTS

UDC 614.84

P. Krukovsky, Dr. Of Sc. (Eng), Y. Kachkar, Cand. Of Sc. (Eng), A. Kovalyov

APPLICATION OF SWELLING FIREPROOFING SURFACES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN DIFFERENT FIRE CONDITIONS

Was analyzed the application of swelling fireproofing surfaces in modern building and their physicochemical features. Was considered a question of fire-protective ability of fireproofing surfaces for reinforced concrete structures and parameters which influence on this ability. Was analyzed the existing fire conditions and their influence on fire-protective abilities, the problems of applying of experiment-calculated method of identification of this ability for protecting reinforced concrete structures.

УДК 614.84

Ю.П. Рак, д.т.н., проф., А.В. Савченко, к.т.н., доц., О.И. Шкоруп, к.т.н., с.н.с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОЖАРА

Проведен анализ применения вспучивающихся огнезащитных покрытий в современном строительстве и физико-механические характеристики таких покрытий. Рассмотрен вопрос огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий для железобетонных конструкций и параметры, от которых она зависит. Приведен анализ существующих режимов пожаров, их влияния на огнезащитную способность, возможности и проблемы применения расчетно-экспериментального подхода определения этой способности для защиты железобетонных конструкций.

ВРАЗИ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ОПИСІВ

Бібліографічний опис або **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**, на яку здійснюється посилання в науковій статті, оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

Слова і словосполучення скорочуються відповідно до:

1. ДСТУ 3582–97 «Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні вимоги і правила» .- К.: Держстандарт України, 1998. 2. ГОСТ 7.12.93» Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила».

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел до наукової роботи:

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги : Один автор	<p>1. Василій Великий. Гомілії / Василій Великий ; [пер. з давньогрец. Л. Звонська]. – Львів : Свічадо, 2006. – 307 с. – (Джерела християнського Сходу. Золотий вік патристики IV – V ст. ; № 14).</p> <p>2. Коренівський Д. Г. Дестабілізуючий ефект параметричного білого шуму в неперервних та дискретних динамічних системах / Коренівський Д. Г. – К. : Ін-т математики, 2006. – 111 с. – (Математика та її застосування) (Праці / Ін-т математики НАМ України ; т. 59).</p> <p>3. Матюх Н. Д. Що дорожче срібла-золота / Наталія Дмитрівна Матюх. – К. : Асамблея діл. кіл : Ін-т соц. іміджмейкінгу, 2006. – 311 с. – (Ювеліри України ; т. 1).</p> <p>4. Шкляр В. Елементал : [роман] / Василь Шкляр. – Львів : Кальварія, 2005. – 196, [1] с. – (Першотвір).</p>
Два автори	<p>1. Матяш І. Б. Діяльність Надзвичайної дипломатичної місії УНР в Угорщині : історія, спогади, арх. док. / І. Матяш, Ю. Мушка. – К. : Києво-Могилян. акад., 2005. – 397, [1] с. – (Бібліотека наукового щорічника "Україна дипломатична" ; вип. 1).</p> <p>2. Ромовська З. В. Сімейне законодавство України / З. В. Ромовська, Ю. В. Черняк. – К. : Прецедент, 2006. – 93 с. – (Юридична бібліотека. Бібліотека адвоката) (Матеріали до складання кваліфікаційних іспитів для отримання Свідоцтва про право на заняття адвокатською діяльністю ; вип. 11).</p> <p>3. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 375 с.</p>
Три автори	<p>1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эдисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.</p>
Чотири автори	<p>1. Методика нормування ресурсів для виробництва продукції рослинництва / [Вітвіцький В. В., Кисляченко М. Ф., Лобастов І. В., Нечипорук А. А.]. – К. : НДІ "Укрупропромпродуктивність", 2006. – 106с. – (Бібліотека спеціаліста АПК. Економічні нормативи).</p> <p>2. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу : [підруч. для учнів проф. – техн. навч. закл.] / О. В. Гвоздев, Ф. Ю. Ялпачик, Ю. П. Рогач, М. М. Сердюк. – К. : Вища освіта, 2006. – 478, [1] с. – (ПТО : Професійно-технічна освіта).</p>

П'ять і більше авторів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Психология менеджмента / [Власов П. К., Липницкий А. В., Луцких И. М. и др.] ; под ред. Г. С. Никифорова. – [3-е изд.]. – Х. : Гуманитар, центр, 2007. – 510с. 2. Формування здорового способу життя молоді : навч. – метод. посіб. для працівників соц. служб для сім'ї, дітей та молоді / [Т. В. Бондар, О. Г. Карпенко, Д. М. Дикова-Фаворська та ін.]. – К. : Укр. ін-т соц. дослідж., 2005. – 115с. – (Серія "Формування здорового способу життя молоді" : у 14 кн., кн. 13).
Без автора	<ol style="list-style-type: none"> 1. Історія Свято-Михайлівського Золотоверхого монастиря / [авт. тексту В. Клос]. – К. : Грані-Т, 2007. – 119с, – (Грані світу). 2. Воскресіння мертвих : українська барокова драма : антологія / [упорядкув., ст., пер. і прим. В. О. Шевчук]. – К. : Грамота, 2007. – 638, [1] с. 3. Тіло чи особистість? Жіноча тілесність у вибраній малій українській прозі та графіці кінця ХІХ – початку ХХ століття : [антологія / упоряд. : Л. Таран, О. Лагутенко]. – К. : Грані-Т, 2007. – 190, [1] с. Проблеми типологічної та квантитативної лексикології : [зб.наук.праць / наук, ред. Каліушенко В. та ін.]. – Чернівці : Рута, 2007. – 310 с.
Словники	<ol style="list-style-type: none"> 1. Географія : словник-довідник / [авт. – уклад. Ципін В. Л.]. – Х. : Халімон, 2006. – 175, [1] с. 2. Тимошенко З. І. Болонський процес в дії : словник-довідник основ, термінів і понять з орг. навч. процесу у вищ. навч. закл. / З. І. Тимошенко, О. І. Тимошенко. – К. : Європ. ун-т, 2007. – 57 с. 3. Українсько-німецький тематичний словник [уклад. Н. Яцко та ін.]. – К. : Карпенко, 2007. – 219 с. 4. Європейський Союз : словник-довідник / [ред. – упоряд. М. Марченко]. – 2-ге вид., оновл. – К. : К.І.С., 2006. – 138 с.
Багатотомний документ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Історія Національної академії наук України, 1941 – 1945 / [упоряд. Л. М. Яременко та ін.]. – К. : Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського, 2007 – . – (Джерела з історії науки в Україні). Ч. 2 : Додатки – 2007. – 573, [1] с. 2. Межгосударственные стандарты : каталог в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Рубцова Е. Ю. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ "Леонорм-Стандарт", 2005 – . – (Серия "Нормативная база предприятия"). Т. 1. – 2005. – 277с. 3. Дарова А. Т. Неисповедимы пути Господни... : (Дочь врага народа) : трилогия / А. Дарова. – Одесса : Астропринт, 2006 – . – (Сочинения : в 8 кн. /А. Дарова ; кн. 4). 4. Кучерявенко Н. П. Курс налогового права : Особенная часть : в 6 т. / Н. П. Кучерявенко. – Х. : Право, 2002– . Т. 4 : Косвенные налоги. – 2007. – 534 с. 5. Реабілітовані історією. Житомирська область : [у 7 т.]. – Житомир : Полісся, 2006 – . – (Науково-документальна серія книг "Реабілітовані історією" : у 27 т. / голов. редкол. : Тронько П. Т. (голова) [та ін.]). Кн. 1 / [обл. редкол. : Синявська І. М. (голова) та ін.]. – 2006. – 721, [2] с. 6. Бондаренко В. Г. Теорія ймовірностей і математична статистика. 4.1 / В. Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – 125с.

Матеріали конференцій, з'їздів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Економіка, менеджмент, освіта в системі реформування агропромислового комплексу : матеріали Всеукр. конф. молодих учених-аграрників ["Молодь України і аграрна реформа"], (Харків, 11 – 13 жовт. 2000 р.) / М-во аграр. політики, Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. – Х. : Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва, 2000. – 167 с. 2. Кібернетика в сучасних економічних процесах : зб. текстів виступів на республік, міжвуз. наук. – практ. конф. / Держкомстат України, Ін-т статистики, обліку та аудиту. – К. : ІСОА, 2002. – 147 с. 3. Матеріали ІХ з'їзду Асоціації українських банків, 30 червня 2000 р. інформ. бюл. – К. : Асоц. укр. банків, 2000. – 117 с. – (Спецвип. : 10 років АУБ). 4. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6 – 9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трошенко. – К. : НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559– 956, XIII, [2] с. – (Ресурс 2000). 5. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : зб. наук, праць / наук. ред. В. І. Моссаковський. – Дніпропетровськ : Навч. кн., 1999. – 215 с. 6. Ризикологія в економіці та підприємстві : зб. наук, праць за матеріалами міжнар. наук. – практ. конф., 27-28 берез. 2001 р. / М-во освіти і науки України, Держ податк. адмін. України [та ін.]. – К. : КНЕУ : Акад. ДПС України, 2001. – 452с.
Препринти	<ol style="list-style-type: none"> 1. Шиляев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиляев Б. А., Воеводин В. Н. – Х. ННЦ ХФТИ, 2006. – 19 с. – (Препринт / НАН Украины, Нац. науч. центр "Харьк. физ. – техн. ин-т" ; ХФТИ 2006-4). 2. Панасюк М. І. Про точність визначення активності твердих радіоактивних відходів гамма-методами / Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Сплошной Б, М. – Чорнобиль : Ін-т пробл. безпеки АЕС НАМ України, 2006. – 7, [1] с. – (Препринт / НАН України, Ін-т пробл. безпеки АЕС ; 06-1).
Депоновані наукові праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Социологическое исследование малых групп населения / В.И.Иванов [и др.] ; М-во образования Рос. Федерации, Финансовая академия. – М., 2002. – 1 10 с. – Деп. в ВИНТИ 13.06.02, № 145432. 2. Разумовский В. А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев. – М., 2002. – 210 с. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.
Атласи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Україна : екол. – геогр. атлас : присвяч. всесвіт, дню науки в ім'я миру та розвитку згідно з рішенням 31 сесії ген. конф. ЮНЕСКО / [наук, редкол. : С. С. Куруленко та ін.] ; Рада по вивч. продукт, сил України НАН України [та ін.]. – / [наук, редкол. : С. С. Куруленко та ін.]. – К. : Варта, 2006. – 217, [1] с. 2. Анатомія пам'яті : атлас схем і рисунків провідних шляхів і структур нервової системи, що беруть участь у процесах пам'яті : посіб. для студ. та лікарів / О. Л. Дроздов, Л. А. Дзяк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. – 2-ге вид., розшир, та доповн. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 218 с. 3. Куерда Х. Атлас ботаніки / Хосе Куерда ; [пер. з ісп. В. Й. Шовкун]. – Х. : Ранок, 2005. – 96 с.
Законодавчі та нормативні документи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кримінально-процесуальний кодекс України : за станом на 1 груд. 2005 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2006. – 207 с. – (Бібліотека офіційних видань). 2. Медична статистика статистика : зб. нормат. док. / упоряд. та голов, ред. В. М. Заболотько. – К. : МНІАЦ мед. статистики : Медінформ, 2006. – 459 с. – (Нормативні директивні правові документи). 3. Експлуатація, порядок і терміни перевірки запобіжних пристроїв посудин, апаратів і трубопроводів теплових електростанцій : СОУ-Н ЕЕ 39.501 : 2007. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007. – VI, 74 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).

Стандарти	<p>1. Графічні символи, що їх використовують на устаткуванні. Показчик та огляд (ISO 7000 : 2004, IDT) : ДСТУ ISO 7000 : 2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – IV, 231 с. – (Національний стандарт України).</p> <p>2. Якість води. Словник термінів : ДСТУ ISO 6107-1 : 2004 – ДСТУ ISO 6107-9 : 2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).</p> <p>3. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 2-020. Додаткові вимоги до лабораторних центрифуг (EN 61010-2-020 : 1994, IDT) : ДСТУ EN 61010-2-020 : 2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – IV, 18 с. – (Національний стандарт України).</p>
Каталоги	<p>1. Межгосударственные стандарты : каталог : в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Павлюкова В. А. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ "Леонорм-стандарт", 2006 – . – (Серия "Нормативная база предприятия"). Т. 5. – 2007. – 264 с. Т. 6. – 2007. – 277с.</p> <p>2. Пам'ятки історії та мистецтва Львівської області : каталог-довідник / [авт. – упоряд. М. Зобків та ін.]. – Львів : Новий час, 2003. – 160 с.</p> <p>3. Університетська книга : осінь, 2003 : [каталог]. – [Суми : Унів. кн., 2003]. – 11 с. 4. Горницькая И. П. Каталог растений для работ по фитодизайну / Горницькая И. П., Ткачук Л. П. – Донецк : Лебедь, 2005. – 228 с.</p>
Частина книги, періодичного, продовжаного видання	<p>1. Козіна Ж. Л. Теоретичні основи і результати практичного застосування системного аналізу в наукових дослідженнях в області спортивних ігор / Ж. Л. Козіна // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 6. – С. 15–18, 35–38.</p> <p>2. Гранчак Т. Інформаційно-аналітичні структури бібліотек в умовах демократичних перетворень / Тетяна Гранчак, Валерій Горовий // Бібліотечний вісник. – 2006. – № 6. – С. 14–17.</p> <p>3. Валькман Ю. Р. Моделирование НЕ-факторов – основа интеллектуализации компьютерных технологий / Ю. Р. Валькман, В. С. Быков, А. Ю. Рыхальский // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 1. – С. 39–61.</p> <p>4. Ма Шуїн. Проблеми психологічної підготовки в системі фізкультурної освіти / Ма Шуїн // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 5. – С. 12–14.</p> <p>5. Регіональні особливості смертності населення України / Л. А. Чепелевська, Р. О. Моїсєнко, Г. І. Баторшина [та ін.] // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2007. – № 1. – С. 25–29.</p> <p>6. Валова І. Нові принципи угоди Базель II / І. Валова ; пер. з англ. Н. М. Середи // Банки та банківські системи. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 13–20.</p> <p>7. Зеров М. Поетична діяльність Куліша // Українське письменство ХІХ ст. Від Куліша до Винниченка : (нарис з новітнього укр. письменства) : статті / Микола Зеров. – Дрогобич, 2007. – С. 245–291.</p> <p>8. Третьяк В. В. Возможности использования баз знаний для проектирования технологии взрывной штамповки / В. В. Третьяк, С. А. Стадник, Н. В. Калайтан // Современное состояние использования импульсных источников энергии в промышленности : междунар. науч. – техн. конф., 3-5 окт. 2007 г. : тезисы докл. – Х., 2007. – С. 33.</p> <p>9. Чорний Д. Міське самоврядування : тягарі проблем, принади цивілізації / Д. М. Чорний // По лівий бік Дніпра : проблеми модернізації міст України : (кінець ХІХ– початок ХХ ст. / Д. М. Чорний. – Х., 2007. – Розд. 3. – С. 137– 202.</p>

Бібліографічні показники	<p>1. Куц О. С. Бібліографічний показчик та анотації кандидатських дисертацій, захищених у спеціалізованій вченій раді Львівського державного університету фізичної культури у 2006 році / О. Куц, О. Вацеба. – Львів : Укр. технології, 2007. – 74 с.</p> <p>2. Систематизований показчик матеріалів з кримінального права, опублікованих у Віснику Конституційного Суду України за 1997 – 2005 роки / [уклад. Кириць Б. О., Потлянь О. С.]. – Львів : Львів, держ. ун-т внутр. справ, 2006. – 11 с. – (Серія : Бібліографічні довідники ; вип. 2).</p>
Дисертації	<p>1. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз., -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.</p>
Автореферати дисертацій	<p>1. Новосад І. Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів : автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / І. Я. Новосад. – Тернопіль, 2007. – 20, [1] с.</p> <p>2. Нгуен Ші Данг. Моделювання і прогнозування макроекономічних показників в системі підтримки прийняття рішень управління державними фінансами : автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.06 "Автоматиз. системи упр. та прогрес, інформ. технології" / Нгуен Ші Данг. – К., 2007. – 20с.</p>
Авторські свідоцтва	<p>1. А. с. 1007970 СССР, МКМ³ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25-08 ; заявл. 23.11.81 ; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12.</p>
Патенти	<p>1. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).</p>
Електронні ресурси	<p>1. Богомольний Б. Р. Медицина екстремальних ситуацій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. мед. вузів III – IV рівнів акредитації / Б. Р. Богомольний, В. В. Кононенко, П. М. Чув. – 80 Мп / 700 МВ. – Одеса : Одес. мед. ун-т, 2003. – (Бібліотека студента-медика) – 1 електрон, опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; MS Word 97-2000. – Назва з контейнера.</p> <p>2. Розподіл населення найбільш численних національностей за статтю та віком, шлюбним станом, мовними ознаками та рівнем освіти [Електронний ресурс] : за даними Всеукр. перепису населення 2001 р. / Держ. ком. статистики України ; ред. О. Г. Осауленко. – К. : CD-вид-во "Інфодиск", 2004. – 1 електрон, опт. диск (CD-ROM) : кольор. ; 12 см. – (Всеукр. перепис населення, 2001). – Систем. вимоги : Pentium-266 ; 32 Mb RAM ; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул, екрану.</p> <p>3. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті (підсумки 10-ї Міжнар. конф. "Крим-2003") [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекмарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн. : http : //www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm.</p>

Затвер. пост. № 62-08/1 від 28.04.09р.

ПАСПОРТ
спеціальності 21.06.02 - Пожежна безпека,
розроблений фахівцями Національного університету оборони України
та Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України

I. Формула спеціальності

Галузь науки і техніки, яка охоплює фундаментальні, прикладні та пошукові дослідження з проблем пожежної безпеки, впливу небезпечних чинників пожеж на довкілля, життєдіяльність і здоров'я людей, що спрямовані на захист від пожежної небезпеки.

II. Напрямки досліджень

1. Дослідження пожеж та їхніх характеристик (джерела запалювання, умови, загрози, причини, ймовірність виникнення, процеси розвитку пожеж). Статистика та моніторинг пожеж. Розроблення та удосконалення методів оцінки пожежних ризиків і нормативних показників пожежної небезпеки, виявлення та реалізації шляхів підвищення рівня забезпечення пожежної безпеки при експлуатації об'єктів. Дослідження ризиків виникнення та розвитку пожеж і пов'язаних з ними можливостей завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю. Моделювання пожеж, а також не пов'язаних із застосуванням вибухових речовин та військової зброї вибухів.
2. Дослідження можливостей і шляхів удосконалення методології і методів оцінки пожежної небезпеки будівель і споруд, протипожежного нормування. Теоретичні основи і методи обґрунтування протипожежного нормування, протипожежних вимог щодо планування та забудови промислових об'єктів і населених пунктів, експлуатації будівель і споруд, протидимного захисту будівель, споруд і інших об'єктів протипожежного захисту, дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій.
3. Дослідження пожежної небезпеки та пожежовибухонебезпеки (горючості, займистості, димоутворювальної здатності тощо) речовин, матеріалів, виробів (в т.ч. і електротехнічних), технологічних процесів, об'єктів різного призначення.
4. Дослідження процесів дифузійного, кінетичного, дефлаграційного, детонаційного горіння, піролізу, звуглювання, поширювання горіння, поширювання полум'я, запалювання, загоряння, займання, самозагоряння, самозаймання, самонагрівання, тління, жевріння, полуменевого горіння, спалаху, самостійного горіння, палахкотіння, виявлення чинників, які на них впливають; процесів і факторів припинення горіння. Флегматизування газових горючих середовищ. Дослідження процесів термодинаміки, масо- і теплопереносу в умовах пожеж. Виявлення впливу виду і співвідношень компонентів у системах «горюча речовина-окисник-джерело запалювання» на процеси горіння, виявлення впливу і співвідношень чинників інгібування, флегматизування, розбавлення, охолодження, ізолювання тощо на процеси взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям. Розробка та удосконалення вогнегасних речовин. Методи обґрунтування застосування вогнегасних речовин, засобів та технологій пожежогасіння. Розроблення вогнезахисних речовин, просочувальних вогнезахисних розчинів, антипіренів, вогнезахисних матеріалів, конструкцій, виробів, вогнеперешкоджальних пристроїв, протипожежних перешкод, завіс, клапанів, протипожежних поясів, пожежних ліфтів; технологій нанесення вогнезахисних покриттів.
5. Теоретичні основи і методи обґрунтування розроблення протипожежної техніки (пожежні машини, пожежне устаткування, пожежні рятувальні пристрої, переносний пожежний інструмент, засоби індивідуального захисту пожежника, системи пожежегасіння,

- вогнегасники, засоби пожежної сигналізації). Методи підвищення ефективності та надійності протягом життєвого циклу їх експлуатації.
6. Дослідження з розробки систем і елементів забезпечення протипожежного захисту об'єктів різного призначення, підвищення їх надійності та ефективності. Методи обґрунтування організаційно-технічних протипожежних заходів (пожежна охорона, система забезпечування пожежної безпеки, пожежна профілактика, системи запобігання пожеж, правила пожежної безпеки, нормування протипожежних вимог, протипожежний стан і режим об'єктів, пожежний нагляд, пожежно-технічне обстежування, системи протипожежного водопостачання, пожежне оперативне обслуговування, пожежегасіння, системи керування евакуюванням, пожежно-рятувальні роботи, газодимозахисне забезпечення, системи газодимозахисту, системи газовидаляння, системи підпору повітря).
 7. Розробка теоретичних основ стандартизації, уніфікації і метрології у сфері пожежної безпеки. Розробка та удосконалення методів і методик випробувань та методів стандартизації випробувань у галузі пожежної безпеки. Забезпечування єдності випробувань у сфері пожежної безпеки.
 8. Розробка та удосконалення засобів навчання та тренування як елементів системи забезпечення пожежної безпеки.

III. Галузі наук, з яких присуджуються наукові ступені

Технічні.

Наукове видання

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА
№ 7'2011***

Збірник наукових праць

Відповідальний за випуск Ковальов А.І.
Технічний редактор Максимович Ю.В.

Підписано до друку 20.05.11. Обл.-вид. арк. 6,9.
Тираж 100 прим. Замовлення № 193

Віддруковано у відділі РВР АПБ ім. Героїв Чорнобиля
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.