



Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

№20'2015

***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 , 2015. – № 20. – 141 с.

ISSN 2307-9835

Редакційна колегія:

к. т. н., професор *Тищенко О. М.* – головний редактор
д. т. н., професор *Поздєєв С. В.* – заступник головного редактора
д. т. н., професор *Костенко В. К.* – науковий редактор
д. т. н., с. н. с. *Кириченко О. В.* – заступник наукового редактора
к. пед. н. *Гуріненко І. Ю.* – відповідальний секретар
д. ф.-м. н., професор *Акіншин В. Д.*
д. т. н., професор *Бєліков А. С.*
д. е. н., професор *Бужин О. А.*
д. т. н., професор *Ващенко В. А.*
д. т. н., професор *Голоднов О. І.*
д. психол. н., професор *Грибенюк Г. С.*
д. т. н., професор *Касьянов М. А.*
д. т. н., професор *Круковський П. Г.*
д. військ. н., професор *Мосов С. П.*
д. т. н., с. н. с. *Тарасенко О. А.*
к. психол. н., доцент *Бут В. П.*
к. психол. н., професор *Кришталь М. А.*
к. т. н., доцент *Джулай О. М.*
к. т. н., доцент *Зайка П. І.*
к. т. н., доцент *Качкар Є. В.*
к. т. н., с. н. с. *Ковальов А. І.*
к. т. н., доцент *Маладика І. Г.*
к. т. н., с. н. с. *Некора О. В.*
к. т. н., доцент *Стась С. В.*
к. т. н., доцент *Ступак Д. О.*
к. т. н., доцент *Цвіркун С. В.*

Рекомендовано до видання

***Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
(Протокол № 7 від 22.04.2014 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

Ю. А. Абрамов, Е. А. Тищенко ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРА КЛАССА В ПРИ ЕГО ТУШЕНИИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ	4
А. С. Беликов, В. А. Шаломов, О. А. Сабитова, И. Г. Маладыка, Д. С. Федоренко ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ КАСКИ ПОЖАРНОГО	9
А. С. Беликов, В. А. Шаломов, И. В. Трифонов, Е. В. Борсук, Е. В. Дзецина ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	19
С. Н. Бобрышева, В. Б. Боднарук АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	27
А. А. Киреев, Д. И. Савельев ГЕЛЕОБРАЗНЫЕ ПОКРЫТИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ. ОБЗОР	33
О. В. Кириченко, О. С. Барановський, Є. П. Кириченко, Р. Б. Мотрічук АНАЛІЗ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ПІРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ	42
М. І. Копильний, В. Г. Бенедюк, І. С. Стилик, Т. Ю. Нижник, Я. В. Балло ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПРОВОДУ ДОДАВАННЯМ ДО ВОДИ РІДКОГО НАТРІЄВОГО СКЛА	47
Т. В. Костенко МОЖЛИВОСТІ ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ ВІД ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ	53
С. П. Мосов, М. П. Трємбовецький РОЗВІДКА ПОЖЕЖ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	61
О. М. Нуянзін, С. В. Поздєєв, В. М. Нуянзін, С. О. Сідней МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ У КАМЕРАХ ВОГНЕВИХ ПЕЧЕЙ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ НЕСУЧИХ СТІН	66
В. И. Осипенко, В. К. Словинский, А. В. Поздеев, Д. С. Федоренко УСОВЕРШЕНСТВОВАНЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ	73
С. В. Поздєєв, Ю. А. Отрош, В. В. Нижник, О. П. Борис ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ САМОНЕСУЧОЇ СТІНИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОДУЛІВ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА	81
С. В. Поздєєв, Ю. А. Отрош, І. В. Федченко, В. В. Демешок ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕНЕСУЧОЇ ПЕРЕГОРОДКИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОДУЛІВ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА	91
К. І. Соколенко АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ, ПОЖЕЖНОЇ, ТЕХНОГЕННОЇ ТА ПРИРОДНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ.....	98
С. Э. Трошкин, С. А. Сидней, Е. А. Тищенко, О. В. Некора ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FDS	104
С. В. Цвиркун, О. В. Кириченко, Л. В. Маладыка ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЖАРНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	110
О. М. Мирошник РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ	117
АННОТАЦІЇ / ABSTRACTS	122
Автори (алфавітний покажчик).....	129
Вимоги до оформлення статей	131

УДК 614.8

*Ю. А. Абрамов, д. т. н., проф.,
Национальный университет гражданской защиты Украины,
Е. А. Тищенко, к. т. н., доц.,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
НУГЗ Украины*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРА КЛАССА В ПРИ ЕГО ТУШЕНИИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Рассмотрен метод определения частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой, в основе которого лежит использование результатов измерения температуры поверхности горящей жидкости.

Ключевые слова: пожар класса В, распыленная вода, частотные характеристики.

Постановка проблемы. Одним из путей повышения эффективности тушения пожаров является использование новых, более совершенных методов проектирования систем пожаротушения. Такие методы ориентированы на использование соответствующего математического и алгоритмического обеспечения. Одной из проблем при этом является обеспечение достоверности результатов на этапе проектирования систем пожаротушения.

Анализ последних исследований и публикаций. В подавляющем большинстве процессы тушения пожаров класса В распыленной водой описываются эмпирическими зависимостями, которые справедливы для условий проведения экспериментов [1]. Известно использование для этих целей уравнения Фурье [2], однако его применение для решения задачи синтеза систем пожаротушения ограничено. В последнее время наметился подход для описания процессов, имеющих место при тушении пожаров класса В распыленной водой, который связан с использованием передаточных функций [3, 4]. Наличие передаточной функции объекта управления, которым является пожар, который подвергается активному воздействию огнетушащего вещества, позволяет распространить апробированные методы технической кибернетики для проектирования систем пожаротушения [4, 5]. Одним из таких методов является частотный метод, в основе которого лежит использование частотных характеристик объекта управления. Следует отметить, что в настоящее время отсутствует информация о методах определения частотных характеристик такого объекта управления экспериментальным путем.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обоснование метода определения частотных характеристик объекта управления системы пожаротушения пожаров класса В распыленной водой экспериментальным путем.

Экспериментальное определение частотных характеристик осуществляется на установке, схема которой, приведена в [6] и которая дополнена датчиком температуры, располагаемом вблизи поверхности и внутри горящей жидкости. Датчик температуры имеет возможность перемещаться по мере выгорания жидкости.

С помощью датчика температуры измеряется температура $T(t)$ в слое горящей жидкости, который расположен вблизи ее поверхности. Для определения частотных характеристик объекта управления системы пожаротушения используется безразмерная температура

$$\theta(\tau) = [T_k - T(t)] [T_k - T_0]^{-1}, \quad (1)$$

где T_k, T_0 – температура кипения горючей жидкости и температура окружающей среды; $\tau = V^2 a^{-1} t$ – безразмерное время; V – линейная скорость выгорания жидкости; a – коэффициент температуропроводности горючей жидкости.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) объекта управления определяется выражением

$$W(j\omega) = \left[\theta(p) I^{-1}(p) \right]_{p=j\omega}, \quad (2)$$

где $\theta(p), I(p)$ – изображение по Лапласу от безразмерной температуры $\theta(\tau)$ и интенсивности подачи распыленной воды $I(\tau)$; $\omega = V^{-2} a \Omega$ – безразмерная круговая частота; Ω – размерная круговая частота.

Если $I(\tau) = I_0 = const$, что обеспечивается с помощью установки (см. [6]), то выражение (2) можно переписать следующим образом

$$W(j\omega) = I_0^{-1} p \theta(p) \Big|_{p=j\omega} = I_0^{-1} L \left[\frac{d\theta(\tau)}{d\tau} \right] \Big|_{p=j\omega} = I_0^{-1} \int_0^{\infty} \frac{d\theta(\tau)}{d\tau} e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (3)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

Результат измерений температуры поверхности горячей жидкости, преобразованный с помощью (1), в общем случае имеет вид, приведенный на рис. 1. Для определения АФЧХ объекта управления на этом графике в точках $\tau_{i-1}, i = 1, n$, проводятся касательные к кривой $\theta(\tau)$ [7]. Тогда можно записать, что

$$\left. \frac{d\theta(\tau)}{d\tau} \right|_i = tg \alpha_i = const. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим

$$W(j\omega) = \sum_{i=1}^n tg \alpha_i \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (5)$$

Если учесть связь между показательной и тригонометрической формулами записи комплексного числа, т.е.

$$e^{-j\omega\tau} = \cos \omega\tau - j \sin \omega\tau, \quad (6)$$

то выражение (5) будет иметь вид

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \omega^{-1} \sum_{i=1}^n tg \alpha_i [(\sin \omega\tau_i - \sin \omega\tau_{i-1}) + j(\cos \omega\tau_i - \cos \omega\tau_{i-1})] = \\ &= P(\omega) + jQ(\omega), \end{aligned} \quad (7)$$

где $P(\omega)$, $Q(\omega)$ – вещественная частотная характеристика (ВЧХ) и мнимая частная характеристика (МЧХ) объекта управления системы автоматического пожаротушения соответственно

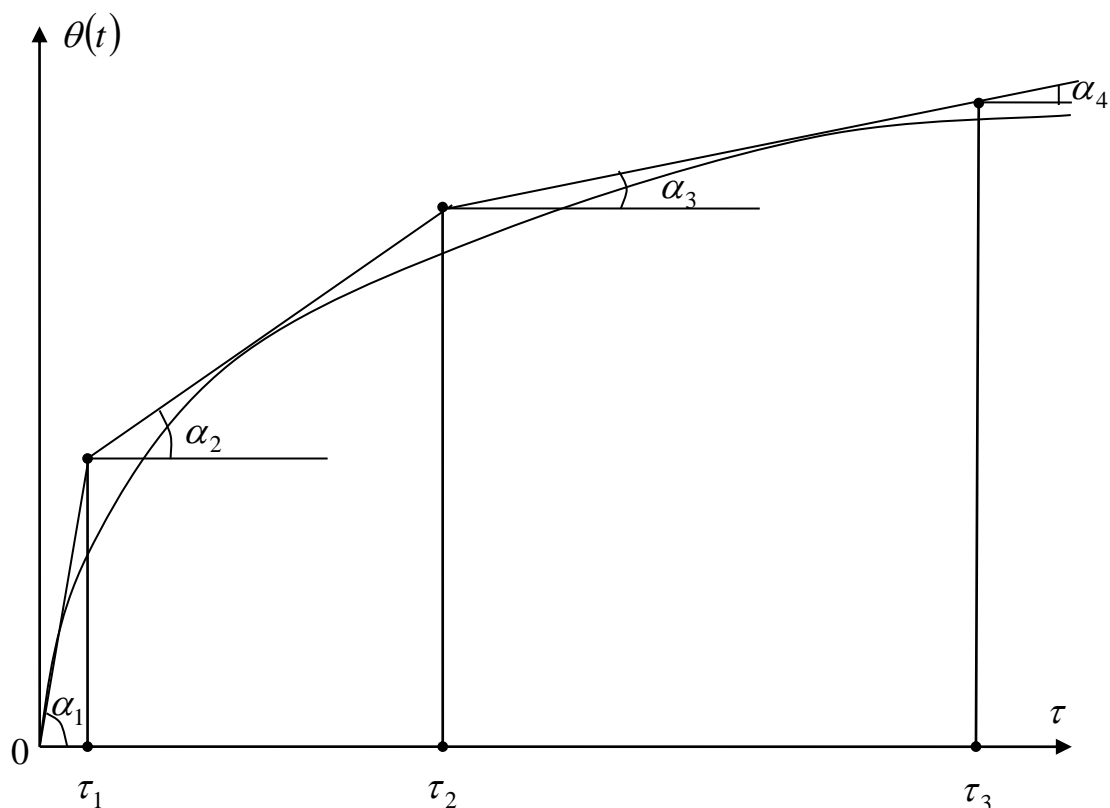


Рисунок 1 – К определению АФЧХ объекта управления

Очевидно, что имеет место

$$P(\omega) = \omega^{-1} \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \alpha_i (\sin \omega \tau_i - \sin \omega \tau_{i-1}); \quad (8)$$

$$Q(\omega) = \omega^{-1} \sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \alpha_i (\cos \omega \tau_i - \cos \omega \tau_{i-1}). \quad (9)$$

Тогда выражение для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $A(\omega)$ и фазо-частотной характеристики (ФЧХ) $\varphi(\omega)$ объекта управления будут определяться выражениями [8]

$$A(\omega) = [P^2(\omega) + Q^2(\omega)]^{0,5}; \quad (10)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} [Q(\omega)P^{-1}(\omega)]. \quad (11)$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) определяется выражением

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega). \quad (12)$$

Следует заметить, что все выражения для частотных характеристик, полученные с помощью рассмотренного метода, представлены в безразмерной форме.

Выражения для частотных характеристик (7)-(12) получены при условии, что датчик температуры, с помощью которого осуществляется измерение температуры $T(t)$, является безинерционным. Если измерение температуры осуществляется с помощью датчика, инерционными свойствами которого пренебречь нельзя, то результатом реализации рассмотренного метода будет произведение АФЧХ объекта управления системы пожаротушения $W(j\omega)$ и АФЧХ датчика температуры $W_0(j\omega)$, т.е.

$$\begin{aligned} W_1(j\omega) &= W(j\omega)W_0(j\omega) = P_1(\omega) + jQ_1(\omega) = \\ &= [P(\omega) + jQ(\omega)][M(\omega) + jN(\omega)], \end{aligned} \quad (13)$$

где $M(\omega)$, $N(\omega)$ – вещественная и мнимая частотные характеристики датчика температуры соответственно; $P_1(\omega)$, $Q_1(\omega)$ – вещественная и мнимая частотные характеристики объекта управления вместе с датчиком температуры соответственно.

Из (13) следует, что

$$P_1(\omega) = P(\omega)M(\omega) - Q(\omega)N(\omega); \quad (14)$$

$$Q_1(\omega) = P(\omega)N(\omega) + Q(\omega)M(\omega). \quad (15)$$

В системе (14)-(15) искомыми являются $P(\omega)$ и $Q(\omega)$, предполагая, что частотные характеристики датчика температуры известны. Тогда из (14)-(15) следует

$$P(\omega) = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad Q(\omega) = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (16)$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} M(\omega) & -N(\omega) \\ N(\omega) & M(\omega) \end{vmatrix}; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} P_1(\omega) & -N(\omega) \\ Q_1(\omega) & M(\omega) \end{vmatrix}; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} M(\omega) & P_1(\omega) \\ N(\omega) & Q_1(\omega) \end{vmatrix}. \quad (17)$$

Объединяя (16) и (17), получим решение алгебраического уравнения (15) относительно $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ в виде

$$P(\omega) = \frac{P_1(\omega)M(\omega) + Q_1(\omega)N(\omega)}{M^2(\omega) + N^2(\omega)}; \quad (18)$$

$$Q(\omega) = \frac{Q_1(\omega)M(\omega) - P_1(\omega)N(\omega)}{M^2(\omega) + N^2(\omega)}. \quad (19)$$

Следует отметить, что знаменатель выражений (18) и (19) представляет собой квадрат АЧХ датчика температуры, т.е.

$$A_0^2(\omega) = M^2(\omega) + N^2(\omega). \quad (20)$$

В первом приближении динамические свойства датчика температуры можно описать моделью аperiodического звена с параметрами K и τ_0 . Тогда можно записать [8]

$$M(\omega) = K(1 + \omega^2 \tau_0^2)^{-1}; N(\omega) = -K\omega\tau_0(1 + \omega^2 \tau_0^2)^{-1}, \quad (21)$$

что после подстановки в (18) и (19) трансформирует эти выражения к следующему виду

$$P(\omega) = K^{-1}[P_1(\omega) - \omega\tau_0 Q_1(\omega)]; \quad (22)$$

$$Q(\omega) = K^{-1}[Q_1(\omega) + \omega\tau_0 P_1(\omega)]. \quad (23)$$

Следует заметить, что при $\tau \rightarrow 0$, т.е. в случае использования безынерционного датчика температуры, выражения для частотных характеристик $P(\omega)$ и $P_1(\omega)$, а также $Q(\omega)$ и $Q_1(\omega)$ совпадают с точностью до значения параметра K .

Выводы. Применительно к пожарам класса В, тушение которых осуществляется с помощью распыленной воды, обоснован метод получения частотных характеристик, основанный на использовании результатов измерений температуры поверхности горячей жидкости. В основе метода лежит преобразование данных, принадлежащих временной области, в массив данных, принадлежащих частотной области. Для преобразования используется тригонометрическая форма представления комплексных чисел. Метод позволяет учесть инерционные свойства канала измерения температуры поверхности горячей жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухно А.Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды / А.Н. Кухно, Е.Н. Панин // Пожаротушение. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 84-93.
2. Абрамов Ю.А. Математическое описание процесса тушения пожара класса В распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Пожежна безпека: Теорія і практика. – Черкаси: ЧАПБ, 2012. – № 12. – С. 4-8.
3. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Х.: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
4. Абрамов Ю.А. Математические модели пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – Гомель: ГИИ МЧС республики Беларусь, 2013. – Т.8. – № 1. – С. 15-19.
5. Губарев А.П. Управление в технических системах с газовым или жидким компонентом / А.П. Губарев, А.В. Узунов, Ю.А. Абрамов и др. – К.: ИСМО, 1997. – 288 с.
6. Садковой В.П. Экспериментальное определение параметров и характеристик объекта управления класса В системы автоматического пожаротушения распыленной водой / В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 126-134.
7. Цыпкин Я.З. Теория импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 282 с.
8. Абрамов Ю.А. Математические модели пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – Гомель: ГИИ МЧС республики Беларусь, 2013. – Т.8. – №1. – С. 15-19.
9. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХАПТУ, 1993. – 288 с.

УДК 539.3:62-50:614.8

А. С. Беликов, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., О. А. Сабитова,
ГВУЗ «ПГАСА»,

И. Г. Маладыка, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. и. н.,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ КАСКИ ПОЖАРНОГО

Представлены исследования прочностных характеристик защитной каски пожарного и предложена математическая модель фрагмента прозрачного монолитного забрала

Ключевые слова: Аварийно-восстановительные и ремонтно-строительные работы; защитные каски и забрала; напряженно-деформированное состояние; радиус кривизны и толщина остекления монолитного забрала; расчеты на прочность.

Постановка проблемы. Проведение аварийно-восстановительных (АВР), ремонтно-строительных (РСР) и аварийно-спасательных (АСР) работ в зданиях, тоннелях и других сооружениях связаны с опасностью возникновения обрушений строительных конструкций, что повышает уровень требований к экипировке работников специальных служб средствами их индивидуальной защиты.

Анализ последних достижений и публикаций. Учитывая, что при испытании каски защитной КП-1 она не отвечала требованиям безопасности по динамической нагрузке, возникла необходимость проведения исследований по повышению ее прочности.

Постановка задачи и ее решение. Согласно стандартной методики испытаний ДСТУ 3728-98 «Каска пожарная. Общие технические требования и методы испытаний», не учитываются динамические испытания остекления забрала. Поэтому возникла необходимость в разработке комплексного подхода при выборе материала остекления забрала и его испытания.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Вследствие этого возникла необходимость наряду с проведением стандартных испытаний, определение напряженно-деформированного состояния (НДС) забрала с применением тензометрии и установлением зависимостей, возникающих между напряжениями и деформациями. Кроме этого возникла необходимость в исследовании безопасности применения остекления забрала в реальных условиях при динамическом воздействии осколков разрушенных материалов в экстремальных ситуациях.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Как следует из проведенного анализа наиболее ударно уязвимыми частями головы для оказавшегося в аварийной ситуации человека, является его лобная (между бровями) часть головы, что в случаях обрушений конструкций и оборудования приводит к травмированию, потере сознания или к шоковому состоянию.

При создании защитных касок для строителей, пожарных-спасателей и работников подразделений других спецслужб используют в основном экспериментальные методы оценки механической прочности и жесткости каски и забрала, а также способы определения теплотехнической стойкости таких головных «уборов», прописанные в Госстандартах, например, ДСТУ 3728-98 «Каска пожарная. Общие технические требования и методы испытаний». В них изложены требования к свойствам, которые необходимо соблюдать для обеспечения защиты головы человека от негативных внешних воздействий. Этим стандартом оговорены технические требования, предъявляемые к испытаниям уже готовой продукции.

Тем не менее, в литературных источниках теории упругости имеется достаточно теоретического материала, на основе которого разработаны подходы к расчету оболочечных строительных конструкций различного типа [1, 2, 5]. В соответствии с ТУ У 3.65-14311904-017-96 у защитных касок должны быть обеспечены, прежде всего, прочностные свойства забрала и корпуса каски. Вместе с этим, как показал проведенный нами анализ, до настоящего времени отсутствуют стандартные расчетные методики и методы исследований, которые позволили бы оценивать напряженно-деформированное состояние (НДС) этих защитных преград с учетом их применения в экстремальных условиях.

При принятии решения и назначении прочностных параметров забрала мы исходили из установления оптимальной прочности, которая варьировалась в области таких «граничных» значений прочности забрала за пределами которых: по нижнему пределу – забрало разрушается, не имея требуемых защитных качеств и эксплуатационной прочности; по верхнему пределу – прочность забрала велика настолько, что при силовом нагружении оно разрушается некоторой допустимой по величине силой, амортизируя внешнее воздействие непосредственно на голову и лицо, «смягчая» его до безопасного для человека значения. То есть передается с использованием необходимого в таких случаях ударно-поглощающего демпфирующего действия, связанного с разрушением слоев, составляющих забрало.

Общие уравнения движения монолитной панели «остекления» забрала применительно к решению задач обеспечения его динамической прочности.

Обычная защитная маска забрала это однородная прозрачная оболочка цилиндрической формы, изготавливаемая как монолитная панель постоянной толщины. Поэтому для численных исследований будем рассматривать ее в виде цилиндрической оболочки толщины h_0 , отнесенной к ортогональной криволинейной системе координат $Oxuz$, прямолинейная ось Oz которой направлена по размеру толщины, а нормальная ей координатная плоскость Oxy связана с наружной поверхностью монолитного слоя и имеет радиус R .

На рис. 1 изображен фрагмент прозрачного монолитного забрала, на поверхности которого обозначена площадка, по поверхности которой импульсно действует внешнее возмущение.

Согласно предложенной нами математической модели для рассматриваемой схемы (рис. 1) были сделаны допущения:

- цилиндрическая панель представляет собой элемент остекления забрала, изготовлена из однородного материала постоянной толщины и имеет кривизну $1/R$;
- в поперечном направлении панель несжимаема.

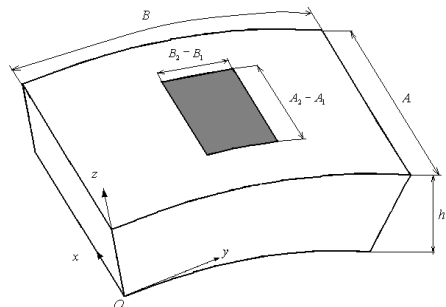


Рисунок 1 - Модель фрагмента прозрачного монолитного забрала AxB , где:

A – длина образующей;

B – дуга, опирающаяся на угол φ ;

R – радиус кривизны пакета «остекления» забрала;

h_0 – толщина монолитного слоя. $(A_2 - A_1) \times (B_2 - B_1)$ – место приложения внешней распределенной нагрузки

Для описания перемещений (движения) элементов монолитного забрала (рис. 1) в направлении координатных линий x , y и z приняты следующие кинематические гипотезы [4]:

$$u = u^0 + z\psi_x; \quad v = v^0 + z\psi_y; \quad w = w^0,$$

где $u^0 = u^0(x, y, t)$; $v^0 = v^0(x, y, t)$; $w^0 = w^0(x, y, t)$ – перемещения точки поверхности в направлении координатных линий x , y , z ;

$$\psi_x = \psi_x(x, y, t) \text{ и } \psi_y = \psi_y(x, y, t) \text{ – углы поворота нормали,}$$

t – время.

Уравнения движения (колебания) элементов забрала под действием внешней импульсной нагрузки можно представить на основании вариационного принципа Остроградского-Гамильтона в следующем виде:

$$[\Omega]\bar{U}_{,tt} - [\Lambda]\bar{U} = \bar{Q}; \quad \bar{U} = \{u^0, v^0, w^0, \psi_x, \psi_y\}; \quad (1)$$

где \bar{U} – вектор искомых функций; $[\Omega]$ и $[\Lambda]$ – симметричные матрицы масс и жесткости размерностью $(5) \times (5)$; \bar{Q} – вектор внешних сил.

Решения уравнений (1) и внешняя нагрузка разлагаются в ряды Фурье по функциям, удовлетворяющим граничным условиям в системе координат x, y, z :

$$\text{для } x = 0, x = A: v = 0, w = 0, \psi_y = 0, N_x = 0, M_x = 0;$$

$$\text{для } y = 0, y = B: u = 0, w = 0, \psi_x = 0, N_y = 0, M_y = 0;$$

$$\text{для } i = \overline{1,5}. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} u &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{1mn}(t) B_{1mn}(x, y); & v &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{2mn}(t) B_{2mn}(x, y); \\ w &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{3mn}(t) B_{3mn}(x, y); & \psi_x &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{4,mn}(t) B_{4,mn}(x, y); \\ \psi_y &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_{5,mn}(t) B_{5,mn}(x, y); & Q_l &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} q_{lmn}(t) B_{lmn}(x, y). \end{aligned} \quad (3)$$

Координатные функции в подобных задачах выбираются как произведения тригонометрических функций [4].

$$B_{1mn} = \cos \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{2mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \cos \frac{n\pi y}{B}; \quad B_{3mn} = \sin \frac{m\pi x}{A} \sin \frac{n\pi y}{B};$$

$$B_{4,mn} = B_{1mn}; \quad B_{5,mn} = B_{2mn}; \quad m = \overline{1, M}; \quad n = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где M и N – число удерживаемых членов ряда.

Для выполнения исследований на прочность рассматриваемого блока «остекления» забрала нами были проведены расчеты на динамическую прочность. Соответственно, задача определения прочностных характеристик такого забрала сводится к задаче о колебаниях пластины или оболочки под действием нагрузки, моделирующей попадание на остекления фрагментарных осколков строительных конструкций:

- при строительстве – фрагмент кирпича, цементный раствор, бутовый камень и т.п.;

- при авариях и экстремальных ситуациях – обломки строительных конструктивов, закладные и др.

В работе [1] были проведены исследования прочности лобового остекления мобильного комплекса АСК-МФ на базе автомобиля КамАЗ. Однако здесь следует учитывать, что динамика столкновения защитного «остекления» забрала имеет свои отличительные особенности от рассматриваемой ранее задачи, где при более значительных размерах лобового остекления машины имели место, по сути, менее опасные нагрузки. В данном случае импульсное нагружение забрала, защищающего лицо работника, может иметь более опасные последствия даже при меньшей площади воздействия на панель «остекления». При этом, возникла необходимость провести моделирование динамики взаимодействия груза при столкновении с защитной панелью забрала.

Моделирование динамики взаимодействия части элемента строительной конструкции с защитной панелью «остекления» забрала.

В данном случае мы рассматриваем ситуацию, когда груз массы P , кг и защитное остекление сближаются друг с другом с относительной скоростью V , м/с. Причем, поверхность элемента остекления забрала с касательной к траектории движения груза образует угол α в точке их соприкосновения. Наклонный удар наносится по наружной поверхности слоя в направлении стороны элемента, параллельной оси Ox (рис. 2). Обработка разнообразных многочисленных данных, полученных в результате натурных экспериментов [3], показала, что площадь контакта груза и элемента остекления приблизительно может быть представлена в виде эллипса или упрощенно – прямоугольника. В связи с этим и характер равномерного распределения нагрузки по поверхности контакта в самом общем случае описывается эллипсом; в нашем частном случае (рис. 2) – прямоугольником.

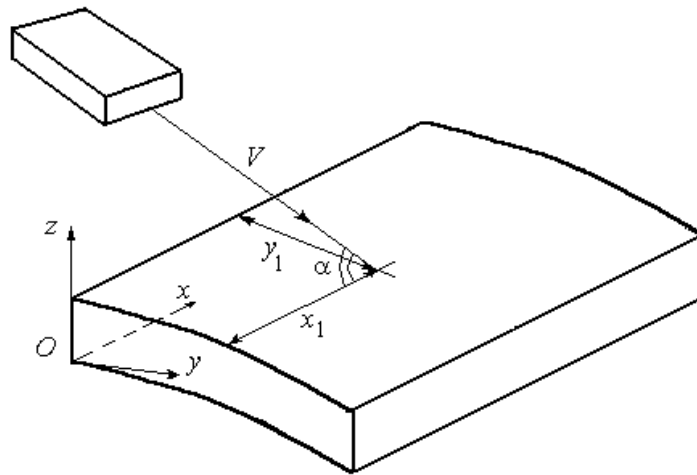


Рисунок 2 - Схема соударения элемента строительной конструкции с забралом.

Таким образом, составляющие вектора внешней нагрузки могут быть представлены в виде:

$$q_x^{\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{\phi}} = q_y^{\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{\phi}} = 0, \quad q_z^{\hat{a}\hat{i}\hat{a}\hat{\phi}} = \frac{1}{2} P_0 [1 + \sin(\tau_p - t)] F, \quad (5)$$

где P_0 - интенсивность нагрузки, кН/м²;

$$F = \left[1 - \frac{(x - x_1 - \delta)^2}{a^2} - \frac{(y - y_1)^2}{b^2} \right]^{1/2}; \quad (6)$$

τ_p – время ударного контакта, с;

a и b – длины полуосей площадки нагружения, м;

x_1, y_1 – координаты точки пересечения траектории груза с поверхностью панели забрала, м;

$q_x^{внеш}, q_y^{внеш}, q_z^{внеш}$ – проекции вектора внешней нагрузки на координатные оси внешней силы, приложенной к наружной поверхности панели

δ – величина, характеризующая смещение центра площадки нагружения в зависимости от угла соударения, если удар осуществляется грузом из пластичного материала (при жестком соударении $\delta=0$).

Параметр интенсивности внешней нагрузки P_0 подбирается в каждый момент времени так, чтобы мгновенная сила удара имела заданную величину. Это условие можно записать в следующем виде:

$$\int_{\Omega(t)} q_z(x, y, t) dx dy = T(t), \quad (7)$$

где $T(t)$ – мгновенная сила удара, Н;

$\Omega(t)$ – область контакта груза с элементом остекления.

Условие (8) позволяет выразить величину P_0 , входящую в (7), через значение мгновенной силы удара $T(t)$

$$P_0 = \frac{3T(t)}{2\pi ab}. \quad (8)$$

Задание величин a, b, δ, T как функций времени в зависимости от массы груза, угла и скорости соударения осуществляется по методике, разработанной на основе данных, полученных при натуральных экспериментах [1].

При этом, принято допущение, что внешняя нагрузка прилагается к наружной поверхности по прямоугольной площадке с размерами $(A_2 - A_1) \times (B_2 - B_1)$. Закон изменения во времени ее параметров можно записать двумя зависимостями:

$$q_x^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = q_y^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = 0; \quad q_z^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = \frac{1}{2} P_0 H(t) \sin \pi \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \sin \pi \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}; \quad (9)$$

$$x_1 \leq x \leq x_2, \quad y_1 \leq y \leq y_2;$$

а также:

$$q_z^{\hat{a}\hat{a}\hat{\phi}} = P_0 H(t); \quad x_1 \leq x \leq x_2, \quad y_1 \leq y \leq y_2, \quad (10)$$

где $H(t)$ – функция Хевисайда; P_0 – интенсивность нагрузки.

Таким образом (в обобщенном виде) представляется целесообразным рассматривать переходные процессы деформирования многослойных цилиндрических панелей с длинами сторон A и B с центральным углом φ (в том числе и однослойных монолитных).

Коэффициенты разложения этих нагрузок в ряд Фурье будут иметь вид:

для нагрузки (9) –

$$q_{3mn} = \frac{4P_0 H(t) A \cdot B \cdot (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}{\pi^2 [A^2 - m^2(x_2 - x_1)^2][B^2 - n^2(y_2 - y_1)^2]} \times$$

$$\times \left(\sin \frac{m\pi x_2}{A} + \sin \frac{m\pi x_1}{A} \right) \left(\sin \frac{n\pi y_2}{B} + \sin \frac{n\pi y_1}{B} \right); \quad (11)$$

для нагрузки (10) –

$$q_{3mn} = \frac{4P_0}{mn\pi^2} H(t) \left(\cos \frac{m\pi x_2}{A} - \cos \frac{m\pi x_1}{A} \right) \left(\cos \frac{n\pi y_2}{B} - \cos \frac{n\pi y_1}{B} \right), \quad (12)$$

где P_0 – интенсивность нагрузки; $m = \overline{1, M}$, $n = \overline{1, N}$.

Численные исследования распределения напряжений в зависимости от толщины монолитного слоя и величины внешней нагрузки.

Исследования на расчетных динамических моделях проводились нами для однородной монолитной панели ($i=1$) блока «остекления» забрала с геометрическими параметрами: $A = 0,02\text{м}$, $B = 0,03\text{м}$, $R=0,095\text{м}$, $\varphi=\pi$, при действии распределенной нагрузки по площадке $A_1 \leq x \leq A_2$ и $B_1 \leq y \leq B_2$. Панель выполнена из поликарбоната (ПК). Импульсная нагрузка (9) прилагается к наружной поверхности панели по прямоугольной площадке ($A_1 = 0,075\text{м}$, $A_2 = 0,125\text{м}$ и $B_1 = 0,125\text{м}$, $B_2 = 0,175\text{м}$) двумя номиналами: с интенсивностью равной 1,0МПа и 0,75МПа.

При изучении НДС в волокнах монолитной панели нами рассматривались выпускаемые промышленностью следующие толщины листов: $h_0 = 4$ мм, 8 мм и 12 мм. В результате проведенных нами исследований НДС каждого из стандартных монолитов были получены данные в виде характерных линейных зависимостей напряжений в волокнах, расположенных внутри «остекления» забрала (рис. 3-5), на соответствующей глубине. Приведенные значения напряжений, действующих в волокнах внутри монолитных цилиндрических панелей различной габаритной толщины, причем в первый период колебательного движения, когда они достигают своих максимальных значений.

В табл. 1 приведены расчетные и экспериментальные значения напряжений при действии нагрузки, величиной $P = 1,0$ МПа

Таблица 1 - Напряжения при нагрузке $P = 1,0\text{МПа}$

$h_0 = 12$ мм	z , мм	0	6	12
	$\sigma_x(z)$, МПа	-14,4/-14,1	1,9	10,2/9,9
	$\sigma_y(z)$, МПа	-16,7/-16,3	-2,1	12,7/12,5
$h_0 = 8$ мм	z , мм	0	4	8
	$\sigma_x(z)$, МПа	-27,4/-26,6	-5,7	16,2/15,9
	$\sigma_y(z)$, МПа	-31/-30,3	-5,3	20,5/19,8
$h_0 = 4$ мм	z , мм	0	2	4
	$\sigma_x(z)$, МПа	-80/-79,1	-23,5	32,2/31,5
	$\sigma_y(z)$, МПа	-88,6/-87,2	-38,1	12,7/12,3

Примечание. Значения напряжений под дробной чертой получены при испытаниях на лабораторном стенде НПО «Хартрон» и свидетельствуют о приемлемой точности инженерных расчетов.

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -14,4 + 3,383x - 0,111x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 2,16345E-0028

$$\sigma_y = -16,7 + 2,417x + 0,003x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,43967E-0029

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

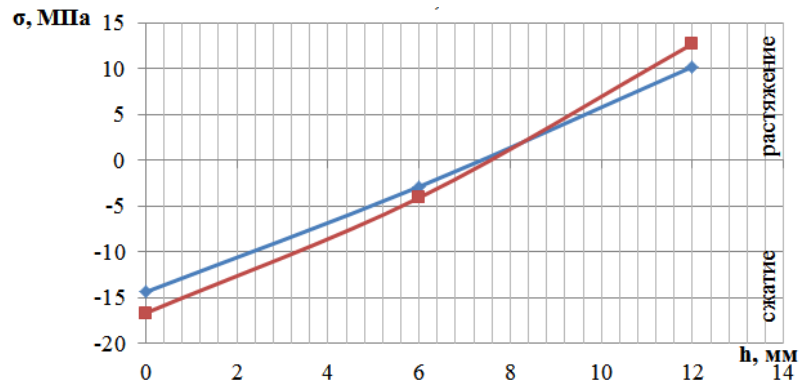


Рисунок 3 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 12$ мм, где:

◆ σ_x – напряжения вдоль оси x,
 ■ σ_y – напряжения вдоль оси y

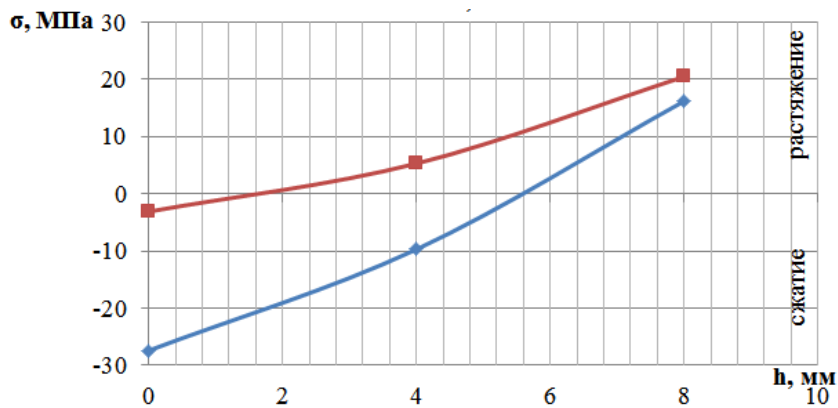


Рисунок 4 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 8$ мм, где:

◆ σ_x – напряжения вдоль оси x,
 ■ σ_y – напряжения вдоль оси y

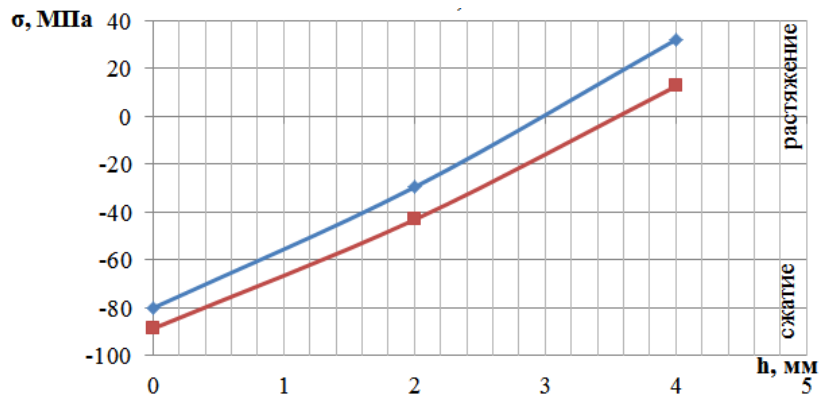


Рисунок 5 - Зависимости изменения НДС монолитного слоя при интенсивности $P_0 = 1$ МПа, толщине $h_0 = 4$ мм, где:

◆ σ_x – напряжения вдоль оси x,
 ■ σ_y – напряжения вдоль оси y

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -27,4 + 5,4x + 0,006x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,34106E-0029.

$$\sigma_y = -31 + 6,413x + 0,003x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 3,23433E-0029.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x = -80 + 28,45x - 0,1x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 0.

$$\sigma_y = -88,6 + 25,175x + 0,038x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 2,65057E-0028.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают НДС монолитного слоя.

В результате сравнительного анализа данных, полученных расчетным путем и экспериментально на лабораторном стенде НПО «Хартрон» установлено, что погрешность наших расчетов не превышает допустимых пределов инженерной точности 3–5%, причем точность идет «в запас с избытком». Как видно из приведенных на рис. 3-5 графиков, численные значения максимальных напряжений (сжатия-растяжения) волокон, как и следовало ожидать, становятся большими при меньших значениях толщины монолитного слоя.

Анализ расчетных данных показывает, что σ_x и σ_y в монолитном слое достигают максимальных значений при толщине $h_0 = 4$ мм ($P_0 = 1,0$ МПа), и лежат в области предельно допустимых значений. То есть, неоспоримым фактом является то, что прочность «остекления» забрала по мере увеличения его габаритной толщины возрастает и согласно расчетам является косвенным подтверждением правомерности применения предложенного нами подхода в исследованиях. С другой стороны, отношения напряжений в волокнах во взаимно перпендикулярных направлениях, параллельных внешней поверхности защитного блока, имеют тенденцию к перераспределению. То есть, при больших значениях толщины панели это отношение близко к постоянству, хотя здесь несколько большими являются величины напряжений растяжения волокон в направлении оси y . Тем не менее, соотношение меняется естественно в сторону преобладания напряжений растяжения в направлении оси y , когда толщина монолитного «остекления» уменьшается. Причем, при уменьшении толщины панели, положение области расположения волокон нейтральной плоскости внутри однородной панели забрала (где нормальные напряжения близки к нулю) смещается в сторону от середины толщины монолита. Для напряжений сжатия все происходит наоборот. При увеличении габаритной толщины панели, положение области нахождения нейтральных волокон внутри «остекления» забрала смещаются от середины толщины монолита в противоположную сторону.

Проведенные нами исследования влияние толщины монолитного защитного блока на НДС его «остекления» позволяют прогнозировать принятие решений при его конструировании: существует объективная необходимость учитывать толщину монолитного слоя забрала с учетом требований безопасности для видов работ.

Расчетные данные, на основании которых построены рис. 3-5 в виде зависимостей максимальных напряжений от толщины монолитного блока, нами были обобщены и перестроены по реперным точкам « h » – « σ » (табл. 2) и приведены на рис. 6.

Таблица 2 - Распределения максимальных напряжений для различных толщин монолитной панели «остекления»

h_0 , мм	4	8	12
σ_x^- , МПа	-80	-27,4	-14,4
σ_x^+ , МПа	32,2	16,2	10,2
σ_y^- , МПа	-88,6	-31	-16,7
σ_y^+ , МПа	52,7	20,5	12,7

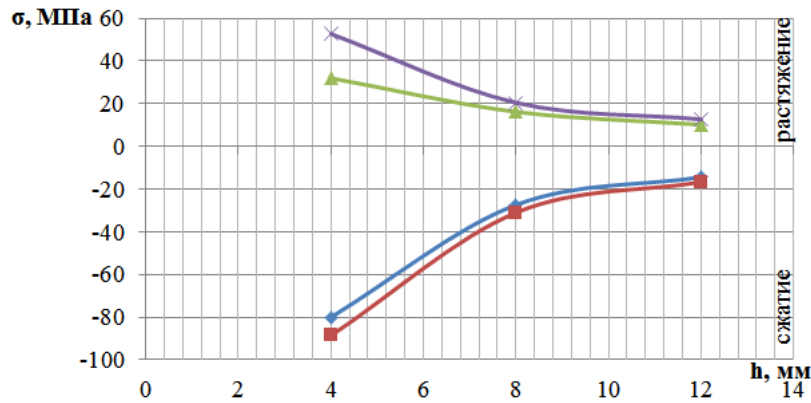


Рисунок 6 - Распределение максимальных напряжений по толщине панели «остекления» ($h_0 = 12$ мм), полученные расчетным путем, где:

— σ_x^- — σ_y^- — σ_x^+ — σ_y^+

После обработки полученных данных были получены зависимости:

$$\sigma_x^- = -172,2 + 28x - 1,238x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 5,16010E-0026.

$$\sigma_x^+ = 58,2 - 7,75x + 0,313x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,27480E-0027.

$$\sigma_y^- = -189,5 + 30,638x - 1,353x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 1,12902E-0025.

$$\sigma_y^+ = -10,7 + 7,8x - 0,488x^2.$$

Сумма квадратов отклонений = 2,55591E-0026.

С учетом малых значений отклонений полученные зависимости хорошо описывают распределение максимальных напряжений по толщине панели «остекления» ($h_0 = 12$ мм).

Выводы. Это позволило сделать выводы, которые имеют существенное значение для модернизации забрала каски и важны при конструирования новых панелей «остекления»:

- во-первых. Изменения напряжений в зависимости от толщины однородного слоя панели (рис. 6) носят нелинейный характер;

- во-вторых. Максимальные напряжения «сжатия» (рис. 6) распределяются следующим образом: в направлении x напряжения σ_x по абсолютным максимумам меньше значений напряжений в направлении y (σ_y), хотя при увеличении толщины монолита их численные величины, как и следовало ожидать, «сходятся» по асимптотам;

- в третьих. Определено, что более благоприятной зоной повышенной безопасности, с прочностной точки зрения, является область толщин однородной панели забрала, находящаяся в пределах от 8 до 12 мм, т.к. в этом диапазоне толщин уровень напряжений

сжатия и растяжения по обоим направлениям (x и y) во внешних наружных волокнах монолита минимален. Причем, он близок, исходя из вида полученных зависимостей, к предельному уровню. Однако заметим, что при этом весовые характеристики защитных панелей имеют естественную тенденцию в сторону увеличения;

- в четвертых. Установлено, что смещение от нейтральной середины монолита области с минимальными значениями напряжений σ_x и σ_y предопределяет необходимость разработки многослойной панели с разделением монолита на три слоя, где нейтральным (в середине) может быть прозрачный клеевой слой, который соединит наружный и внутренний в трехслойный пакет. Это позволяет варьировать в известных пределах толщинами слоев «остекления» забрала, но и обеспечить его безопасность.

В результате исследований установлено, что многослойный пакет «остекления» забрала должен количественно и качественно изменить ситуацию при замене им однородной панели «остекления» забрала. При этом в сторону улучшения должны измениться прочностные характеристики забрала (уменьшатся напряжения во внутреннем первом и наружном третьем слоях забрала), при одновременном снижении веса лицевого щитка.

Перспективы дальнейших исследований.

В результате исследований предложен комплексный подход, который позволяет оценивать безопасность применения защитной каски с забралом при разработке новых видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов, А. С. Прочностные свойства защитных касок для работы на объектах стройиндустрии / А. С. Беликов, О. А. Сабитова, В. А. Голендер и др. // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, 2013. Вып. 71, т. 2. - С. 24-28.

2. Абаимов С. Г. Статистическая физика сложных систем. От фракталов до скейлинг-поведения / С. Г. Абаимов. - Москва : URSS : Либроком, 2012. – 388 с.

3. Афанасьева И. Н. Моделирование двумерного нестационарного обтекания гибкой упругой конструкции в связанной постановке. Часть 3: верификация методики численного моделирования поведения гибкой упругой конструкции. International Journal of Computational Civil and Structural Engineering, Volume 10, Issue 3 – Москва, 2014, С. 40-48.

4. Ulukhanyan A.R. Dynamic Equations of the Theory of Thin Prismatic Bodies With Expansion in the System of Legendre Polynomials // Mechanics of Solids. 2011. Vol. 46, №3, p. 467-479.

5. Харисов, Г. Х., Калайдов, А. Н., Фирсов А. В. Организация и ведение аварийно-спасательных работ. Учеб. пособие. Под ред. А. И. Овсяника – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 276 с.

УДК 614.84

А. С. Беликов, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., И. В. Трифонов д. т. н., проф.,
ГВУЗ «ПГАСА»,
Е. В. Борсук, Е. В. Дзецина,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

ВНЕДРЕНИЕ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Приведены результаты опытно-промышленных испытаний разработанных огнезащитных композиций, которые показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации строительных объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при возникновении экстремальных условий на объекте с высокотемпературным воздействием

Ключевые слова: безопасность строительных объектов и конструкций, безопасность путей эвакуации, огнезащитная композиция, горючесть строительных материалов.

Постановка проблемы. Статистические данные свидетельствуют, что безопасность строительных объектов, безопасность эвакуации людей, безопасность аварийно-спасательных работ в полной мере зависят от горючести и огнестойкости применяемых материалов и конструкций. Так, за 10-летний период с 2004 по 2014 гг из общего числа жертв при пожарах в культурно-массовых учреждениях Западной Европы 47,2% погибло не от огня, а в результате обрушения конструкций, горючести материалов на путях эвакуации.

Анализ последних достижений и публикаций. В настоящее время существуют различные способы повышения времени безопасной эксплуатации строительных материалов и конструкций: защита строительных конструкций от прямого источника огня за счет их оштукатуривания, нанесения специальных стойких к высоким температурам красок, лаков и специальных покрытий.

Одним из эффективных способов повышения безопасного времени эксплуатации конструкций является применение защитных покрытий, которые за счет вспучивания снижают теплопередачу на строительные конструкции.

Постановка задачи и ее решение. Однако, отечественная промышленность, практически их не выпускает, а завозимые импортные, в основном на органической основе, не отвечают требованиям, в полной мере, безопасности и весьма дорогие. Поэтому разработка отечественных негорючих защитных покрытий, исследование их защитных свойств и внедрение на производстве является важной научно-технической задачей для Украины.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья. Исследования показали, что предложенные огнезащитные композиции: ВЗП-Ж-2; ВЗП-1А; ВЗП-2А обладают высокими огнезащитными свойствами и для их изготовления и применения требуются не дорогие, не дефицитные компоненты. Многие из них являются отходами производства. Поэтому возникла необходимость в проведении опытно-промышленных испытаний предложенных композиций и отработке безопасной технологии их применения.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Анализ объектов предприятия “Днепракрапремстрой” показал, что они не отвечают требованиям безопасной эксплуатации из-за несоответствия пожарным нормам. Значительная часть построек выполнена из горючих материалов и конструкций, а многие объекты перепрофилированы в связи с изменением технологических процессов и назначения, что не отвечает нормативам пожарной безопасности, требованиям охраны труда.

Административное здание

Согласно предписаний пожарного надзора каркасы подвесных потолков административных и складских зданий и сооружений следует выполнять из негорючих материалов. Заполнение подвесных потолков запрещается выполнять из горючих материалов в общих коридорах, на лестницах, лестничных клетках, вестибюлях, холлах и фойе зданий I и IVa степеней огнестойкости.

В административном здании около 305 м² навесных потолков в коридорах и на лестничных площадках выполнены из древесных материалов, что не отвечает правилам безопасной эксплуатации зданий, создает угрозу жизни работающим на путях эвакуации в случае возникновения пожара, поэтому возникает необходимость замены дерева на негорючие материалы. В то же время, анализ состояния здания показал, что замена деревянных потолков является весьма сложной в техническом решении и требует обязательного усиления конструктивных элементов, что связано со значительными материальными затратами и временной приостановкой работы здания по назначению.

Согласно определения возгораемости навесные панели обшитые листом асбестоцемента толщиной до 6 мм или сухой штукатуркой при сгораемом каркасе не могут быть отнесены к трудносгораемым.

Поэтому для повышения безопасной эксплуатации здания, безопасной эвакуации людей в случае пожара нами было предложено провести обработку навесных потолков огнезащитным составом композиции ВЗП-2А при следующем соотношении компонентов, % по массе:

асбестоцементные отходы	20
шамотный песок	5
техническая бура	5
жидкое стекло	остальное

Согласно проведенных ранее исследований была принята толщина покрытия 1 мм.

В качестве основных компонентов были использованы:

- натриевое жидкое стекло с силикатным модулем 3,5, плотностью 1,4 г/см³;
- асбестоцементные отходы с содержанием, масс. в %: CaO 50,2-52,4; SiO₂ до 18,2; Al₂O₃ 3,0-4,0; Σ MgO+Na₂O 3,30-4,25; SO₃ до 3,0; п.п.п. до 15,0;
- шамотный песок - отход производства шамотного кирпича с содержанием SiO₂ 48-52%; Al₂O до 45%;
- техническая бура - с содержанием до 90% соли тетраборной кислоты H₂B₄O₇.

В табл. 1 приведены физико-механические свойства огнезащитной композиции.

Таблица 1 - Физико-механические свойства огнезащитной композиции

Свойства смеси огнезащитной композиции						
Плотность, г/см ³	Растекаемость по конусу АЗНИИ, см	Вязкость по КЦ-5, Пз	Водоотстой, %	Укрываемость, г/м ²	Толщина слоя покрытия, мм	Время загустевания при t=20 ⁰ С, ч-мин
1,60	16,0	27,0	1,8	600	0,5-0,6	1-15

Для приготовления огнезащитных составов применяли типовое технологическое оборудование.

Технология приготовления огнезащитных составов включает следующие процессы:

- подготовка материалов;
- дозировка компонентов;
- совместное тонкое измельчение твердых компонентов (при необходимости);
- совместное перемешивание до однородной массы твердых и жидких компонентов;
- расфасовка и затаривание (при необходимости).

Применительно к данным условиям, приготовление огнезащитных составов включает следующее технологическое оборудование:

1. Дозатор для взвешивания компонентов;
2. Емкость для жидкого стекла и других компонентов;
3. Емкость для приготовления раствора;
4. Насос с высоконапорными шлангами;
5. Емкость с водой для промывки насоса;
6. Сетка для отсева крупных примесей;
7. Манометр для контроля давления нагнетания насоса;
8. Денсиметр для контроля плотности жидкостей.

В смесительную емкость загружают компоненты в такой последовательности: жидкое стекло и добавки регуляторы свойств, а затем тонкоизмельченные твердые компоненты. При этом, постоянно прокачивая насосом раствор жидкого стекла с компонентами огнезащитного состава, добиваются равномерного перемешивания до получения однородной массы.

Производство работ по огнезащите выполняется в следующей последовательности:

- подготовка конструкций для нанесения огнезащитных составов;
- подготовка исходных материалов (компонентов) и проверка их качества;
- подготовка к работе установки для приготовления и нанесения огнезащитных составов;
- приготовление огнезащитного раствора и нанесение его на конструкции;
- контроль качества нанесения покрытия.

Подготовка исходных материалов, проверка их качества, подготовка конструкций, приготовление и нанесение огнезащитных покрытий производили в строгом соответствии последовательности основных технологических операций [1-3].

Подготовка строительных конструкций для нанесения огнезащитных составов

До начала работ конструкции очищаются от краски, грязи. При необходимости производится обезжиривание.

Безопасность приготовления и нанесения огнезащитных композиций на строительные конструкции

1. К эксплуатации технологического оборудования, приготовлению и нанесению покрытия допускаются лица не моложе 18 лет прошедшие подготовку по программе-минимум, утвержденной главным инженером предприятия после их аттестации с выдачей удостоверения.

2. При выполнении работ по нанесению огнезащитного покрытия следует руководствоваться ДБН А.3.2-2-2009 “Охорона праці і промислова безпека у будівництві”, санитарными нормами СН 245-81.

3. Все работы по приготовлению покрытия должны проводиться при хорошей вентиляции, обеспечивающей чистоту воздуха в рабочей зоне, содержание вредных веществ не должно превышать ПДК и отвечать требованиям СН 245-81, ГОСТ 12.1.005-88 “Воздух в рабочей зоне”.

4. Лица, занятые на работах по приготовлению и нанесению огнезащитных покрытий должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, спецодеждой из хлопчатобумажной ткани по ГОСТ 12.4.085-80, ГОСТ 12.4.086-80, средствами индивидуальной защиты органов дыхания (респиратор универсальный РУ-60М, ГОСТ 17269-71 с патроном марки А, ШБ-2 “Лепесток-200”, ГОСТ 12.4.028-76, обувью и средствами защиты рук по ГОСТ 12.4.103-83, защитными очками по ГОСТ 12.4.003-80.

5. Покрытие ВЗП-Ж-2; ВЗП-1А; ВЗП-2А не содержат токсичных веществ.

Компоненты огнезащитных составов проверяются на соответствие их стандартам и техническим условиям.

При этом обязательно контролируются следующие параметры:

■ плотность жидкого стекла по денсиметру должна быть от 1,18 до 1,5 г/см³, для калиевого или натриевого стекла с модулем 2,5-3,0.

Твердые компоненты должны строго просеиваться через сито, при этом, не должно быть комков и примесей. Удельная поверхность должна быть не менее 1000-1500 см²/г.

Приготовление огнезащитных композиций может производиться как на специальных технологических машинах с установкой согласно замеров тары, так и непосредственно в условиях производства перед применением. Технология их приготовления не требует специального технологического оборудования и в условиях предприятия “Днепркапремстрой” нами было использовано следующее оборудование: смеситель С-334; дозатор ЦНИИЛ-3; емкости для воды, жидкого стекла и приготовленной композиции.

Дозировку компонентов производили с точностью до 0,1%, продолжительность перемешивания 15-20 мин. Для устранения комкования сухих компонентов при перемешивании с жидким стеклом предварительно проводился отсев компонентов через сита и перетирка комков вручную.

Нанесение покрытия на навесной потолок из древесных материалов производили механизированным способом. Предварительно до начала работ был закрыт доступ посторонним на участок ведения работ, обесточено электрооборудование и осветительная линия. Температура окружающей среды при ведении работ составляла 18-20 °С, влажность не превышала 65%.

Нанесение покрытия производили краскораспылителем и в соответствии с требованиями, изложенными в [1].

Для безопасности рабочее место оператора должно отвечать требованиям электробезопасности ГОСТ 12.1.019 и санитарным нормам СН 245-71.

Расстояние от краскопульта до предохраняемой поверхности составляло 300-500 мм, давление распыления 0,4-0,5 МПа. Толщина слоя покрытия составляла 0,5-0,75 мм. Повторную обработку производили через 48 ч, общая толщина покрытия составляла не менее 1,0 мм. Механизированным способом было обработано 305 м² навесных потолков.

Контроль за процессом приготовления и нанесения огнезащитного покрытия производился инженерно-техническими работниками предприятия и представителями ПГАСА.

Контроль за качеством нанесения огнезащитного покрытия на строительные конструкции сводился к визуальному осмотру покрытой поверхности. Не допускается наличие необработанной поверхности, образование трещин, отслоений, вздутий, коробления и т.д. Толщина покрытия должна быть не менее 1,0 мм, контроль за толщиной покрытия производился на 10% обработанной площади поверхности конструкций замером глубины покрытия, затем указанные участки повторно обрабатывались.

При обнаружении пропусков покрытия или других дефектов проводилась повторная обработка поверхности.

В журнале делалась запись о сроках проведения обработки, а также о последующих профилактических осмотрах (не реже 1 раз в месяц).

Складские помещения

В складском помещении СМУ-1 12 стальных колонн выполнены из равносторонних уголков №20 с толщиной стенки 12 мм, площадь поперечного сечения одного уголка $F=47,1 \text{ см}^2$, $\delta_{пр}=1,17 \text{ см}$.

Согласно методики расчета, изложенной в работах [1, 4, 5], предел огнестойкости незащищенной металлической колонны равен:

$$\tau = e^{-1,4385} \cdot \delta_{пр}^{0,5834} = 0,237402 \cdot 1,1 = 0,26 \text{ ч} = 15,6 \text{ мин}$$

где: τ - предел огнестойкости конструкций, ч;

δ - приведенная толщина металла, см.

Согласно требований безопасности, противопожарных норм ДБН В.1.1-7-2002 минимальный предел огнестойкости строительных конструкций в зданиях II степени огнестойкости производственного и складского назначения должен быть не менее 0,75 ч.

В предписании пожарного надзора в целях безопасной эксплуатации объекта и сохранения материальных ресурсов необходимо повысить безопасность эксплуатации конструкций до 1 ч.

В качестве меры повышения безопасности эксплуатации при пожаре строительных колонн 20x20 см, высотой 3,4 м предложено нанесение огнезащитного покрытия следующего состава, % по массе (композиция ВЗП-2А):

асбестоцементные отходы	25
шамотный песок	5
техническая бура	6
жидкое стекло	остальное

Предложено провести нанесение огнезащитного покрытия (композиция ВЗП-2А) толщиной 5 мм. При этом, согласно полученной нами зависимости и методики расчета, приведенной в работе [1] безопасное время эксплуатации колонны при пожаре (огнестойкость) будет равно:

$$\begin{aligned} \tau &= 14,776 + 15,637\delta_n - 1,118\delta_n^2 + 0,0249\delta_n^3 = \\ &= 14,776 + 15,137 \cdot 5 - 1,118 \cdot 5^2 + 0,0249 \cdot 5^3 = 65,62 \text{ мин} \end{aligned}$$

Технологические свойства огнезащитной композиции ВЗП-2А приведенного выше состава представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Физико-механические свойства огнезащитной композиции

Свойства смеси огнезащитной композиции						
Плотность, г/см ³	Растекаемость по конусу АЗНИИ, см	Вязкость по КЦ-5, Пз	Водоотстой, %	Укрываемость, г/м ²	Толщина слоя покрытия, мм	Время загустевания при t=20 °С, ч-мин
1,65	12,5	32,5	1,6	600	0,6-0,75	0-55

Нанесение покрытия на стальные колонны производили шпателем в 2 приема. После нанесения после первого слоя покрытие выдерживали не менее 48 ч, затем производилась повторная обработка. Толщина отвердевшего слоя составляла не менее 5 мм. Визуальным осмотром производился контроль за качеством нанесения покрытия. При обнаружении дефектов: пропусков в покрытии, трещин, проводилась повторная обработка с обязательной записью в журнале об устранении недостатков.

Для оценки огнезащитной эффективности применяемых композиций во времени для защиты строительных конструкций готовились образцы, которые хранились в тех же условиях, что и строительные конструкции. Контроль качества покрытия проводился как визуально, так и по результатам огневых испытаний.

Для контроля за сохранением эффективности покрытия на деревянном навесном потолке готовились стандартные образцы по ГОСТ 16363-98. Одновременно с обработкой конструкций обрабатывались образцы с такой же толщиной покрытия. Всего было изготовлено 80 образцов, по 20 образцов в каждой серии. Огневые испытания образцов проводили в установленные сроки согласно ГОСТ 16363-98 и ГОСТ 12.11.044-89 с изменениями и дополнениями, приведенными в методике исследований [1].

Результаты исследований представлены в табл. 3-5.

Таблица 3 - Потеря массы контрольных образцов при испытании по ГОСТ 16363-98

№ контрольных образцов	Потеря массы, % после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	6,8	6,7	6,4	5,8
2	5,9	6,6	6,4	6,9
3	6,0	6,4	6,3	6,4
4	5,0	6,7	6,8	6,3
5	6,4	6,5	6,9	6,0
6	6,4	6,3	6,1	6,3
7	6,5	6,8	6,8	6,5
8	6,7	6,4	6,5	8,4
9	6,3	6,0	6,3	6,4
10	6,6	7,1	6,0	6,7
среднее значение	6,3	6,6	6,7	7,1

Таблица 4 - Потеря массы контрольных образцов при испытании по ГОСТ 12.1.044-89 (время испытаний 10 мин)

№ контрольных образцов	Потеря массы контрольных образцов, % после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	21,4	20,4	22,4	23,1
2	22,1	23,4	22,3	23,2
3	23,0	23,2	22,5	22,4
4	24,6	23,1	23,0	21,0
5	23,8	23,6	25,1	21,7
6	23,9	23,4	24,6	22,9
7	21,6	22,0	24,0	23,4
8	22,9	22,0	24,1	24,6
9	24,0	21,2	23,9	24,1
10	23,1	21,2	23,0	24,5
среднее значение	22,5	23,0	23,1	23,5

Это подтвердили и результаты исследований по ГОСТ 12.1.044-89 (табл. 4, 5).

Таблица 5 - Максимальное приращение температуры при испытании контрольных образцов по методу “керамической трубы”

№ контрольных образцов	Максимальное приращение температуры, °С после выдержки			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
1	25,8	26,0	26,4	27,8
2	25,4	26,6	26,8	27,7
3	25,6	26,3	26,9	27,4
4	25,8	26,4	26,0	30,0
5	26,3	26,0	27,0	26,5
6	26,0	26,8	26,4	26,4
7	26,3	26,3	26,6	26,1
8	26,3	26,4	26,8	27,7
9	25,7	26,3	26,4	27,4
10	25,6	26,3	26,4	27,8
среднее значение	25,8	26,3	26,6	27,5

Результаты исследований (табл. 3-5) показали, что нанесение огнезащитной композиции на строительные деревянные конструкции позволяет повысить безопасность эксплуатации объекта, перевести их в группу трудногораемых (потеря массы согласно ГОСТ 16363-98 менее 9%). При этом, в процессе эксплуатации конструкций в условиях предприятия в течение 2-х лет не выявлено снижения огнезащитной эффективности покрытия. Согласно п. 4.3 ГОСТ 16363-98 (СТ СЭВ 4686-84) покрытие ВЗП-2А при толщине нанесения 1,0мм (в сухом состоянии), относится к I группе огнезащитной эффективности (обеспечивает получение трудногорючей древесины в течение указанного срока эксплуатации).

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что максимальная потеря массы не превышает 60%, а максимальное приращение температуры не превышает 60 °С. Это позволяет утверждать, что нанесение огнезащитной композиции на деревянные конструкции позволяет перевести древесину в группу трудногорючих материалов, повысить безопасность эксплуатации объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при пожаре.

Для оценки огнезащитной эффективности покрытия в процессе эксплуатации металлических колонн одновременно с обработкой колонн проводилась обработка металлических образцов - пластин 200x200 мм, $\delta_{пр}=10$ мм из стали ст3. Толщина покрытия на образцах наносилась аналогично защите колонн до 5 мм. Образцы выдерживались в тех же условиях, что и колонны (укладывались рядом с колоннами на стеллажи). Каждые 6 месяцев серия из трех образцов испытывалась согласно методики, изложенной в [1].

Результаты испытаний контрольных образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6 - Достижение критической температуры при нагреве контрольных образцов с покрытием ($\delta_n=5$ мм)

Продолжительность испытаний, мин	Температуры нагрева, °С образцов выдержанных в эксплуатационных условиях			
	90 суток	180 суток	270 суток	360 суток
10	85	80	85	82
20	140	155	165	150
30	180	189	200	175
40	210	220	260	220
50	270	270	300	280
60	350	360	425	330
65	410	417	500	460
70	500	489	-	500
72	-	500	-	-

Анализ результатов исследований (табл. 6) позволяет сделать вывод, что огнезащитное покрытие толщиной 5 мм позволяет повысить безопасное время эксплуатации конструкций при пожаре (предел огнестойкости) с $\delta_{пр}=10$ мм до 65 мин и во времени огнезащитное покрытие сохраняет эффективность. Из рис. 1 видно, что огнезащитное покрытие в течение 40-50 мин оказывает значительное термическое сопротивление прогреву (наблюдается почти линейная зависимость повышения температуры на необогреваемой стороне пластин с повышением температуры и длительности прогрева). Однако в дальнейшем, по-видимому, в покрытии происходят незначительные деструктивные изменения, которые влияют на теплоизоляционные свойства покрытия, снижая их.

t, °С

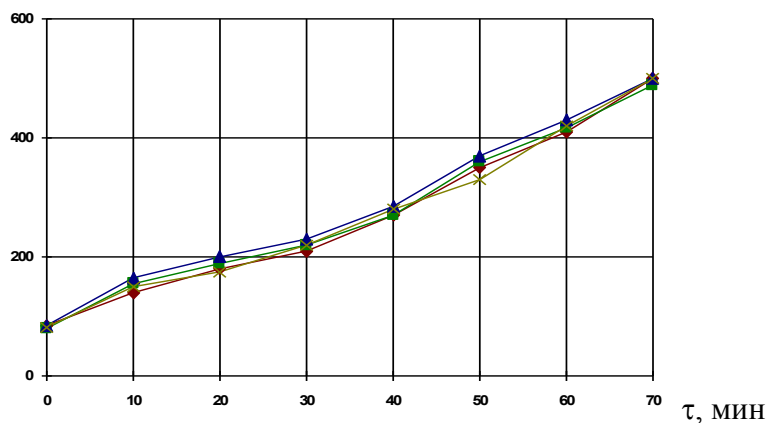


Рисунок 1 - Кривые прогрева стальных пластин с огнезащитным покрытием ($\delta_n=5$ мм)

Постоянний контроль за состоянием поверхности огнезащитного покрытия на деревянных и металлических конструкциях на предприятии “Днепркапремстрой” показал, что оно не претерпевает деструктивных внешних изменений, сохраняет высокие адгезионные и огнезащитные свойства.

Применение разработанного нами огнезащитного покрытия ВЗП-2А позволило повысить безопасную эксплуатацию объектов “Днепркапремстрой”, выполнить предписание пожарного надзора и получить значительный экономический эффект.

Выводы. На основании проведенных исследований и опытно-промышленных испытаний разработана безопасная технология приготовления и нанесения огнезащитного покрытия применительно к условиям производства. Опытно-промышленные испытания разработанных огнезащитных композиций показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации строительных объектов, повысить безопасность аварийно-спасательных работ при возникновении пожара на объекте.

Перспективы дальнейших исследований.

Экспериментальные и опытно-промышленные испытания разработанных огнезащитных композиций показали, что их применение позволяет повысить безопасность эксплуатации объектов в экстремальных условиях за счет повышения огнестойкости и снижения горючести строительных конструкций из металла и дерева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликов А. С. Теоретическое и практическое обоснование снижения горючести и повышения огнестойкости строительных конструкций за счет применения огнезащитных покрытий / Беликов А. С. — Днепропетровск : Gaudeamus, 2000. - 196 с.
2. Баженов С. В. Определение срока службы огнезащитных покрытий по результатам натуральных и ускоренных климатических испытаний / С. В. Баженов, Ю. В. Наумов // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — № 6. — С. 59-67.
3. Еремина Т. Ю. Нормирование качества огнезащитных вспучивающихся красок / Т. Ю. Еремина, Ю. Н. Дмитриева, М. В. Крашенинникова // Лакокрасочные материалы и их применение. — 2006. — № 11. — С. 8—11.
4. Зыбина О. А. Проблемы адгезии огнезащитных вспучивающихся тонкослойных покрытий по металлу / О. А. Зыбина // Химическая промышленность. — 2003. — № 9. — С. 38—39.
5. Мосалков И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. — М.: ЗАО «Спецтехника», 2011. — 496 с.

УДК 614.8

С. Н. Бобрышева, к. т. н, доц., В. Б. Боднарук,
ГУО «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Представлен краткий обзор информации по существующим альтернативным средствам пожаротушения. Показаны возможности улучшения их эксплуатационных свойств с помощью добавок функционально модифицированных ультрадисперсных глин.

Ключевые слова: огнетушащие средства, суспензии, гели, быстротвердеющие пены, дисперсные материалы.

Постановка проблемы. В настоящее время современный ассортимент огнетушащих средств, находящихся на вооружении подразделений МЧС, значительно расширился. Однако повседневное и широкое их применение не отличается разнообразием и в основном состоит из воды, пены и огнетушащих порошков. Необходимо отметить, что они являются наиболее эффективными средствами тушения пожаров в традиционных случаях. В тоже время стремительное развитие индустрии новых материалов различного назначения сопровождается непрогнозируемыми чрезвычайными ситуациями, связанными с горением этих материалов и трудностями ликвидации пожаров и их последствий. Особенно это касается синтетических композиционных материалов. Обладая высокой горючестью, они повышают общую пожароопасность, а, выделяя при горении большое количество ядовитых газов, токсичных и радиоактивных веществ, губительно действуют на человека и окружающую среду. Анализируя складывающуюся ситуацию, возникает необходимость разработки, производства и применения альтернативных огнетушащих средств специального назначения или комплексного действия.

Отвечая этим требованиям, материаловедение огнетушащих средств развивается по двум направлениям.

1. Разработка огнетушащих средств универсального назначения. Очевидно, что из-за разнообразия процессов горения такие средства создать принципиально невозможно, хотя некоторых успехов в этом направлении можно отметить. Так известно, что используются пены различной кратности для тушения классов А и В, также существуют порошковые составы для тушения классов АВС и ВСЕ и др.

2. Расширение ассортимента огнетушащих средств, учитывающих специфику горения новых материалов.

Анализ последних достижений и публикаций. Известны разработки и применение быстротвердеющих пен (БТП). Пена способна самопроизвольно отверждаться с течением времени и значительно снижать экологическую нагрузку на атмосферу от продуктов аварийного разлива ГЖ. Продолжительность изолирующего действия таких пен может составлять несколько суток. БТП предназначена для прокладки опорных и заградительных полос при борьбе с лесными пожарами, тушения горящих и защиты от воспламенения негорящих штабелей лесоматериалов при борьбе с пожарами на лесоскладах, локализация пожаров торфа на предприятиях, связанных с их добычей и переработкой, защиты от воспламенения сгораемых объектов, находящихся вблизи пожара. БТП получают на основе карбамидоформальдегидных смол. Особенно эффективно применение БТП при подаче на горящую жидкость, поскольку до отверждения пена покрывает всю поверхность и прекращает горение, а в дальнейшем препятствует повторному воспламенению паровоздушной смеси. При тушении БТП в 2 раза эффективнее воды, а при защите негорящих объектов от воспламенения в 7-10 раз. Введение в состав 15-20 объемных частей древесной муки или вспучивающегося при нагреве порошка, увеличивает теплозащитные

свойства пены при высокотемпературном воздействии в 2-3 раза. Пена образуется при впрыскивании отвердителя в модернизированный пенный ручной ствол СВП-4 с помощью специального устройства, представляющего собой емкость для хранения отвердителя, распылитель для отвердителя, аппаратура для вытеснения отвердителя из емкости с помощью сжатого воздуха. При нанесении на поверхность пена быстро твердеет, образуя слой негорючего пенопласта. Особенно эффективно применение БТП при подаче на горящую жидкость, поскольку до отверждения пена покрывает всю поверхность и прекращает горение, а в дальнейшем препятствует повторному воспламенению паровоздушной смеси. При тушении БТП в 2 раза эффективнее воды, а при защите негорящих объектов от воспламенения в 7-10 раз. Введение в состав 15-20 объемных частей древесной муки или вспучивающегося при нагреве порошка, увеличивает теплозащитные свойства пены при высокотемпературном воздействии в 2-3 раза.

В последние годы появились полимерные добавки к воде, позволяющие получать гелевые структуры полимера с водой. Одной из таких добавок является добавка на основе полиакриламида «Фаерсорб®». Применение таких добавок дает возможность снизить расходы воды, подаваемой на тушение, в 2 раза и более. Высокая адгезионная способность этих растворов позволяет получать устойчивую пленку геля на поверхностях таких материалов, как резина, изделия из каучука, пластмасс различных видов, древесины и других материалов растительного происхождения, использовать эти растворы для тушения лесных и торфяных пожаров. Использование гелевых добавок не требует дополнительных усилий по организации их удаления, так как они разлагаются на экологически безвредные составляющие под воздействием солнечных лучей и других природных факторов

Подобный механизм действия реализуется и при использовании жидкого стекла. Жидкое стекло или растворимый силикат щелочных металлов лития, калия, натрия представляет собой вязкую жидкость с плотностью 1400-1500 кг/м³. Жидкое стекло смешивается с водой в любых соотношениях. Таким образом, жидкое стекло с полным основанием можно отнести к веществам, существенно повышающим вязкость воды, т.е. к загущающим веществам. Кроме того, при растворении жидкого стекла в воде существенно повышается плотность раствора, что способствует увеличению кинетической энергии движения струи раствора по сравнению с энергией струи воды, направленной в очаг горения с одинаковой скоростью. Дальность полета струи раствора при этом также увеличивается. При подлете струи раствора жидкого стекла к поверхности горения, под действием высокой температуры происходит нагрев раствора и снижается его вязкость, что способствует лучшему растеканию раствора на поверхности горения. При испарении воды из раствора на поверхности горения увеличивается концентрация жидкого стекла, значительно повышается его вязкость и при полном испарении воды из состава раствора на поверхности горения остается пленка жидкого стекла, обладающая свойством непрерывности. Образовавшаяся после испарения свободной воды на поверхности горения пленка жидкого стекла при температуре от плюс 120 до плюс 200° С теряет молекулярную воду и приобретает твердообразное состояние. В интервале температур от плюс 200 до плюс 400°С из твердообразного жидкого стекла начинает удаляться химически связанная вода, под действием которой корочка жидкого стекла приобретает пиропластическое состояние, а выделяющиеся пары воды, вследствие резкого увеличения своего объема, вспенивают эту корочку и ее объем увеличивается в 10-50 раз. Плотность образовавшегося на поверхности горения слоя пены составляет 30-50 кг/м³ и этот слой надежно блокирует доступ кислорода воздуха к поверхности горения. Образовавшийся слой пены не подвержен горению, так как по своему составу является неорганическим веществом – безводным силикатом щелочного металла. Кроме того, образовавшийся слой твердой неорганической пены обладает низким коэффициентом теплопроводности (0,030-0,036 Вт/м·К) и предотвращает прогрев затушенной поверхности до температуры возгорания за счет резкого снижения интенсивности воздействия теплового потока, образующегося при излучении пламени и

конвективного тепла димових газів. Пена зберігає свою структуру і властивості при нагріві до температури плюс 550° С, вище якої починається частичне подплавлення поверхнового шару пени і його ущільнення. Таким чином, використання запропонованого огнетушачого складу дозволяє значно знизити температуру поверхності горіння за рахунок витрати тепла на випаровування вільної води, молекулярної і хімічно пов'язаної води рідкого скла, на процеси пеноутворення і плавлення поверхнових шарів пени.

Постановка задачі і її рішення. Ціллю даної роботи явилась оцінка перспектив розробки і впровадження альтернативних засобів пожеготушення з використанням модифікованих ультрадисперсних глини як заповнювачів в огнетушачих складів і матеріалів.

Коллективом співробітників Гомельського інженерного інститута МЧС Республіки Білорусь ведуться патентні і дослідницькі роботи по розробці складів суспензій, швидкозастійлих пен, гелів, огнетушачих порошків подвійного призначення, адсорбентів для ліквідації аварійних розливів нафти і нафтопродуктів, антипіренів для полімерних матеріалів, знижуючих їх горючість. При цьому активно використовуються досягнення сучасних технологій, дозволяючих за рахунок зміни структурних характеристик традиційних матеріалів значно покращити їх властивості.

Розроблена дисперсна основа, представляюча собою активну матрицю, і метод механоактивації з метою досягнення потрібних експлуатаційних властивостей по енергоекономічній, малозатратній, простій, екологічно безпечної технологічній схемі (рисунок 1).

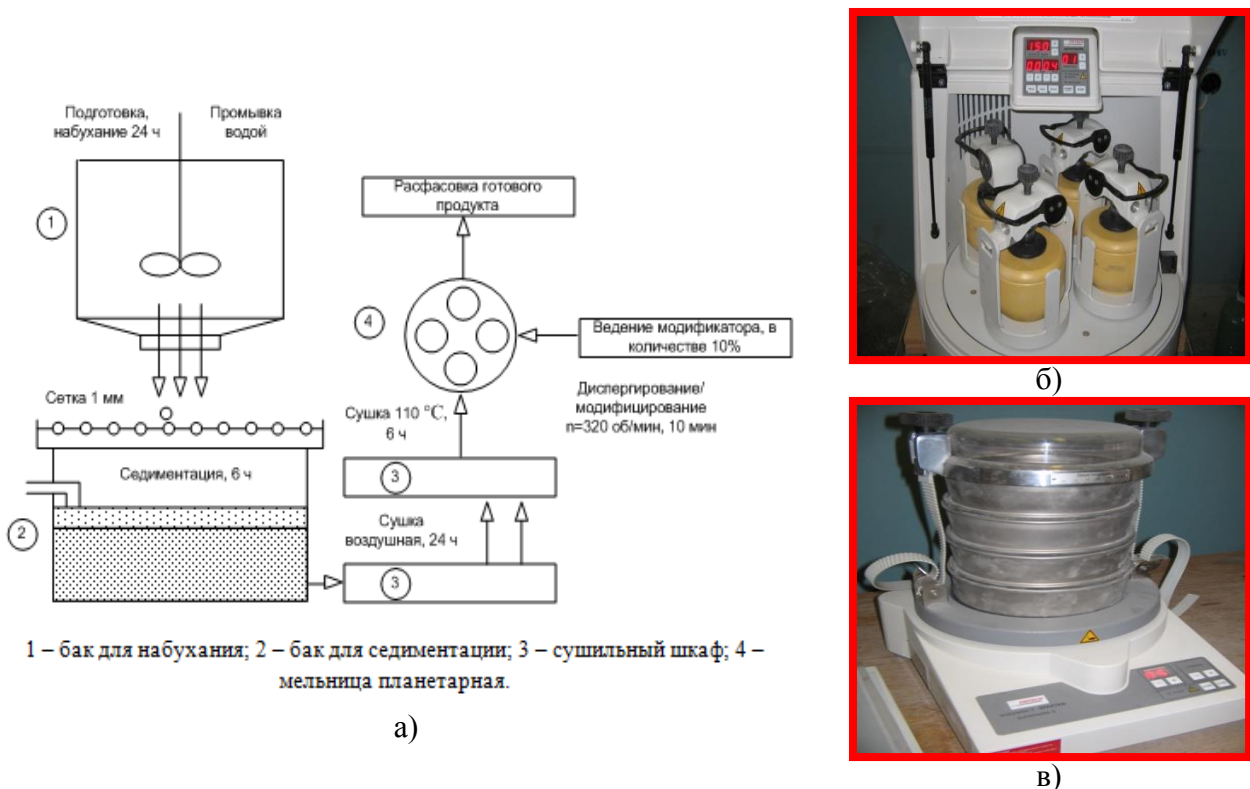


Рисунок 1 - Технологічна схема і обладнання для отримання дисперсної основи, де: а – технологічна схема; б – планетарна мельниця для механоактивації і модифікування; в – класифікатор для отримання дисперсної фракції (рассева).

Облаючи ультрадисперсною розмірністю і високою хімічною активністю в силу високої поверхнової енергії, матриця в результаті активування і модифікування

приобретает определённые функции, которые направлены на эффективное подавление горения [1].

В качестве такой матрицы применяются глины отечественных разработок на основе порообразующего минерала монтмориллонита (таблица 1), способные подвергаться принудительному диспергированию до ультрадисперсной размерности с наименьшими энергетическими затратами и функциональному модифицированию.

Таблица 1 - Состав глин

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Др.
Отбельная земля (адсорбент Grade F-160)	8,9	6,25	39,3	8,9	16,1	6,25	6,25	8,05
Глина отечественных разработок	58	30,68	6,63	3,12	1,14			0,43

Результаты исследований позволили определить механизм и закономерности подавления горения и расширить выбор минеральных дисперсных материалов. Так доказана эффективность использования отбельных глин в качестве дисперсного компонента, являющихся крупнотоннажными отходами жировых производств. Отбельная глина это продукт минерального происхождения, содержащий преимущественно оксид алюминия. Для осветления растительных масел и жиров используют активированные отбеливающие глины, получаемые путем кислотной обработки природных бентонитовых глин — алюмосиликатов. Проведены исследования и прогнозирование эффективного использования таких дисперсных материалов в составе огнетушащих суспензий, гелей порошков, адсорбентов, антипиренов. Основным огнетушащим механизмом в данном случае является эффект огнепреграждения и охлаждения зоны реакции за счет нагрева ультрадисперсных частиц.

В суспензиях рассматривается возможность применения таких глин не только как ингибитора горения, но и загустителя. Для повышения огнетушащей способности можно применять распыленную или тонкораспыленную суспензию (в случае, если размер частиц твердой фазы менее 50 мкм). Подача твердого дисперсного наполнителя (модифицированной глины) в воду может осуществляться с помощью цилиндрического картриджа, помещенного в среднюю часть ствола подобно изготовленному в НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь стволу пожарному ручному комбинированному СПРК – 50, являющийся твердофазным источником поверхностно-активного вещества (рисунок 2).



Рисунок 2 - Ствол пожарный ручной комбинированный СПРК-50

Вода, проходя через такой картридж, будет обогащаться глиной, которая будет снижать поверхностное натяжение воды. При тушении пожара вода будет лучше смачивать поверхность и охлаждать горящий материал.

Нами прогнозируется возможность применения небольших добавок модифицированных глин в качестве наполнителей с барьерными функциями для быстротвердеющей пены. Для огнетушащих гелей также добавки таких минеральных веществ способны повышать адгезию к горячей поверхности, прочно закрепляя слой огнетушащего средства на вертикальной поверхности и оказывая изолирующий эффект. Ультрадисперсность таких добавок не оказывает влияние на структуру основного вещества и равномерно распределяется по объему. Это подтверждено их применением для полимерных материалов в качестве антипиренов [2]. Целесообразность использования модифицированных глин как антипиренов обусловлена оптимальным сочетанием параметров «совместимость – безопасность - эффективность – цена». Добавки последних хорошо смешиваются с вязким расплавом полимера, не нарушая технологический процесс подобно гидроксидам алюминия и магния, не выделяют токсичных продуктов горения как широко распространенные галогенпроизводные антипирены, снижают пожароопасные характеристики полимера (таблица 2), не ухудшая физико-механические свойства, а наличие их в достаточном количестве в отечественных разработках и несложная механоактивация и модифицирование обуславливают цену, обеспечивая конкурентоспособность на рынке антипиренов.

Таблица 2 - Сравнительные свойства полимерных материалов

Наименование полимера	Механические характеристики			Классификация материала по горючести
	Модуль упругости, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при деформации, %	
Контрольный образец вторичный ПЭВД	26,74	18,2	274,48	Горючий средневоспламеняемый
С антипиреном 1,5 масс.%	148,28	31,85	103,3	Горючий трудновоспламеняемый

Как показали наши исследования, модифицированная глина обладает и свойствами адсорбента, что позволяет использовать ее в составе огнетушащих порошков в качестве ультрадисперсного наполнителя для адсорбции жидких горючих веществ, горючих газов и токсичных продуктов, образующих при горении. Хорошие результаты для модифицированной глины получены при адсорбции нефти и нефтепродуктов, адсорбционная емкость по нефти до 2,1 г/г (рисунок 3) [3].

Для модификации основы адсорбента применялся отход Гомельского жирового комбината – отработанный адсорбент Grade F-160, который в свой состав включает соли жирных кислот и гидрофобизированные примеси, содержащиеся в жирах и маслах. Установлено влияние модификатора на физико-химические и эксплуатационные характеристики адсорбента: модификатор обеспечивает наличие гидрофобных свойств адсорбенту и позволяет удерживаться ему на поверхности воды в нефтенасыщенном состоянии более 72 часов, в то время как немодифицированная бентонитовая глина образует конгломерат, который сразу тонет в воде. Разработанный гидрофобный адсорбент также позволяет ликвидировать аварийные разливы более легких нефтепродуктов с поверхности воды, таких как бензин АИ-95 и дизельное топливо.

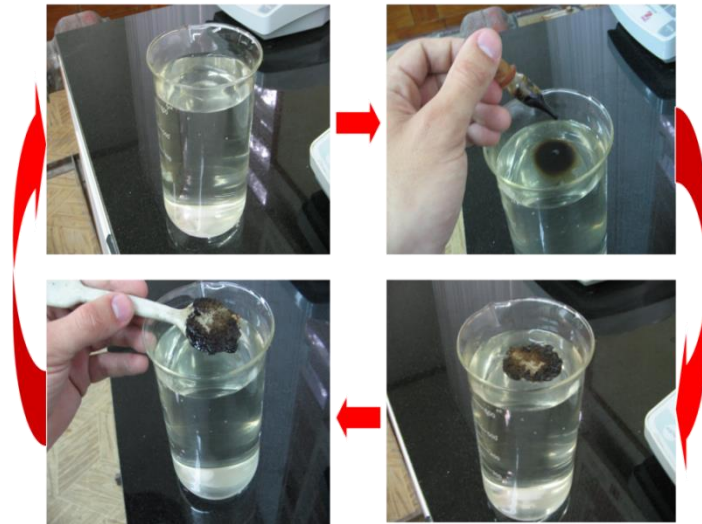


Рисунок 3 - Эксперимент по адсорбции нефти в лабораторных[условиях

Выводы. Наиболее значимым результатом на данном этапе исследований является установление закономерностей функционального модифицирования твердотельной дисперсной минеральной матрицы, максимальное использование возможностей структурных свойств доступных минеральных ископаемых, разработка технологических приемов механоактивации и применение их при разработке альтернативных средств пожаротушения и снижения горючести.

Перспективы дальнейших исследований. Таким образом, перспективным направлением при ликвидации и предупреждении ЧС, как показали наши исследования, является использование в огнетушащих средствах дисперсных веществ, основным компонентом которых являются глины (алюмосиликаты), в силу своих структурных особенностей (ультрадисперсности, нанодисперсности) обладающие способностью к диспергированию, активации и функциональному модифицированию. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию составов и эксплуатационных свойств альтернативных средств пожаротушения с использованием разработанных дисперсных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобрышева С. Н., Буякевич А. Л., Боднарук В. Б., Кашлач Л. О. Дисперсные системы в технологиях предупреждения и ликвидации ЧС/Чрезвычайные ситуации: образование и наука, 2011, №1(6), -С.60-69.
2. Бобрышева С. Н.,Подобед Д.Л., Кашлач Л. О. Снижение горючести полимерных материалов. // Междунар. научн.-практич. журн. «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – 2013. – №2 (8). – С. 51–57.
- 3.Бобрышева С. Н., Журов М.М., Вертячих И.М., Кашлач Л. О. Применение минеральных адсорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти // Междунар. научн.-практич. журн. «Чрезвычайные ситуации: образование и наука». – 2015. – №1 (10). – С. 120–129.

УДК 614.84

А. А. Киреев, д. т. н., доц., Д. И. Савельев,
Национальный университет гражданской защиты Украины

ГЕЛЕОБРАЗНЫЕ ПОКРЫТИЯ – ЭФФЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ. ОБЗОР

В обзоре рассмотрены основные характеристики оперативных огнезащитных свойств гелеобразных покрытий, которые формируются на защищаемых поверхностях путем одновременно-раздельной подачи компонентов гелеобразующих систем. Показана перспективность применения такого способа оперативной огнезащиты при тушении различных видов пожаров, в том числе лесных пожаров.

Ключевые слова: гелеобразные покрытия, гелеобразующие системы, оперативная огнезащита, повторное воспламенение, лесные пожары.

Постановка проблемы. Общим недостатком жидкостных средств пожаротушения является их стекание при обработке вертикальных и наклонных поверхностей (при подаче компактными струями), унос мелких капель (при подаче в распыленном состоянии) и низкий теплосъем за счет эффекта плёночного кипения. Ещё одним недостатком жидкостных средств являются их низкие оперативные огнезащитные свойства – после обработки горячей поверхности водой, большая часть её стекает, а оставшаяся влага быстро испаряется. В результате этого потушенные поверхности склонны к повторному воспламенению. До настоящего времени жидкофазные огнетушащие вещества (ОВ) имеют наибольшее распространение при тушении твёрдых горючих материалов (ТГМ). Среди них лидерство остаётся за водой. Это обусловлено уникальным комплексом её свойств. В первую очередь вода имеет аномально высокое охлаждающее действие, что связано с её высокой теплоёмкостью и аномально большой теплотой испарения.

Одним из путей совершенствования жидкостных огнетушащих средств является использование водных растворов различных веществ. Использование водных растворов позволяет сохранить основные положительные свойства воды и улучшить ряд её характеристик как огнетушащего средства. Так для увеличения проникающей способности воды к ней добавляют смачиватели, для уменьшения потерь за счёт стекания – загустители.

Еще одним способом повышения огнетушащей эффективности воды является добавление к ней различных веществ. Растворы таких веществ могут оказывать комплексное действие. Во-первых, они могут выступать в качестве антипиренов. Во-вторых, водные растворы некоторых неорганических веществ могут ингибировать пламенную фазу горения. В-третьих, водные растворы после испарения из них воды часто образуют на горящих поверхностях твёрдые плёнки, которые обладают изолирующими и теплозащитными свойствами.

В целом можно заключить, что добавки к воде различных веществ позволяют значительно повысить её огнетушащее действие. В тоже время такой недостаток воды как её потери за счет стекания с наклонных и вертикальных поверхностей в полной мере не удаётся устранить введением различных добавок.

Анализ последних достижений и публикаций. Требование потери текучести после попадания на защищаемую поверхность можно реализовать при использовании тиксотропных составов. Для целей пожаротушения была предложена огнетушащая тиксотропная система под торговым названием «Firesorb» [1]. Основой его является органический абсорбент, который при добавлении воды набухает и образует вязкий гелеобразный раствор, обладающий тиксотропными свойствами. Недостатками этого огнетушащего состава являются: использование органических компонентов, (после

испарения всей воды оставшаяся органическая часть состава может гореть), высокая вязкость, невозможность нанесения толстых слоёв на вертикальные и наклонные поверхности, а также их высокая стоимость.

Постановка задачи и её решение. Цель работы состоит в разработке огнетушащего средства с высокими оперативными огнезащитными свойствами. Этого можно добиться, если обеспечить для такого средства низкие потери огнетушащего вещества при нанесении его на твердые поверхности и высокие огнезащитные свойства сформированного на этих поверхностях покрытия.

Кардинально решить проблему высоких потерь жидкостных огнетушащих веществ за счёт стекания позволило использование гелеобразующих огнетушащих средств (ГОС). ГОС представляют собой бинарную систему, состоящую из двух отдельно хранимых и отдельно-одновременно подаваемых составов. Оба состава могут быть жидкостями, что облегчает хранение и подачу их в зону горения. Составы должны быть подобраны так, чтобы при их смешении между компонентами происходило взаимодействие, приводящее к быстрому образованию нетекучего гелеобразного слоя [2-3]. Использование в качестве компонентов ГОС водных растворов неорганических веществ позволяет свести к минимуму эффект плёночного кипения.

Проведенные исследования гелеобразования для 35 систем позволили заключить, что наибольшие интервалы области быстрого гелеобразования имеют силикатные системы [4-6]. Кроме того, последующие исследования показали, что силикатные гели имеют высокую адгезию к различным материалам, более высокую прочность по сравнению с другими гелями и приемлемые другие физико-химические свойства [7-9].

Оперативные огнезащитные свойства гелеобразных слоёв.

Защита от теплового воздействия пожара на строительные конструкции, растительные материалы и различного вида оборудование, находящихся в зоне теплового воздействия, в условиях развитого пожара является одним из основных видов действий оперативно-спасательных подразделений. Такой вид огнезащиты, в отличие от постоянной огнезащиты, назовём временной или оперативной огнезащитой. Возгорание и повторное возгорание ТГМ определяется огнезащитной составляющей действия ОВ. Огнезащитные свойства ОВ определяются теми же составляющими, что и огнетушащие: охлаждающей, разбавляющей, изолирующей и ингибирующей. Однако влияние их проявляется несколько по-другому. В случае использования ГОС для целей огнезащиты разбавляющая, ингибирующая и охлаждающая составляющие действуют относительно небольшой промежуток времени. Тонкие гелеобразные слои достаточно быстро нагреваются, вода из них испаряется. После испарения воды и дальнейшего нагревания начинается термодеструкция поверхностного слоя ТГМ. На этом этапе может проявиться ингибирующее действие компонентов ОВ. Однако так как при оперативной огнезащите невозможно осуществить глубокую пропитку горючего материала, ингибирующее действие проявляется небольшой промежуток времени.

Длительным и устойчивым огнезащитным эффектом будут обладать огнезащитные средства с высоким изолирующим действием. Анализ литературных данных показывает, что наилучшие теплоизолирующие свойства проявляют пористые и особенно вспучивающиеся покрытия. Из всех гелеобразных слоёв превосходство по этому параметру имеют силикатные системы.

Для выяснения механизма огнезащитного действия гелеобразных слоёв различного химического состава был проведён комплекс термогравиметрических исследований [10-12]. Эти исследования позволили установить, что время достижения постоянной массы слоем геля прямопропорционально толщине нанесенного огнезащитного слоя, а воспламенение образцов древесины наблюдается при удалении 75-95% от общей массы воды содержащейся в гелевом покрытии.

Визуальные наблюдения также позволили установить ряд закономерностей влияния

толщины гелевых покрытий, нанесенных на стальные пластинки, на их поведение при действии пламени. В случаях тонких слоёв (менее 1 мм) при нагревании покрытия наблюдается легкое растрескивание, которое приводит к оголению защищаемой поверхности. Более толстые покрытия, несмотря на растрескивание, не оголяют поверхность материала. Гелевые покрытия, полученные в системах с избытком силикатной составляющей, при нагревании заметно вспучиваются. Коэффициент вспучивания для систем с концентрацией полисиликата натрия 28 % достигает значения 3-4.

Наилучшими механическими и адгезионными свойствами обладают гелевые слои, полученные с использованием в качестве компонентов ГОС растворов хлорида кальция и силиката натрия.

Количественные интегральные характеристики огнезащитного действия были получены путём проведения натурального эксперимента [13-14]. В качестве показателя огнезащитного действия ГОС было принято время воспламенения деревянного образца в условиях действия открытого пламени. Была использована модифицированная методика определения групп трудногорючих материалов. Соответствующие экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Значения времен воспламенения образцов древесины для разных составов ГОС (толщина слоя 1,5 мм), полученных на установке ОТМ

№	Концентрация силиката, масс. %	Концентрация катализатора гелеобразования, масс. %	Время воспламенения, мин.
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$			
1	2	3	4
1	5	4	4,5
2	28	4	7,7
3	5	35	5,1
4	28	35	9,1
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{AlCl}_3$			
1	4	3	3,7
2	28	3	4,5
3	4	30	3,9
4	28	30	8,0
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			
1	8	12	3,9
2	28	12	4,5
3	8	42	4,1
4	28	42	4,9
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$			
1	12	18	4,4
2	28	18	4,3
3	12	25	5,3
4	28	25	5,2
$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{AlBr}_3$			
1	3	4	3,6
2	28	4	4,6
3	3	30	4,1
4	28	30	8,0

Как видно из приведенных результатов, по оперативным огнезащитным свойствам все исследованные составы уступают ГОС $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

Для ГОС с наилучшими оперативными огнезащитными свойствами ($\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$) также было проведено исследование влияния поверхностно активных веществ (ПАВ) на оперативные огнезащитные свойства [15]. Исследования проводились при удельных расходах гелеобразующих составов 0,2; 0,5; 0,8; 1,2 и 1,5 $\text{кг}/\text{м}^2$. Нанесение гелеобразующих составов осуществлялось методом гидравлического распыливания. В качестве ПАВ использовался пенообразователь ПО–6 ОСТ, концентрация которого в обоих составляющих ГОС была выбрана равной 2 %. На рис. 1 приведены зависимости времени воспламенения от удельных расходов ГОС $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

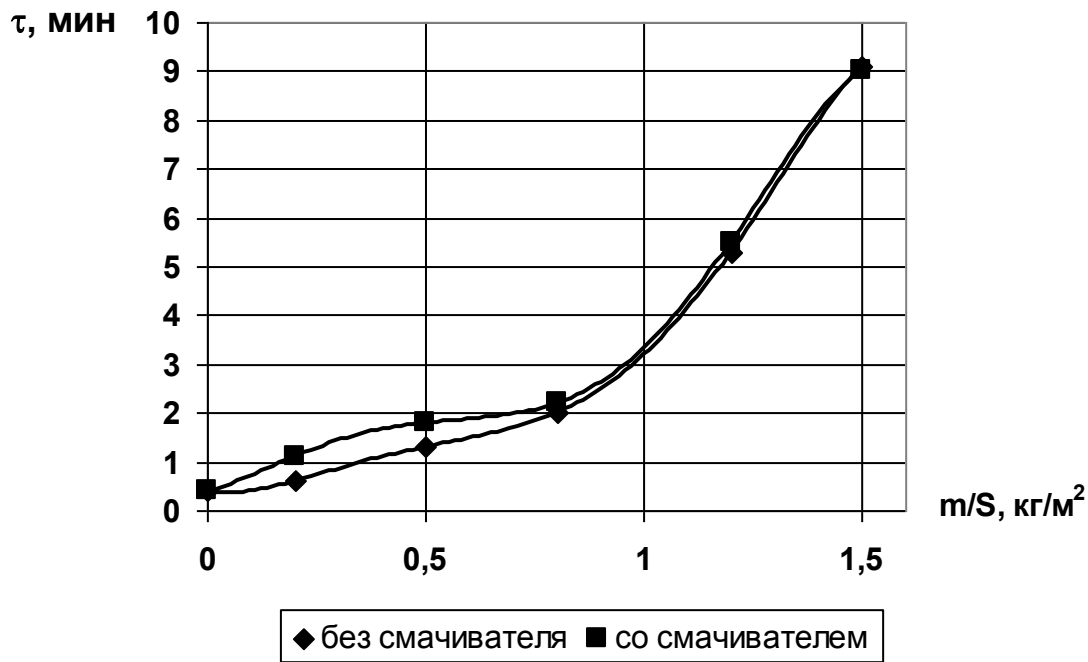


Рисунок 1 - Зависимость времени воспламенения древесины от удельного расхода ГОС $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

Как видно из приведенных зависимостей положительное влияние ПАВ проявляется только на тонких слоях геля – 0,2 и 0,5 $\text{кг}/\text{м}^2$. Для более толстых гелеобразных слоёв (0,8–1,5 $\text{кг}/\text{м}^2$) добавки ПАВ не оказывают существенного влияния на оперативные огнезащитные свойства. Объяснение этого факта удаётся получить, проводя визуальный осмотр обработанных гелеобразующими составами образцов. При малых массовых расходах, за счёт плохого растекания растворов гелеобразователя и катализатора гелеобразования гидрофобной поверхности сосновой дощечки некоторая часть её поверхности оказывается непокрытой слоем геля. При добавлении ПАВ в компоненты гелеобразующих составов смачивание улучшается, и покрытие слоем геля становится равномерным и сплошным. При больших массовых расходах огнетушащих жидкостей слой геля получается сплошным и без добавления ПАВ, поэтому добавление пенообразователя практически не сказывается на огнезащитном действии гелеобразующих составов.

С увеличением толщины гелеобразного слоя увеличивается и время воспламенения образцов древесины. В случае увеличения удельного расхода ГОС свыше 2 $\text{кг}/\text{м}^2$ для большинства ГОС наблюдается неустойчивое горение. При этом температура отходящих газов случайным образом изменяется в интервале 200–240 $^{\circ}\text{C}$. Для ГОС $\text{CaCl}_2(35\%)+\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$

$\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$ при удельном расходе более $3,5\text{ кг/м}^2$ температура отходящих газов не превышает 210°C , даже при часовой экспозиции образцов в пламени. Это указывает на практическое отсутствие горения.

Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения.

При тушении пожаров, особенно крупных, приходится сталкиваться с явлением повторного воспламенения. Потушенные поверхности через некоторое время воспламеняются снова. Это явление затрудняет процесс тушения, вызывает потребность в привлечении дополнительных сил и средств, увеличивает время тушения пожара.

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

Результаты исследований влияния гелеобразных покрытий на время повторного воспламенения при тушении единичных образцов древесины приведены в работах [16-17]. На рис. 2. приведены графические зависимости времён повторного воспламенения от удельного расхода для ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

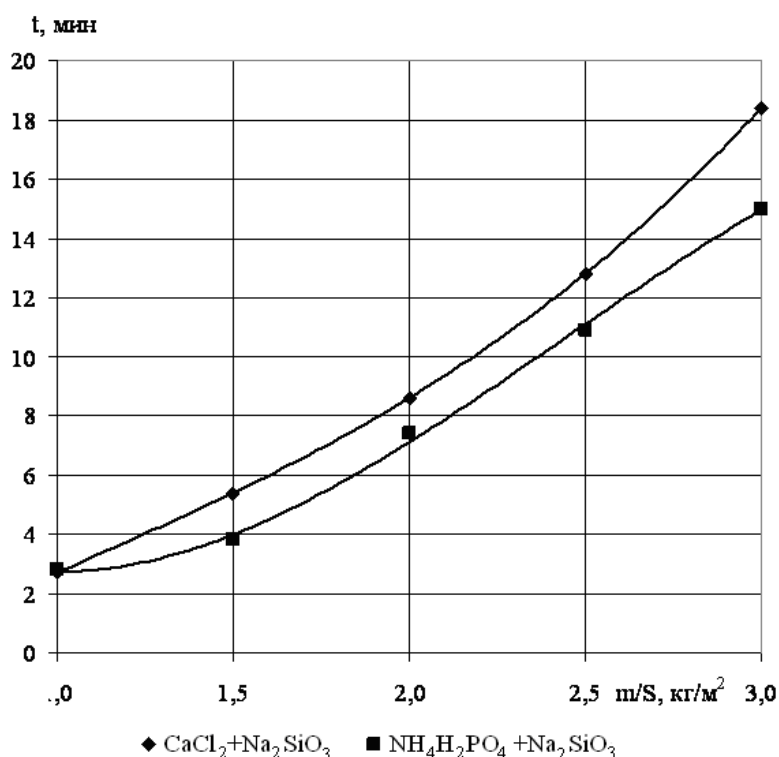


Рисунок 2 - Зависимости времён повторного воспламенения (t) от удельного расхода (m/S) для ГОС $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ и $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

Анализ полученных результатов по тушению единичных образцов древесины позволяет заключить, что наибольшие времена повторного воспламенения обеспечивает применение ГОС $\text{CaCl}_2(42\%) + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2(28\%)$.

Условия горения и тушения единичного образца существенно отличаются от соответствующих процессов имеющих место при реальных пожарах. В частности, при исследовании единичных образцов не создаются условия для накопления газообразных продуктов термодеструкции вблизи исследуемого образца. Продукты термодеструкции быстро уносятся восходящими потоками от газовой горелки. Из вышесказанного вытекает

необходимость проведение эксперимента, который в большей степени учитывал бы реальные условия пожара.

В качестве модели реального пожара приняты модельные очаги пожаров соответствующего класса. Для твёрдых горючих материалов в качестве модельного очага принят штабель, состоящий из брусков древесины. В качестве лабораторного модельного очага был выбран штабель из 32 брусков размером 20×20×150 мм, уложенных в 8 слоёв по 4 бруска в каждом. Расстояние между брусками в ряду 20 мм. Такой модельный очаг по коэффициенту плотности укладки и удельной поверхности штабеля является близким к полномасштабным стандартным модельным очагам 1А и 2А и наиболее часто используется в научных исследованиях.

Результаты исследований по определению времени повторного воспламенения лабораторного модельного очага при его тушении ГОС и рядом однокомпонентных систем [18-19] представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 - Удельные расходы различных ОБ на первичное $(m/S)_1$, повторное $(m/S)_2$ и общее тушение модельного очага $(m/S)_{\text{общ}}$ (первичное тушение –20% избыток ОБ) и время повторного воспламенения штабеля ($\tau_{\text{п.в}}$)

Огнетушащее вещество	$(m/S)_1$ кг/м ²	$(m/S)_2$ кг/м ²	$(m/S)_{\text{общ}}$ кг/м ²	$\tau_{\text{п.в.}}$, МИН
H ₂ O	1,54	0,65	2,19	<1,0
NH ₄ H ₂ PO ₄ (25%)	0,34	0	0,34	–
CaCl ₂ (25%)	1,10	0,27	1,37	1,5
ГОС CaCl ₂ (42 %) + Na ₂ O·2,7SiO ₂ (28 %)	0,96	0,22	1,18	1,5
ГОС Na ₂ O·2,7SiO ₂ (12%), + +(NH ₄) ₂ SO ₄ (5%), NH ₄ H ₂ PO ₄ (22%)	0,36	0,19	0,55	2,5

Таблица 3 - Удельные расходы различных ОБ на первичное $(m/S)_1$, повторное $(m/S)_2$ и общее тушение модельного очага $(m/S)_{\text{общ}}$. (первичное тушение –50% избыток ОБ) и время повторного воспламенения штабеля ($\tau_{\text{п.в}}$)

Огнетушащее вещество	$(m/S)_1$ кг/м ²	$(m/S)_2$ кг/м ²	$(m/S)_{\text{общ}}$ кг/м ²	$\tau_{\text{п.в.}}$, МИН
H ₂ O	1,93	0,53	2,46	<2,0
NH ₄ H ₂ PO ₄ (25%)	0,43	0	0,43	–
CaCl ₂ (25%)	1,39	0,22	1,61	2,0
Na ₂ O·2,7SiO ₂ (28 %)	1,61	0,41	2,02	2,0
ГОС CaCl ₂ (42 %) + Na ₂ O·2,7SiO ₂ (28 %)	1,22	0,23	1,45	2,0
ГОС Na ₂ O·2,7SiO ₂ (12%), + +(NH ₄) ₂ SO ₄ (5%), NH ₄ H ₂ PO ₄ (22%)	0,45	0	0,45	–

Анализ приведенных данных позволяет заключить, что наилучшие результаты показали компонент ГОС NH₄H₂PO₄(25%) и ГОС Na₂O·2,7SiO₂(12%)+(NH₄)₂SO₄(5%), NH₄H₂PO₄(22%). Только эти две системы при удельном расходе ОБ менее 0,5 кг/м²

обеспечили отсутствие повторного воспламенения в течение 2,5 минут воздействия на модельный очаг пламени горящего бензина. При удельном расходе этих ОВ на тушения модельного очага равном $1,0 \text{ кг/м}^2$ время повторного воспламенения превышало 5 минут. В последнем случае горение протекало с малой интенсивностью и постепенно прекращалось при удалении источника пламени.

Тушение лесных пожаров с использованием ГОС

Для тушения лесных пожаров высокой интенсивности используют косвенные (пассивные) методы тушения. При использовании таких методов тушения линию остановки огня выбирают на некотором расстоянии от кромки пожара. Для остановки распространения пожара используют защитную полосу (противопожарный барьер), на которой имеются или создают условия невозможности процесса горения.

Различают такие виды противопожарных барьеров: минерализованные полосы, противопожарные разрывы, противопожарные заслоны, противопожарные канавы, реки, озёра, автомобильные дороги. Часть из них существуют или создаются заранее в целях пожарной профилактики лесных пожаров, часть создаётся в процессе тушения лесного пожара.

Для создания искусственных противопожарных барьеров необходимо на некотором расстоянии от кромки лесного пожара удалить растительные горючие материалы или перевести их в негорючее состояние. Для этого с помощью землеройной техники создают минерализованные полосы путем прокладки канав и засыпке грунтом горючих материалов.

Применение косвенных методов связано с заведомой потерей от огня значительной лесной территории. Эта территория включает всю площадь защитной полосы, глубина которой при сильных пожарах должна составлять сотни метров. Кроме того, выгорают площади леса между защитной полосой и кромкой пожара на момент начала создания защитной полосы. Последние участки леса могут по глубине составлять сотни и даже тысячи метров.

В работах [20-22] для создания заградительных полос и рубежей, от которых осуществляется отжиг предложено использовать ГОС. В работах [23-24] приведены результаты исследований по оперативным огнезащитным свойствам ГОС по отношению к лесным горючим материалам. ГОС показали высокие оперативные огнезащитные свойства по отношению к сухой траве, лесной подстилки, состоящей из елового опада, шишек и мелких сухих веток. Также были изучены оперативные огнезащитные свойства гелеобразных слоёв по отношению к сосновым веточкам. Основные выводы по оперативным огнезащитным свойствам гелеобразных слоёв по отношению ЛГМ можно сформулировать следующим образом – ГОС позволяют обеспечить длительную огнезащиту ЛГМ как при низовом пожаре так и верховом лесном пожаре.

Выводы:

- ГОС проявляют на порядок большие оперативные огнезащитные свойства, чем вода;
- при защите открытых поверхностей слой геля толщиной более 3,5 мм обеспечивает отсутствие воспламенения древесины свыше 1 часа;
- введение ПАВ в состав ГОС при удельных расходах огнетушащего вещества менее 1 кг/м^2 улучшает оперативные огнезащитные свойства;
- для очагов пожара с наличием скрытых поверхностей в наибольшей степени увеличивает время повторного воспламенения компонент ГОС $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)$ и ГОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(12\%) + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$;
- ГОС обеспечивают длительную оперативную огнезащиту основных лесных горючих материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанов Ф.И. Использование полимерных материалов в пожаротушении / Ф.И. Лобанов // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13, № 1. – С. 64-68.

2. Патент 2264242 Российская федерация. МПК7 А62 С 5/033, Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. Заявка №2003237256/12. Заявл. 23.12.2003, Опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.
3. О.О. Кіреєв, С.Д. Муравйов, О.В. Бабенко. Можливість використання гелеутворюючих систем для попередження, локалізації та ліквідації пожеж та загорянь//Хранение и переработка зерна. № 12 (54) – 2003. – С. 52 – 54.
4. Дослідження властивостей розчинів гелеутворюючих систем та установка для його здійснення / [Кіреєв О.О., Бронжаєв М.Ф., Мішурова Т.В., Бабенко О.В.] // Проблемы пожарной безопасности. – 2002. – Вып. 13. – С. 52-56.
5. Кіреєв О.О. Дослідження концентраційних областей гелеутворення вогнегасних складів / О.О. Кіреєв, В.М. Романов, О.В. Бабенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2003. – Вып. 14. – С. 109-112
6. Кіреєв О.О. Оптимізація складу гелеутворюючих вогнегасних систем / О.О. Кіреєв, О.В. Бабенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 15.– С. 103-106.
7. Кіреєв О.О. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових складів рідинних засобів пожежогасіння / О.О. Кіреєв, О.В. Бабенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2002. – Вып. 12. – С. 107-110.
8. Дослідження теплозахисної дії гелевих плівок / Кіреєв О.О., Савченко О.В., Тарасова Г.В. [и др.] // Проблемы пожарной безопасности. – 2005. – Вып. 18. – С. 82 – 86.
9. Дослідження вогнезахисної дії гелевих плівок на матеріалах, розповсюджених у житловому секторі / [Савченко О.В., Кіреєв О.О., Альбоций В.М. [и др.] // Проблемы пожарной безопасности – Харьков: УГЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 127 – 131.
10. Киреев А.А. Термогравиметрические исследования огнетушащих и огнезащитных гелей / А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности. –2006. – Вып. 20. – С. 81-85.
11. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв. // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вып. 37. – С. 188-192.
12. Абрамов Ю.А. Термогравиметрические исследования огнезащитного действия на древесину гелей системы $MgCl_2+Na_2O \cdot 2,7SiO_2$ / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина. // Пожежна безпека. – 2006. – № 9. – С. 42-47.
13. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості силікатних гелеутворюючих систем / О.О. Кіреєв // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вып. 37. – С. 188–192.
14. Кіреєв О.О. Вогнезахисті властивості гелеутворюючих сполук при використанні їх для захисту озброєння та військової техніки від запалювальних речовин / О.О. Кіреєв, Г.Б. Гишко // Системи озброєння і військова техніка. –2006.– Вып. 4(8).– С. 30–33.
15. Александров А.В. Исследование влияния поверхностно–активных веществ на огнезащитные свойства гелеобразующих систем / А.В. Александров, Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности.– 2006.– Вып. 19. – С. 14–18.
- Абрамов Ю.А. Влияние гелеобразных слоёв на время повторного воспламенения древесины / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев, О.Н. Щербина // Пожежна безпека. –2007.– №10.– С. 88–91.
16. Киреев А.А. Исследование повторного воспламенения древесины, обработанной гелеобразующими составами / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– Вып. 25. – С. 65–72.
17. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности.– 2008.– Вып. 24. – С. 44–49.
18. Абрамов Ю.О. Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих систем на основі силікатів / Ю.О. Абрамов, О.О. Кіреєв, О.М. Щербина, А.О. Бедзай // Пожежна безпека. – 2007.– №11.– С. 100–104.
19. Сумцов Ю.А., Совершенствование жидкостных средств тушения лесных пожаров / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, А.В. Бабенко // Пожежна безпека.– Львів.– 2005.– №6.– С.29-31.

20. Киреев А.А. Гелеобразующие составы перспективные средства тушения лесных пожаров / А.А. Киреев, Ю.А. Сумцов, А.В. Александров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. трудов АГЗУ.– Вып.14 .- Харьков: Фолио, 2004. – С.94-98.

21. Сумцов Ю.А. Исследование времени работоспособности гелеобразующих составов при борьбе с лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, Г.В. Тарасова // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2006.– Вып.20.– С.197-202.

22. Сумцов Ю.А. Выбор гелеобразующих составов для борьбы с лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, Г.В. Тарасова // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: АГЗУ, 2006.– Вып.19.– С.143-148.

23. Сумцов Ю.А. Использование гелеобразующих составов для борьбы с низовыми лесными пожарами / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности. – 2007.– Вып.22.– С.175-179.

24. Сумцов Ю.А. Оценка массы гелеобразующего состава для тушения верхового лесного пожара / Ю.А. Сумцов, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – Вып.27.– .192-197.

УДК 614.841:536.46

О. В. Кириченко, д. т. н., с. н. с., О. С. Барановський, Є. П. Кириченко,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,
Р. Б. Мотрічук,
Управління ДСНС України у Черкаській області

АНАЛІЗ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ПІРОТЕХНІЧНИХ ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ, ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Представлено аналіз досліджень пожежовибухонебезпечних уражень різних об'єктів, викликаних передчасним загорянням піротехнічних виробів в процесі їх зберігання, транспортування та застосування.

Ключові слова: піротехнічні вироби, нітратовмісні окислювачі, піротехнічна суміш, нітратно-металеві джерела запалювання.

Вступ. В теперішній час піротехнічні вироби загальнопромислового призначення широко використовуються для проведення видовищних заходів, світлових та шумових ефектів для кіно та телебачення [1, 5, 6, 7, 8, 9, 11]. Для підвищення ефективності загоряння та стабільного розвитку горіння основних зарядів піротехнічних сумішей, що дають спеціальні ефекти (світловий, кольорово-полум'яний, тепловий тощо), якими споряджаються багаточисельні загальнопромислові піротехнічні вироби, а також деякі піротехнічні вироби спеціального призначення (елементи ракетно-космічної техніки, засоби наведення та слідування за наземними та повітряними цілями тощо) широко використовуються замість традиційних джерел запалювання (електродетонатор, вогнепровідна мотузка, електроспалахувач, запал-сірник) нітратно-металеві джерела запалювання. Основою нітратно-металевих джерел запалювання є ущільнені трикомпонентні суміші, які складаються з порошків металів, нітратовмісних окислювачів та технологічних добавок органічних речовин. Це обумовлено тим, що використовувані у джерелах запалювання суміші утворюють продукти згоряння з високими температурами (до 3000...4000 К) та відносним вмістом високотемпературного конденсату (до 0,5...0,7), які генерують теплові потоки на поверхню основних зарядів виробів порядку $2,1 \cdot 10^6 \dots 8,4 \cdot 10^6$ Вт/м², що забезпечує їх надійне спрацьовування. На жаль, недостатньо уваги приділяється питанням забезпечення пожежної безпеки при зберіганні, транспортуванні та застосуванні піротехнічних виробів при наявності зовнішніх термодій [2, 3, 4, 9, 10, 11]. Невиконання необхідних вимог пожежної безпеки під час транспортування, зберігання та застосування піротехнічних виробів призводить до багаточисельних пожеж та вибухів, загибелі та травмуванні людей.

Результати досліджень пожежовибухонебезпечки піротехнічних виробів в процесі їх зберігання, транспортування та застосування. Найбільш характерними інцидентами за останні роки в усьому світі [5, 6, 11, 12] можуть вважатися наступні. В жовтні 1998 р. у Мексиці (м. Тултенек) сталися пожежа та вибух на фабриці з виробництва та зберігання піротехнічних виробів, загинуло 10 людей, 30 поранено. В липні 2000 року у КНР сталися пожежа і, як наслідок, вибух при перевозці піротехнічних виробів, загинуло 65 людей. В грудні 2005 року у Бразилії при передчасному спрацьовуванні в момент пострілу піротехнічний виріб відхилився від заданої траєкторії та впав у натовп, було травмовано 30 людей. В серпні 2009 року в Україні (пос. Яковлевка, Донецька обл.) відбулися пожежа та вибух на складі піротехніки, яку мали використати під час феєрверку на честь відкриття "Донбас-Арени". В липні 2010 року у Криму при пострілі з наземної пускової установки внаслідок передчасного спрацьовування піротехнічного виробу установку було знищено, обслуговуючий персонал отримав серйозні травми. В травні 2010 року у Нідерландах

(м. Енсхеле) на складі піротехніки виникли пожежа та вибух, загинуло 22 людини, 600 людей поранено. В січні 2011 року у США на тихоокеанській військово-морській базі під час полігонних випробувань ІЧ-засобів захисту від ракет з тепловими головками самонаведення сталася катастрофа надзвукового винищувача: при пострілах з борту літака піротехнічними засобами декілька з них передчасно спрацювали у небезпечній близькості до нього, що призвело до часткового руйнування хвостової частини корпусу, ушкодження баків з паливом і, відповідно, загоряння літака; при цьому пілоти встигли катапультиватися та отримали тяжкі травми, літак вартістю близько 30 млн. доларів було зруйновано. В липні 2011 року у Туркменістані (м. Абадан) виникли пожежа та вибух на складі піротехніки військової частини; при цьому пожежа виникла в результаті високої температури навколишнього середовища (зовнішня теплова дія). В квітні 2012 року у Росії (м. Чита) виникла пожежа та вибух на складі піротехніки, збитки склали 39,2 млн. рублів. В грудні 2012 року у Нігерії (м. Лагос) на складі піротехніки виникли пожежа та вибух, внаслідок чого зруйновано 9 будівель, згоріло 10 автомобілів, постраждало понад 40 людей. В грудні 2012 року в Україні (м. Маріуполь) на складі, де зберігалися піротехнічні вироби відбулася серія пожеж та вибухів, загинула 1 людина, 14 людей травмовано, нанесено значних матеріальних збитків. В лютому 2013 року у В'єтнамі (м. Хошимін) в результаті пожежі на складі піротехніки відбувся вибух, загинуло 7 людей, повністю зруйновано 3 будівлі. В червні 2013 року в Росії (м. Новокузнецьк) на складі піротехніки відбулося займання з подальшим вибухом, загинуло 2 людини, 2 людини поранено, відбулося руйнування одноповерхової будівлі, в якій знаходився склад.

Типові піротехнічні вироби загальнопромислового призначення. Основою загальнопромислових освітлювальних виробів та піротехнічних ІЧ-випромінювачів є, так званий, освітлювальний елемент (факел, зірка тощо), що являє собою металевий стакан або металевий стакан + півсферичний обтічник, в який запресовується заряд джерела запалювання та основний заряд піротехнічної суміші. Загальний вигляд типових освітлювальних виробів та піротехнічних ІЧ-випромінювачів, а також основні техніко-експлуатаційні характеристики представлено на рис. 1, 2 та табл. 1, 2.

Таблиця 1. Основні техніко-експлуатаційні характеристики освітлюваних виробів [1, 7, 8, 11]

Калібр виробу, мм	Сила світла, 10^3 св	Час горіння, с	Швидкість зниження освітлювального елемента, м/с
40	250	32	3
60	145	75	3,5
81	500	75	3,7
105	450	60	1,2
106,7	850	90	1,3
155	1000	120	1,5

При спрацьовуванні освітлювального виробу хвостова частина корпусу відокремлюється від головної, освітлювальний елемент виштовхується з корпусу та одночасно спалахує, а потім спускається на парашуті (є також безпарашутні вироби), освітлює ціль (місцевість, окремі об'єкти тощо). При цьому швидкість пострілу малогабаритних виробів (діаметр 40 мм та менше) перевищує швидкість звуку у декілька разів, тобто при пострілі з пускової установки піддається ударним тепловим діям.

При спрацьовуванні ІЧ-випромінювача відстрілюється обтічник та ініціюється загоряння та горіння основного заряду піротехнічної суміші, в результаті створюється

потужне джерело теплового ІЧ-випромінювання, так звана хибна тепла ціль для систем наведення та спостереження за об'єктами, що літають. Так, піротехнічні ІЧ-випромінювачі практично усі є малогабаритними (діаметр до 25...35 мм) та запускаються у більшості випадків з об'єктів, що летять, швидкість їх пострілу може перевищувати швидкість звуку у декілька разів. Тому піротехнічні ІЧ-випромінювачі при їх застосуванні в умовах пострілу та польоту піддаються інтенсивним ударним тепловим діям.

Таблиця 2. Основні техніко-експлуатаційні характеристики ІЧ-випромінювачів [1, 7, 8, 11]

Марка випромінювача	Кількість складу освітлювального елемента, кг	Розміри, мм		Вихідний потік випромінювання, віднесений до одиниці тілесного кута	Час горіння, с
		діаметр	довжина		
W111A та B	0,45	25,4	225...256	150...250	40
W211A та B	0,90	50,8	334...377	1000	90
W137	0,68	35,0	228	450	40
W138	0,68	35,0	228	900	20
W203A	0,45	50,8	197	1000	40
W203B	0,50	50,8	222	1000	60

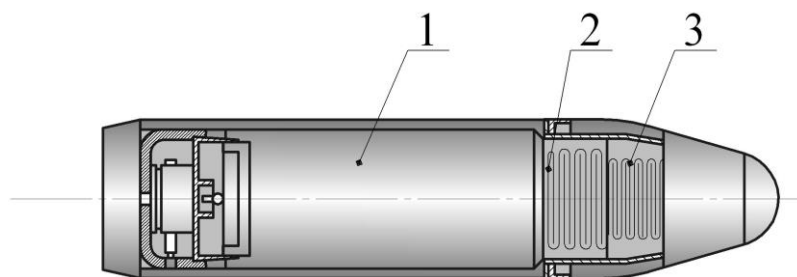


Рис.1. Схематичне зображення освітлювального виробу.

1 – освітлювальний елемент (сталева циліндрична оболонка, в яку запресовані заряд джерела запалювання та основний заряд піротехнічної суміші); 2 – парашут; 3 – пружина для виштовхування системи освітлювальний елемент – парашут з корпусу виробу.

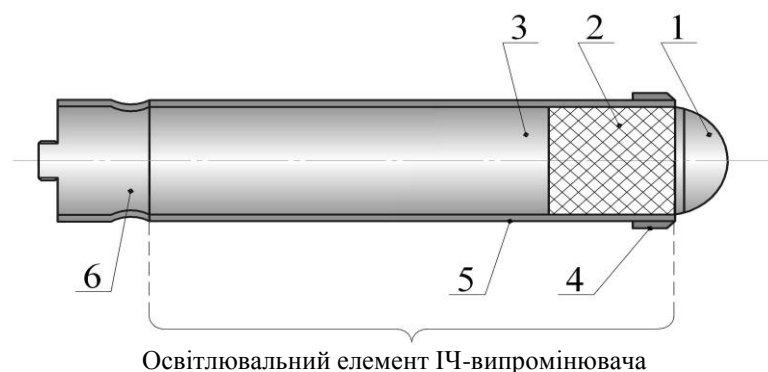


Рис.2. Схематичне зображення піротехнічного ІЧ-випромінювача.

1 – півсферичний обтічник; 2 – заряд джерела запалювання; 3 – основний заряд піротехнічної суміші; 4 – запальні отвори; 5 – металева оболонка; 6 – різьбовий хвостовик для кріплення.

Зовнішні термодії на металеві корпуси піротехнічних виробів, що призводять до їх можливих пожежонебезпечних руйнувань. Як зазначалося вище, розглядувані вироби з нітратно-металевими джерелами запалювання при їх зберіганні та транспортуванні або в умовах пострілу та польоту (запуск з нерухомих наземних установок або з літальних апаратів) можуть піддаватися інтенсивним зовнішнім термодіям (наприклад, в умовах пожежі в складських приміщеннях, де зберігаються вироби, або при їх транспортуванні в умовах спалахування навколишніх легкозаймистих матеріалів з високою температурою полум'я (табл. 3).

В результаті відбувається істотний нагрів найбільш реакційноздатних до підвищених температур зарядів джерел запалювання, що призводить до їх передчасних локальних спалахувань під герметичними корпусами виробів та подальшого розвитку процесу горіння в умовах підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків. При цьому, в одних випадках вироби нагріваються без видимих руйнувань, а в інших – відбуваються їх вибухонебезпечні руйнування з утворенням різних чинників пожежі (полум'я або високотемпературний струмінь продуктів згоряння, дисперговані продукти (уламки металевих корпусів, розігріті частини основних зарядів виробів, іскри тощо)).

Таблиця 3. Значення температур полум'їв та ступені їх чорноти основних палих матеріалів [1]

Пальний матеріал	Температура полум'я, К	Ступінь чорноти
Торф, мазут	1273	0,88
Деревина, буре вугілля, сира нафта, дизельне паливо, тракторний гас	1373...1423	0,6
Кам'яне вугілля, каучук та вироби з нього, бензин	1473...1523	0,9
Антрацит, сірка	1573	0,6
Горючі гази	1773...1973	0,7
Метали	> 2373...2623	0,45

Примітка. Діапазон зміни зовнішнього теплового потоку:
 $q_w^{(1)} = 1,5 \cdot 10^5 \dots 2,3 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$.

Тому, на стадії проектування та розробки виробів необхідно вміти визначати критичні режими їх нагріву в умовах інтенсивних термодій, перевищення яких призводить до займання зарядів джерел запалювання під металевими корпусами виробів, прискорення процесу їх горіння при підвищених температурах нагріву та зовнішніх тисках, що призводить до передчасного спрацьовування основного заряду піротехнічної суміші та пожежонебезпечних для навколишніх об'єктів (пускові установки з обслуговуючим персоналом, різні будови, легкозаймисті матеріали тощо) руйнувань виробів. Для цього необхідно мати результати теоретичних та експериментальних досліджень процесів зовнішнього нагріву, загоряння та розвитку горіння ущільнених нітратно-металевих сумішей, що складають основу джерел запалювання виробів, з визначенням їх вибухонебезпечних режимів протікання при різних зовнішніх умовах.

Висновки

При проведенні аналізу пожежовибухонебезпеки піротехнічних виробів встановлені причини їх передчасного руйнування в процесі зберігання, транспортування та застосування. Під час проведення досліджень встановлений вплив термічної дії на металеві корпуси загальнопромислових піротехнічних виробів (освітлювальних виробів та ІЧ-випромінювачів)

в вищезазначених умовах застосування та, відповідно, визначені подальші шляхи підвищення пожежної безпеки піротехнічних виробів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ващенко В. А. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заика П. И., Яценко И. В., Цыбулин В. В. – К.: Наукова думка, 2008 – 745 с.
2. Технічний регламент піротехнічних виробів. Затверджений постановою КМУ від 03. 08. 2011 р., № 839.
3. ДСТУ 4105 – 2002. Вироби піротехнічні побутові. Загальні вимоги безпеки. Затверджено наказом Держстандарту України від 12. 06. 2002 р., № 356.
4. ДСТУ 4316 – 2004. Вироби піротехнічні побутового призначення. Вимоги пожежної безпеки і методи випробувань. Затверджено наказом Держстандарту України від 05. 07. 2004 р., № 130.
5. Кириллов Г. Н. Требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Обзорно-аналитический материал / Кириллов Г. Н., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н., Вогман Л. П., Зуйков В. А., Нестругин А. Н., Пшеничников А. М. – М.: ВНИИПО и ДНД МЧС России, 2010. – 19 с.
6. Маковой В. А. Основные требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции // Международный научно-практический журнал «Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность», 2011. – № 1 – 3 (6 – 8). с. 13 – 21.
7. Шидловский А. А. Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
8. Шидловский А. А. Пиротехника в народном хозяйстве / Шидловский А. А., Сидоров А. И., Силин Н. А. – М.: Машиностроение, 1978. – 231 с.
9. Вогман Л. П. Нормирование пожарной опасности фейерверочных пиротехнических изделий бытового назначения / Вогман Л. П., Сотников О. В. // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – № 2. – с. 3 – 11.
10. Кириченко О. В. Пожежонебезпечні термовпливи на поверхню металевих корпусів піротехнічних виробів в умовах пострілу та польоту / Кириченко О. В., Ващенко В. А., Цыбулін В. В. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – № 32. – с. 98 – 112.
11. Кириченко О. В. Основи пожежної безпеки піротехнічних нітратовмісних виробів в умовах зовнішніх термовпливів. Монографія / Кириченко О. В., Пашковський П. С., Ващенко В. А., Лега Ю. Г. – К.: Наукова думка, 2012. – 318 с.
12. www.undicz.mns.gov.ua

УДК 614.841.45

М. І. Копильний, В. Г. Бенедюк, І. С. Стилик, Т. Ю. Нижник, к. т. н., Я. В. Балло

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОГО ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПРОВОДУ ДОДАВАННЯМ ДО ВОДИ РІДКОГО НАТРІЄВОГО СКЛА

Приведено результати досліджень щодо впливу додавання до води рідкого натрієвого скла на процес швидкості утворення біологічного заростання на внутрішній поверхні протипожежного водопроводу, а також його вплив на вогнегасну ефективність під час гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями.

Ключові слова: силікат натрію, біологічне заростання, вогнегасна ефективність, внутрішній протипожежний водопровід.

Стан питання. Рідке натрієве скло є водним розчином силікатів натрію. Як відомо, рідке натрієве скло широко застосовується у різноманітних системах технічного та централізованого водопостачання [3-5]. Додавання в невеликих концентраціях силікату натрію, дозволяє сповільнити процес хімічної корозії систем трубопроводів. На рисунку 2 наведено графік залежності вмісту силікату натрію у водному розчині на процес хімічної корозії сталевому трубопроводу за [6].

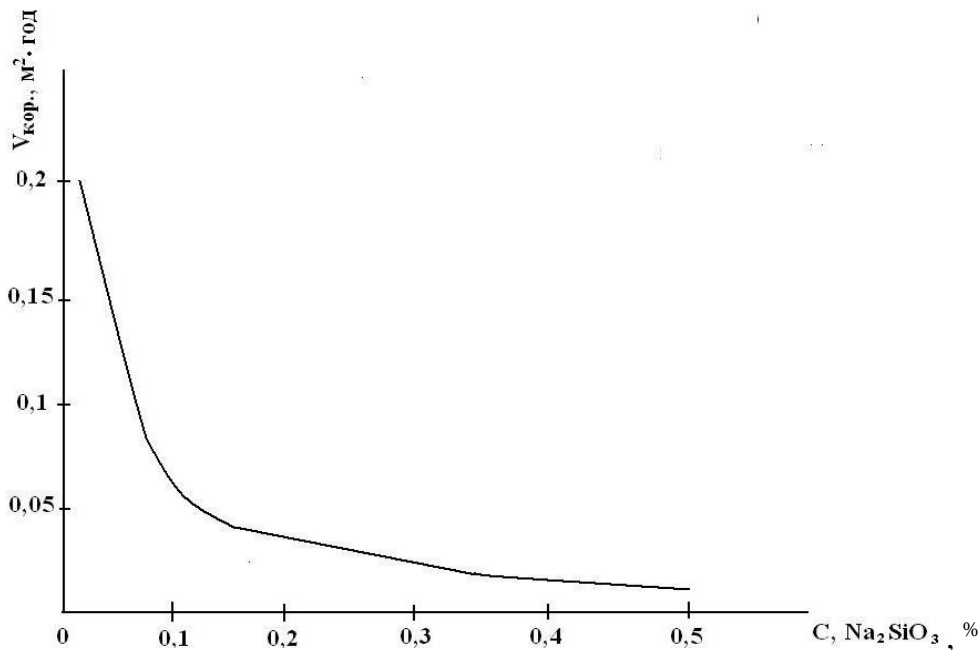


Рисунок 1 - Графік залежності вмісту силікату натрію у водному розчині на процес хімічної корозії сталевому трубопроводу.

Проте залишається недослідженим вплив рідкого натрієвого скла на процес біологічного заростання сталевому трубопроводу. Актуальність такого дослідження була зазначена в [7], так як саме для систем холодного водопроводу зі сталі характерна не тільки хімічна корозія, але й процес біологічного заростання. Особливо дане явище впливає на роботу системи внутрішнього протипожежного водопостачання, що постійно знаходяться водозаповненими. На рисунку 2 зображено фрагмент трубопроводу, внутрішня поверхня якого деформована внаслідок процесів корозії та біологічного заростання.



Рисунок 2 – Фрагмент сталевих водопроводу внутрішня поверхня якого деформована внаслідок процесів корозії та біологічного заростання [8].

Мета досліджень. Метою даної роботи було отримання експериментальних даних щодо впливу кількості вмісту рідкого натрієвого скла у воді на процес біологічного заростання внутрішньої стінки трубопроводу, а також визначення відносної вогнегасної ефективності розчину силікату натрію в порівнянні зі звичайною водою при гасінні модельних вогнищ класу В тонкорозпиленими струменями в лабораторних умовах.

Об'єктом експериментальних досліджень є процеси біологічного заростання та корозії внутрішнього протипожежного водопроводу, а також процеси гасіння модельних вогнищ класу В тонкорозпиленими струменями в лабораторних умовах.

Предметом експериментальних досліджень є фактори, що впливають на виникнення та подальшу інтенсивність біологічного заростання внутрішньої стінки протипожежного трубопроводу у разі додавання до води силікату натрію та вогнегасна ефективність такого розчину (в порівнянні зі звичайною водою) при гасінні модельних вогнищ класу В тонкорозпиленими струменями в лабораторних умовах.

На першому етапі досліджень визначали фізико-хімічні властивості води, які можуть впливати на ефективність роботи внутрішнього протипожежного водопроводу після перебування її у металевому трубопроводі за певний період часу. Визначивши властивості води, за формулою та критеріями А.Г. Камерштейна [9], можна розрахувати значення щорічного приросту абсолютної шорсткості, спрогнозувати інтенсивність біологічного заростання трубопроводу.

Для проведення дослідів було взято нову сталеву водопровідну трубу, що відповідає вимогам [10].

У таблиці 1 наведені загальні характеристики сталевих труби згідно з сортаментом [10].

Таблиця 1 – Загальні характеристики сталевих труби.

d _y , мм	d _з , мм	Легкі, з номінальним тиском до 4 атм.	
		S, мм	Маса 1 м, кг
25	33,5	2,8	25

де d_y – умовний діаметр труби; S – товщина стінки труби; d_з – зовнішній діаметр труби.

Фрагмент трубопроводу був розрізаний на вісім рівних частин. На рисунку 3 показані фото труби, що використовувалась для дослідів.



Рисунок 3 - Фото труби, що використовувалась для дослідів

Для дослідження інтенсивності біологічного заростання трубопроводу залежно від вмісту силікату натрію у воді, в лабораторних умовах було підготовлено вісім зразків розчинів, а саме: вода без додавання Na_2SiO_3 , вода з 0,01 мас.%, 0,03 мас.%, 0,05 мас.%, 0,1 мас.%, 0,25 мас.%, 0,5 мас.% та 1,0 мас.% вмістом Na_2SiO_3 .

Дані розчини заливалися в фрагменти труб (по три дослідні зразки на кожну концентрацію), труби пломбувалися та залишалися на зберігання в лабораторних умовах на 60 днів. Температура повітря при зберіганні дослідних зразків становила від $+17^\circ\text{C}$ до $+23^\circ\text{C}$. Досліджувальні зразки були захищені від пливу прямих сонячних променів та зберігалися у стані спокою.

По завершенні строку експозиції, зразки з водою було розпломбовано та визначено показник окиснюваності. Окиснюваність є інтегрованим показником, що показує вміст у воді окиснюваних речовин, в першу чергу - органічних. Крім того, на окиснюваність впливає і вміст ряду неорганічних речовин - іонів заліза (II - валентного). Наявність у воді високого показника окиснюваності свідчить про те, що така вода потенційно має високий вміст органічних речовин, що сприяє інтенсивному біологічному заростанню, так як органічні речовини, що вона містить, є поживними для мікроорганізмів. Окиснюваність є одним з непрямих методів визначення кількості органічних речовин у воді [11]. Норма окиснюваності для питної води за [12] повинна бути не більше $4 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$.

За результатами лабораторного аналізу були отримані такі середні значення показників окиснюваності:

Таблиця 2 – Середні значення окиснюваності за результатом лабораторного аналізу.

№ зразку	Концентрація Na_2SiO_3 , % у водному розчині	Окиснюваність, mgO_2/dm^3
1	вода питна за ДСТУ 7525:2014 без домішок	74,0
2	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,01 % вмістом Na_2SiO_3	73,0
3	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,03 % вмістом Na_2SiO_3	52,0
4	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,05 % вмістом Na_2SiO_3	43,0
5	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,1 % вмістом Na_2SiO_3	41,0
6	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,25 % вмістом Na_2SiO_3	41,0
7	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 0,5 % вмістом Na_2SiO_3	40,0
8	вода питна за ДСТУ 7525:2014 з 1,0 % вмістом Na_2SiO_3	39,0

За результатом даного дослідження можна визначити певну закономірність впливу вмісту силікату натрію у воді на значення показника окиснюваності та зробити висновок, що наявність у воді від 0,5% до 1% рідкого натрієвого скла в порівнянні зі звичайною питною водою зменшує органічну активність у воді, що може привести до уповільнення процесу заростання майже в два рази. Зростання окиснюваності звичайної питної води при її тривалому перебуванні у водопроводі (особливо за відсутності циркуляції) може пояснюватись переходом заліза зі стінок труби у воду у вигляді іонів заліза (II) унаслідок корозійних процесів. Додавання ж до води силікатів зменшує винос заліза у воду внаслідок утворення на поверхні плівки силікатів, що перешкоджає корозійним процесам шляхом зв'язування іонів заліза (II) аніонами кремнієвої кислоти у нерозчинні силікати.

Дані результати є дуже важливими для розв'язання проблеми ефективної довготривалої експлуатації системи внутрішнього протипожежного водопроводу висотних будівель, а саме забезпечення необхідної витрати води та напору в кран-комплектах на останніх поверхах висотної будівлі як найвіддаленіших точках від насосної станції.

Для визначення впливу рідкого натрієвого скла при додаванні його у воду на вогнегасну ефективність такого розчину проведено дослідження вогнегасної здатності води з вмістом рідкого натрієвого скла, які виконували за експрес-методикою дослідження вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин під час гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями за методикою, яка розроблена в УкрНДЦЗ. Експеримент проводили в лабораторії у витяжній шафі з примусовою вентиляцією за таких кліматичних умов:

- температура повітря від 21 °C ($\pm 0,5$);
- відносна вологість повітря: від 69 % ($\pm 1,0$);
- атмосферний тиск від 730 мм рт. ст. ($\pm 1,0$)

Для дослідження зразків водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ класу В тонко розпиленими струменями використовують стенд, що зображений на рисунку 4.

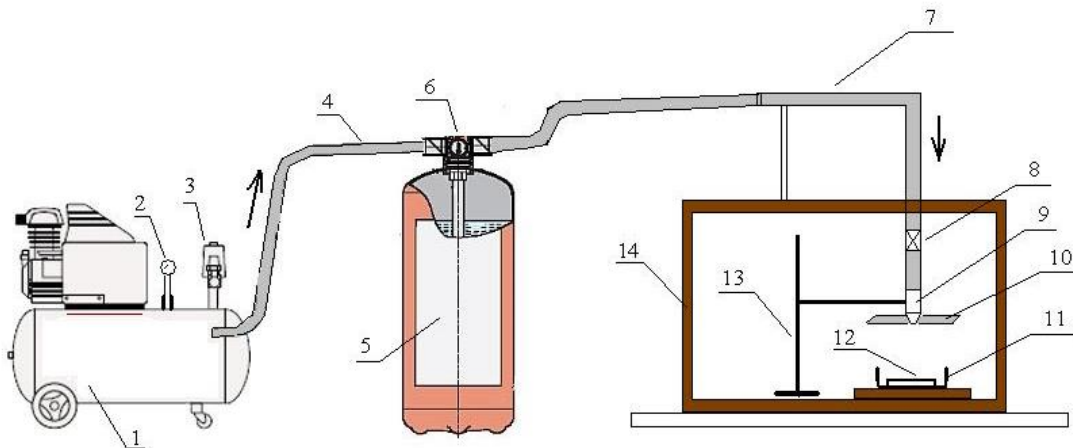


Рисунок 4 - Стенд для експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ класу В тонкорозпиленими струменями:

1 – компресор; 2 – манометр; 3 – запобіжний клапан; 4 – трубопровід подачі повітря; 5 – ємність для ВВР на базі вогнегасника; 6 – наливна горловина з запірною арматурою, 7 – трубопровід подавання ВВР на зрошувач; 8 – запірний вентиля; 9 – перехідник з форсункою-розпилювачем з інтенсивністю подавання ВВР 1,0-2,5 мл/с струменем з кутом розкриття 45° за тиску 0,7- 0,9 МПа; 10 – захисний екран; 11 – піддон; 12 – деко; 13 – штатив; 14 – витяжна шафа для проведення дослідю.

Методика проведення експерименту полягає в тому, що ємність на базі водного вогнегасника заповнюють водною вогнегасною речовиною (далі - ВВР), а за допомогою компресора в ємності створюють надлишковий тиск. У камері для гасіння на рівній горизонтальній поверхні встановлюють у піддон металеве деко. Заливають в деко дистильовану воду, а пізніше паливо в кількості, що визначено методикою. Паливо у деці підпалюють. Після 30 с вільного горіння відкривають запірний кран і починають подавати тонко розпилену ВВР на поверхню підпаленої рідини протягом не більше 30 с до досягнення гасіння.

При успішному гасінні вогнища, розмір дека збільшують та повторюють дослід. Таким чином, визначають максимальний розмір дека, яке впевнено гасилося досліджуваною ВВР. Значення критичної інтенсивності залежить від витрати ВВР (R , см³/с), що визначається за формулою

$$R = \frac{m_1 - m_0}{\tau \rho}$$

де, m_0 – маса посудини для збирання розпиленої ВВР, г;
 m_1 – маса посудини для збирання розпиленої ВВР зі зібраною речовиною, г;
 τ – час збирання вогнегасної речовини, с;
 ρ – густина досліджуваної вогнегасної речовини, г/см³.

Значення критичної інтенсивності подавання ВВР визначають за формулою:

$$I_{кр} = \frac{R \cdot 10^{-3}}{S_{\max}}, \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2},$$

де, S_{\max} – площа найбільшого дека, яке погашено в умовах досліджень, м².

Суть визначення показника відносної вогнегасної ефективності ($K_{\text{еф}}$), полягає у порівнянні значення показника критичної інтенсивності подавання води ($I_{крH_2O}$) для гасіння модельного вогнища та показника критичної інтенсивності подавання ВВР ($I_{крВВР}$) для гасіння модельного вогнища з максимальним розміром дека, яке впевнено гасилося досліджуваною ВВР.

$$K_{\text{еф}} = \frac{I_{крH_2O}}{I_{крВВР}},$$

де, $I_{крH_2O}$ – критична інтенсивність подавання води, л·с⁻¹·м⁻²;

$I_{крВВР}$ – критична інтенсивність подавання водної вогнегасної речовини, л·с⁻¹·м⁻².

У таблиці 3 наведені значення концентрації рідкого натрієвого скла (Na_2SiO_3) у зразках водних розчинів та результати визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ класу В тонкорозпиленними струменями.

У результаті розрахунків визначено, що водний розчин з 1% вмістом Na_2SiO_3 при гасінні вогнищ класу В тонкорозпиленними струменями в порівнянні з водою має показник відносної вогнегасної ефективності $K_{\text{еф}} = 1,96$. Тобто, даний розчин фактично вдвічі ефективніший за звичайну воду.

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, що підвищення ефективності при гасінні модельного вогнища класу В тонкорозпиленними струменями відбувається за рахунок наявності у розчині солей натрію.

Таблиця 3 – Значення концентрації рідкого натрієвого скла (Na_2SiO_3) у зразках водних розчинів та результати відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ класу В тонкорозпиленими струменями.

Номер зразка	Досліджувана речовина (Концентрація Na_2SiO_3 у воді питній за ДСТУ 7525:2014, %)	Густина досліджуваної речовини, г/см ³	Кількість горючої речовини (нефрас), мл	Витрата вогнегасної речовини (R), см ³ /с	Площа дека, яке впевнено гасилося досліджуваною ВВР (S), м ²
1	Вода без додавання Na_2SiO_3	1,0	40	1,1	0,00758
2	0,1	1,01	47	1,09	0,00949
3	0,5	1,012	57	1,07	0,011304
4	1,0	1,016	66	1,03	0,01326

Висновки.

1. Дослідження показали, що застосування рідкого натрієвого скла в закритих системах внутрішнього протипожежного водопроводу в концентраціях від 0,5 – 1% суттєво зменшує процес окиснювання, що має призводити до зниження активності корозійних процесів та процесів біологічного заростання внутрішньої поверхні трубопроводу.

2. Додавання рідкого натрієвого скла до води в концентраціях до 1%, підвищує її відносну вогнегасну здатність майже вдвічі при гасінні вогнища класу В тонкорозпиленими струменями в лабораторних умовах в порівнянні зі звичайною водою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Никольский Б.П. Справочник химика. Том 1. Общие сведения строения веществ. «Химия», Ленинград 1976 г. – 1022 с.
2. П.А. Борсук, А.М. Лясс - Жидкие самотвердеющие смеси - Москва, 1999 – 344 с.
3. СП 41-101-95 «Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование тепловых пунктов». - Минстрой России, 1997 г. – 95 с.
4. СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения».
5. «Инструкция на противокоррозионную обработку воды жидким стеклом» - Утверждено приказом Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР от 21 ноября 1986 г. № 495.
6. Акользин П.А., «Предупреждение коррозии оборудования технического водо- и теплоснабжения» Ж. Металургия, Москва, 1988 г. – 96 с.
7. О.О. Сізіков, В.В. Ніжник, Р.В. Уханський, Я.В. Балло – «Негативні особливості експлуатації систем внутрішнього протипожежного водопроводу у висотних будівлях» - Науковий вісник № 29, 2014 р. - с. 30-38.
8. Типові труби після строку експлуатації / masterok.livejournal.com. – режим доступу: <http://masterok.livejournal.com/1488617.html>.
9. Камерштейн А. Г., Ручимский М. Н. В.В. Рождественский - Расчет трубопроводов на прочность – М.: «ВГОСТОПТЕХИЗДАТ» 1983 – 375с.
10. ГОСТ 3262-75 Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия.
11. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. - М.: Химия, 1979. - 480 с.
12. ДСанПиН 2.2.4-171-10 Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання.

УДК 614.895.5:621.

Т. В. Костенко, к. т. н.,

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

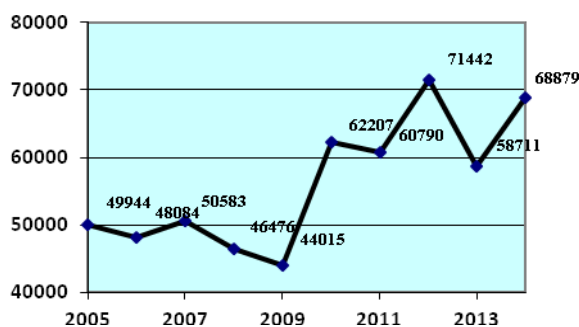
МОЖЛИВОСТІ ЗАХИСТУ РЯТУВАЛЬНИКІВ ВІД ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ

Статистичний аналіз пожежної обстановки в Україні протягом останнього десятиріччя. Огляд існуючих засобів зниження негативного впливу тепла на рятувальників. Недостатні допустимі рівні температури оточуючого середовища та інтенсивності теплового опромінювання визначають невелику тривалість роботи в зонах теплового враження. Схема розподілу теплової енергії в системі «пожежа –засоби протитеплового захисту – рятувальник» при проточної схемі охолодження. Якісний аналіз видів негативного впливу на рятувальників в зоні теплового враження та класифікація основних способів їх локалізації. Перспективу має комбінований засіб, що передбачає поєднання відбиваючого проміні покриття з виносом теплоти холодоносієм з підоболонкового простору.

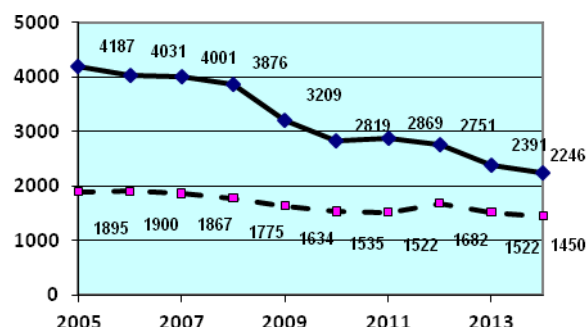
Ключові слова: зона теплового ураження, теплові промені, кондукція, термодинамічна конвекція, засоби протитеплового захисту.

Актуальність. Протягом 2005-2014 рр. простежується тенденція до зростання щорічної кількості пожеж в Україні (рис 1,а), щоправда загальна кількість травмованих при цьому людей скоротилась майже вдвічі, але, на жаль, число смертельних випадків значно більше ніж у розвинених країнах. Воно зменшилось лише, приблизно, на чверть і стабілізувалось протягом останніх років (рис.1,б). Це свідчить про деякі успіхи в підвищенні оперативної виучки особового складу і удосконаленні управління підрозділами ДСНС. Однак відсутність на оснащенні підрозділів нових технічних засобів визначає неприпустимо високі показники травматизму в тому числі серед рятувальників.

Серед видів травм особового складу ДСНС при ліквідації джерел горіння, є теплові враження, такі як опіки, перегрів організму, втрата свідомості, теплові удари. Наявність такого роду травм пов'язана із недостатнім, на наш погляд, рівнем захисної дії існуючих на оснащенні підрозділів протитеплових засобів (ПТЗ), які не дозволяють ефективно виконувати пошуково-рятувальні операції в зонах високих температур. Обмежені фінансові можливості держави не дають змоги закупити сучасні закордонні ПТЗ, тому потрібен пошук шляхів створення вітчизняних ефективних та відносно дешевих засобів.



а)



б)

Рисунок 1 - Динаміка пожеж в Україні (а) та травматизму на них (б) загального (суцільна) і смертельного (пунктир)

На сьогоднішній день дальньою межею зони теплового впливу за інтенсивністю променистого теплового потоку запропоновано приймати таке віддалення від зони горіння, де променисте тепло, впливаючи на незахищені частини тіла людини (обличчя, руки) викликають болюче відчуття не миттєво, а через проміжок часу, сумірний з оперативним часом, а саме часом, необхідним для активного впливу пожежного, що оснащений засобами гасіння, на основні параметри пожежі. Чисельну величину цього часу рекомендовано визначати експериментально на характерних реальних пожежах. При інтенсивності опромінення $560...1050 \text{ Вт/м}^2$ настає межа витримування. При зовнішніх пожежах (наприклад, горіння штабелів лісоматеріалів) така інтенсивність спостерігається на відстані 30...40 м. На більш близьких відстанях (10...15 м), де ствольщикам необхідно працювати, інтенсивність випромінювання перевищує $4200-5600 \text{ Вт/м}^2$. У таких умовах рятівник повинен використовувати індивідуальні засоби захисту від теплового випромінювання.

У будівлях для внутрішніх пожеж при середній інтенсивності їх розвитку та сучасних засобах пожежогасіння (наприклад, тонкорозпиленої води з доданням змочувача) цей час умовно можна прийняти рівним 15с. Тоді, за експериментальними даними, за дальню межу зони теплового впливу запропоновано умовно прийняти інтенсивність променистого потоку приблизно 3500 Вт/м^2 .

Основні види оперативних дій в зонах теплового враження це: розвідка аварійного об'єкту та евакуація людей що застигнуті аварією; гасіння джерел горіння; локалізація пожежі шляхом охолодження сусідніх об'єктів що нагріваються. Найчастіше ці дії виконують за допомогою засобів водяного або пінного пожежогасіння. Для виконання робіт з відключення пошкоджених апаратів і трубної арматури рятувальникам також доводиться входити в зону впливу високих температур. У ряді випадків для проведення рятувальних робіт, подачі засобів гасіння, управління процесами обміну повітря на пожежі необхідно проводити роботи з розкриття конструкцій (табл.1). Тривалість такого виду робіт, як видно з таблиці, не може складати кілька секунд, як це зазначається в характеристиках на окремі види ПТЗ.

Таблиця 1 - Тривалість і число виконаних робіт при гасінні пожеж в апаратах захисту дихання

Вид робіт	Відсоток від загальної кількості робіт,%		Середня тривалість роботи, хв
	за частотою	по тривалості	
1.Розвідка	32,3	17,5	9,1
2.Порятунок людей	4,8	2,7	9,5
3.Робота з водяними стволами	31,7	46,6	24,8
4.Робота з пінними стволами	3,3	5,1	26,0
5.Розкриття і розбирання	15,3	16,0	17,6
6.Розбирання завалів	5,0	4,9	16,0
7.Евакуація матер. цінностей	7,6	7,2	16,0

Ще одна проблема, яка проявилася в практиці ліквідації пожеж, це вихід з ладу ПТЗ внаслідок термодеструкції матеріалу поверхневих оболонок. Це призводить до припинення захисних властивостей протитеплових засобів та підвищенню ризиків враження рятівників.

Тому дослідження в області розробки і вдосконалення спеціальних ПТЗ рятувальників, які забезпечували би безпеку особового складу підрозділів в умовах високих ергономічних навантажень є актуальним завданням.

Результати аналізу останніх досліджень і публікацій. Згідно вимог нормативних документів існують наступні види ПТЗ [1].

Захисний одяг пожежника-рятувальника загального призначення існує для захисту його шкірного покриву (за винятком голови, кистей рук і ступень ніг), за помірними температурою навколишнього середовища та теплового випромінювання, короткочасної дії полум'я (помірна температура – від мінус 40 до 185°C, помірне теплове випромінювання – з поверхневою густиною потоку не більше 7 кВт/м², короткочасна дія полум'я – тривалістю не більше 10 с).

Захисний одяг пожежника-рятувальника спеціального призначення, що використовують за високої температури навколишнього середовища та теплового випромінювання, помірної та тривалої дії полум'я (висока температура – від 185°C до 300°C, підвищене теплове випромінювання – з поверхневою густиною потоку від 7 кВт/м² до 25 кВт/м², інтенсивне теплове випромінювання – з поверхневою густиною потоку понад 25 кВт/м², помірна дія полум'я – тривалістю від 10 до 20 с, тривала дія полум'я – тривалістю понад 20 с).

В усіх типах ПТЗ, що знаходяться на оснащенні ДСНС, використовується принцип пасивного теплового захисту, який здійснюється шляхом застосування матеріалів з низькою теплопровідністю і високою теплоємністю без забезпечення знімання тепла холодоносіями з примусовою циркуляцією. При щільності теплового потоку до 40 кВт/м² термін захисної дії складає, с: «Індекс-1» – 30; ТВК – 120; «Індекс-1200» – 600 [1].

В даний час для ведення аварійно-рятувальних робіт в умовах нагрівачого мікроклімату підземних виробок гірничорятувальники застосовують ПТЗ з активним зніманням тепла (типоряд курток та костюмів), тобто, з локально розташованими у внутрішньому просторі одягу водо-крижаними охолоджуючими елементами, знімання тепла з яких відбувається за рахунок конвекції і випромінювання [2,3]. Для їхнього заморожування, зберігання і доставки до місця ведення робіт необхідно застосовувати морозильні установки, у тому числі пересувні азотні, переносні і пересувні теплоізолюючі контейнери [4].

Розроблені протитеплові костюми з подібним охолодженням для гасіння підрозділами ДСНС пожеж з високим променистим потоком [5] не знайшли практичного застосування, у зв'язку з великими витратами на експлуатацію і обслуговування.

На даний час в усіх типах захисного одягу пожежних від підвищених теплових потоків використовується принцип пасивного теплового захисту, який заснований на застосуванні матеріалів з низьким значенням коефіцієнту теплопровідності та високою теплоємністю. Це не дозволяє забезпечити стабільний захист людини та цілісність ПТЗ.

Метою даної роботи є на основі якісного аналізу можливих варіантів захисту пожежних від дії теплових факторів пожежі обґрунтувати можливості створення надійних засобів протитеплового захисту, які дозволятимуть суттєво підвищити ефективність гасіння потужних джерел пожежі і одночасно зменшити небезпеку травматизму рятувальників.

Результати досліджень. Навколо джерела горіння утворюється зона теплового ураження, в якій умови праці не відповідають вимогам безпеки (рис.2). Чинниками нагріву виступають інфрачервоні промені від фронту горіння, відбиті від поверхні ґрунту та споруд промені, а також гарячі гази і пари що утворюються внаслідок реакції окислення горючої речовини [6,7]. Похідним є конвекційний потік повітря внаслідок нагріву променями поверхні ґрунту або споруджень на поверхні. На розподіл продуктів горіння та нагрітих повітряних мас значний вплив оказує вітер.

Таким чином, негативними факторами є ІЧ промені, а також гарячі гази і повітря. При високих рівнях теплового випромінювання зони теплового впливу мають такі розміри та

інтенсивність, що не рідко не дозволяють ефективно застосувати існуючі засоби гасіння пожеж. Можна виділити наступні чинники що забезпечують зовнішній нагрів оболонки ПТЗ це пряме ІЧ випромінювання, відбите від поверхонь вторинне випромінювання, конвективні потоки нагрітого повітря (рис.2).

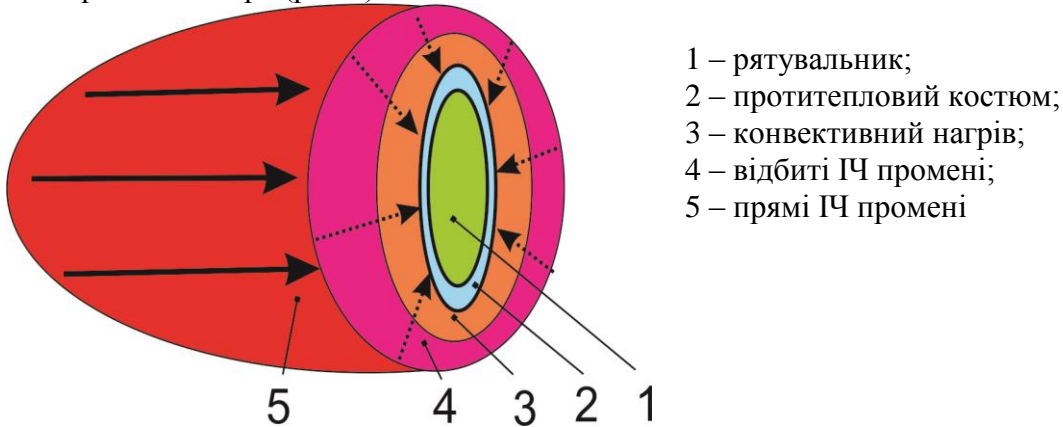


Рисунок 2 - Основні зовнішні теплові потоки які діють на рятувальника в зоні теплового ураження

Для забезпечення ефективної роботи в зоні теплового ураження використовують засоби ПТЗ які є захисною оболонкою для людини. Умовно можна уявити систему (рис.3) «пожежа – ПТЗ – рятувальник» (надалі – «система»).

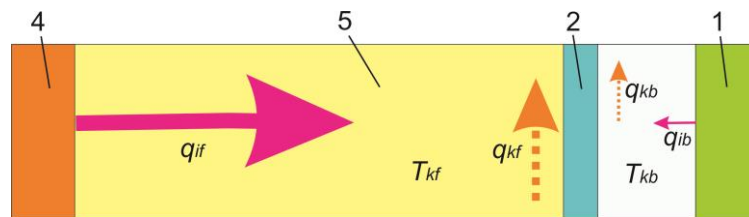


Рисунок 3 - Схема розподілу теплової енергії в системі «пожежа – ПТЗ – рятувальник»: T_{kf} , T_{kb} – температури відповідно у оточуючому середовищі і просторі під костюмному; q_{if} , q_{ib} – потоки ІЧ променів відповідно від пожежі та тіла рятувальника; q_{kf} , q_{kb} – конвекційні потоки повітря відповідно від нагрітої оболонки ПТЗ та у внутрішньому просторі костюму; 1,2,4,5 – як на рис.2

В системі існують два основних ІЧ-радіаційних теплових потоки, один у вигляді променів від пожежі q_{if} , а інший - від тіла рятувальника q_{ib} . Вектори потоків спрямовані назустріч один одному, вони перетворюються в теплоту на зовнішньої та внутрішньої поверхнях ПТЗ.

Від нагрітої зовнішньої оболонки ПТЗ ініціюється термодинамічна конвекція q_{kf} за рахунок якої здійснюється винос нагрітим повітрям теплоти від системи. Величина конвекційного переносу тепла визначається різницею температур між поверхнею ПТЗ та оточуючого повітря T_{kf} . Променеві потоки несуть основну енергетичну складову при нагріві зовнішньої поверхні ПТЗ, яка визначає стійкість матеріалу з якого вона виготовлена. Конвекційна складова забезпечує всебічний зовнішній підогрів «системи».

Крім того між тілом і ПТЗ є простір в якому утворюються конвекційні потоки q_{kb} за рахунок випаровування вологи з поверхні шкіри та нагріву ІЧ випромінюванням внутрішньої поверхні ПТЗ. Ця теплота накопичується у внутрішньому просторі костюму що веде до підвищення температури T_{kb} та нагріву тіла рятувальника.

В тих випадках, коли рятувальник попадає в зону відкритого полум'я можливий безпосередній (кондуктивний) нагрів оболонки ПТЗ.

Виходячи з аналізу якісного стану системи «пожежа – ПТЗ – рятувальник» вдалось скласти класифікацію негативного впливу пожежі на людину (табл.2) та можливих шляхів протидії їм.

Розглянемо критично деякі з вказаних шляхів.

Радіаційне (променеве) нагрівання.

Для зменшення променевого теплового навантаження забезпечують відбиття променів шляхом надання зовнішньої поверхні ПТЗ низького коефіцієнту чорноти наближаючи її вид до дзеркального. При цьому спрямоване на рятувальника випромінювання розсіюється в оточуючому середовищі, зменшуючи нагрівання системи «пожежа – ПТЗ – рятувальник».

Таблиця 2 - Види теплового впливу пожежі на рятувальників та основні засоби протидії їм

Види теплового впливу на пожежних та їх основні характеристики		
Радіація (променисте нагрівання)	Термодинамічна конвекція	Кондукція
Шляхи протидії нагріву		
Відбиття теплового потоку	Теплова ізоляція від зовнішньої середи	Застосування теплостійких матеріалів оболонок
Зменшення опромінюваної поверхні	Обдув поверхні що нагрівається	Використання охолоджуючих елементів
Зменшення експозиції	Зрошення поверхні що нагрівається	Застосування проточного холодоносія
Екранування	Випаровування рідини з поверхні	Використання криогенних засобів

Якщо поверхня, на яку діють промені, розташована під кутом до вектора випромінювання, нормаль її площі зменшується відносно променевого потоку, це дозволяє зменшити нагрів рятувальника, розміщуючи його боком до джерела горіння.

Скорочення часу опромінювання поверхні, натурально, зменшує нагрів підверненої цьому поверхні ПТЗ, але це потребує використання додаткових сил ДСНС. Доцільно періодично розгортати рятувальника іншим боком до джерела горіння, чим досягається скорочення променевої експозиції і загального нагріву системи.

Встановлення на шляху ІЧ променів додаткового екрану призводить до поглинання енергії цією перешкодою і захист від неї системи.

Термодинамічна конвекція.

Розповсюдженим засобом є створення надійної теплоізоляції між зовнішньою середою та тілом рятувальника. При відносно невеликих променевих потоках від пожежі теплота, що утворюється на оболонці ПТЗ видаляється конвекційними потоками і не доставляє до тіла пожежного. Однак, інтенсивне випромінювання проникає крізь теплозахист, а також нагріває поверхневий шар оболонки ПТЗ до температури термодеструкції. Виконання операційних дій у несправних протитеплових засобах – заборонено.

Як вже було вказано, конвекційний теплообмін обумовлений різницею температур між поверхнею ПТЗ (зовнішню або внутрішню) та оточуючого повітря. Тому дії, спрямовані на зниження температури поверхні, такі як обдув її охолодженим повітрям або водою, різко зменшують нагрівання системи за рахунок виносу тепла з поверхні.

Додатковий ефект охолодження отримують при використанні води для охолодження поверхонь, що нагріваються. За рахунок поглинання енергії в процесі випаровування (так звана скрита теплота пароутворення) існує затримка розігріву покритої рідиною поверхні.

Другий напрямок зменшення конвекційного процесу - це охолодження взаємодіючого з системою повітря. Це можна забезпечити шляхом охолодження водою або піною оточуючої рятувальника площі, яку нагрівають промені від пожежі. Охолодження зовнішнього середовища не стосується напряму питання що розглядаємо. Що стосується внутрішнього простору костюму, такі технічні питання розглянемо нижче.

Кондуктивний нагрів.

При значних теплових навантаженнях, таких як безпосередній контакт з полум'ям, використовують для виготовлення зовнішніх оболонок ПТЗ матеріали які мають високу температуру термодеструкції. Це дозволяє забезпечити цілісність протитеплого одягу при короткочасної дії фронту горіння, але не захищає від нагріву тіла пожежного.

Забезпечення комфортних умов роботи рятувальника досягають використовуючи охолоджуючі елементи (ОЕ) різного виду. Відомі хімічні елементи в яких низка температура досягається при ендотермічній реакції двох речовин, застосовуються розплави солей що мають високу теплоємність, найбільш поширені водо-крижані ОЕ. Недоліком такого технічного рішення є малий ресурс холоду, що вимагає перезарядки ОЕ в процесі роботи. Однак, для цього потрібно мати холодильні установки, транспортні контейнери-термоси, резервну кількість елементів, що пов'язане з суттєвими витратами, в тому числі зайві, в період коли пожеж немає.

Більш раціональним уявляється застосування охолоджуючих пристроїв з циркуляцією холодоносія. Автономні пристрої, в яких реалізується охолодження теплоносія за рахунок фазових перетворень, мають декілька більший ресурс для охолодження тіла рятувальника, але що до захищення поверхневих шарів ПТЗ цей ресурс недостатній внаслідок обмеження маси пристрою.

На відміну від циркуляційних автономних схем теплообміну більш перспективними уявляються пристрої з проточним рухом охолоджуючої речовини. Так у гірництві та металургії запропоновані засоби з повітряним холодоносієм, що подають від магістралей стиснутого повітря. Таки технічні рішення непридатні при гасінні пожеж. Але для виконання певних оперативних дій, таких як розвідка, подавання вогнегасних речовин до джерела горіння, охолодження об'єктів при локалізації пожежі та деяких інших, що виконують в зонах теплового ураження із засобами для подавання води або піноутворюючих розчинів такий підхід представляється доцільним. В такому випадку система «пожежа –ПТЗ – рятувальник» буде виглядати наступним чином (рис.4). Теплова енергія що поступає до системи від пожежі і тіла рятувальника не накопичується на поверхні оболонки та в просторі в середині ПТЗ, а виноситься з неї потоком холодоносія q_t . Така схема теплообміну не має ресурсних обмежень і дозволяє суттєво збільшити показники захисту рятувальників та зовнішніх оболонок ПТЗ.

Для важких теплових умов запропоновані ПТЗ в яких використані криогенні пристрої. Застосування скраплених газів дозволяє суттєво збільшити ресурс джерел холоду що носять рятувальники, але обслуговування таких конструкцій потребує спеціальних знань, мір безпеки, складного допоміжного обладнання набагато дорожчого ніж при використанні охолоджуючих елементів.

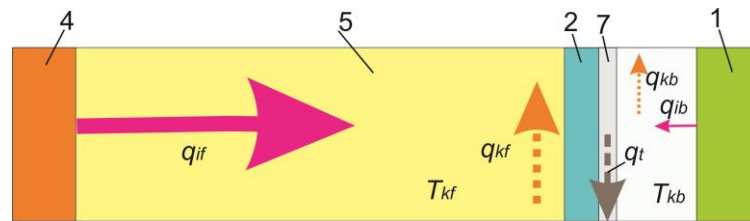


Рисунок 4 - Схема розподілу теплової енергії в системі «пожежа – ПТЗ – рятувальник» з проточним рухом теплоносія: q_b - потік енергії що виносить теплоносії; 7 – канал руху теплоносія; інші позначення як на рис.3

Короткий якісний аналіз існуючих та перспективних засобів протитеплового захисту пожежних дозволив встановити що майже всі з них мають певні обмеження: експлуатаційні, ресурсні, масово-габаритні, цінові тощо. Знизити негативний вплив тепла, з урахуванням обмежень, можливо шляхом створення спеціалізованих ПТЗ з використанням комбінацій способів протидії тепловому впливу. Наприклад, відбиття теплового потоку підходить до більшості засобів проти теплового захисту, однак, його універсальність не є панацеєю при дії інтенсивного випромінювання, тому його слід доповнювати, наприклад, охолоджуючими елементами.

Доцільним, на наш погляд, є розроблення костюма з кондуктивним зніманням тепла проточною водою, яка широко використовується пожежними для гасіння пожеж. Це дозволяє позбавитися ресурсного обмеження при виконанні основних оперативних дії, а саме розвідки, гасіння пожежі, охолодження об'єктів що знаходяться під загрозою займання.

При виконанні інших видів оперативних дії, наприклад в заповнених гарячими газами приміщеннях де нема значних випромінювань від джерел горіння, достатньо таких що зараз є на оснащенні ДСНС теплоізолююваних ПТЗ.

Рекомендації до подальшого використання отриманих результатів. Отримані результати якісного аналізу існуючих та можливих способів зниження негативного теплового впливу на рятувальників вказали на доцільність створення перспективних ПТЗ спеціалізованих до конкретних оперативних дії, насамперед для роботи в важких ерготермічних умовах. Рациональним є розробка комбінованих засобів, які поєднують два або більше способи зниження теплового впливу. Перспектива, на наш погляд, за комбінованими засобами які не мають суттєвих ресурсних та цінових обмежень. Конструювання ПТЗ слід базувати на попередніх розрахунках згідно запропонованими схемами розподілу теплоти в системі «пожежа – ПТЗ – рятувальник».

Висновки.

1. Результати статистичного аналізу показали що пожежна обстановка в Україні протягом останнього десятиріччя має тенденцію до росту кількості пожеж. Значна кількість теплових травм, в тому числі серед пожежних (опіки, втрата свідомості, теплові удари и навіть смерть), свідчать про недостатній рівень існуючих засобів протитеплового захисту.

2. Огляд існуючих засобів зниження негативного впливу тепла на рятувальників свідчить про те, що вони забезпечують недостатні допустимі рівні температури оточуючого середовища та інтенсивності теплового опромінювання, це визначає невелику тривалість роботи в зонах теплового ураження. На разі немає змоги ефективно ліквідувати джерела горіння, вести розвідку, охолоджувати об'єкти що нагріваються від пожежі.

3. Доповнено схему розподілу теплової енергії в системі «пожежа – ПТЗ – рятувальник» при проточній схемі охолодження. З метою обґрунтування шляхів удосконалення засобів протитеплового захисту проведено якісний аналіз видів негативного впливу на рятувальників в зоні теплового ураження та надана класифікація основних способів їх локалізації.

4. Виходячи з існуючих обмежень по масі, габаритам, вартості, доступності тощо, перспективу має комбінований засіб, що передбачає поєднання відбиваючого проміні покриття з виносом теплоти холодоносієм з підболонок простору. При цьому доцільно в якості холодоносія використовувати воду або піноутворюючий розчин, який використовують для гасіння пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боевая одежда и снаряжение пожарного/Д.В.Поповский, В.Ю.Охломенко /Метод. пособие под общей ред.. В.А. Грачева/ Академия ГПС МЧС России – М.: 2004. – 86 с.
2. Індивідуальна протипожежна захист /Ю.Ф.Булгаков, С.В.Борщевский, И.Ф. Марийчук, М.В.Колосниченко, Е.В.Курбацкий, Д.Д.Выговская /Монография под общ. ред. Булгакова Ю.Ф. и Марийчука И.Ф. //«Норд Компьютер», - Донецк., 2015. - 385с.
3. Клименко Ю.В. Теоретические основы тепловых расчетов протипожежной одежды для горноспасателей // Науковий вісник НГА України.– Дніпропетровськ., 2001.– № 3.– С. 70-73.
4. Гаврилко О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і гірничорятувальників з вододіяною системою охолодження / Гаврилко О.А. // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, ЛПБ: УкрНДІПБ МНС України. – Львів.: 2002. – С. 76-82.
5. Воронов П.С. Обоснование параметров и создание комплекса протипожежной защиты горноспасателей с использованием сжатого воздуха: дис... канд. техн. наук: 05.26.01 «Охрана труда» / МакНИИ.– Макеевка., 2008.– 176 с.
6. Болибрух Б.В., Хмель М. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний/ TECHNIQUE AND TECHNOLOGY, - ВіТР, Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 53–61.
7. Лин А. С. Аналіз проблем створення та випробування термозахисних властивостей одягу пожежників / А. С. Лин // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛПБ, 2004. – № 5. – С. 139-143.

УДК 354.404+614.84

С. П. Мосов, д.військ.н, проф.,
ДП “Український інститут інтелектуальної власності”;
М. П. Трембовецький, к. т. н., с. н. с.,
Державний університет телекомунікацій

РОЗВІДКА ПОЖЕЖ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті досліджено умови та способи застосування безпілотних літальних апаратів для оперативного виконання завдань розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення в інтересах забезпечення вимог, від виконання яких залежить ефективність проведення розвідувальних заходів

Ключові слова: пожежа, розвідка, безпілотні летальні апарати

Постановка проблеми. Досвід гасіння пожеж показує, що успішно виконувати свої завдання пожежно-рятувальні (пожежні) підрозділи здатні лише в тому випадку, якщо вони мають достовірні, повні та оперативно отримані дані про обстановку на пожежі. Такі дані добуваються шляхом проведення заходів з розвідки. Враховуючи небезпеки і загрози життю пожежних під час гасіння вогню, що обумовлюється небезпеками, пов'язаними з ймовірністю вибухів, обваленням частин будівель та іншими подібними обставинами, а також умовами задимленості, що ускладнюють дії пожежно-рятувальних (пожежних) підрозділів, доцільно використовувати перспективні дистанційні засоби ведення розвідки, якими сьогодні є безпілотні летальні апарати (далі – БПЛА).

Професійного досвіду застосування БПЛА в Україні на теперішній час не має, що обумовлено відсутністю на оснащенні підрозділів ДСНС комплексів БПЛА, призначених для ведення розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення. Тому актуальним і своєчасним вважається проведення дослідження з питань перспективного застосування БПЛА як технічного дистанційного засобу для оперативного виконання завдань розвідки пожеж з повітряного простору, тобто розв'язання проблеми “нових можливостей”.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Сфера застосування БПЛА в інтересах забезпечення пожежної безпеки, дистанційного зондування пожеж і місць їх ймовірного виникнення є досить новою не тільки для нашої держави, враховуючи досвід провідних країн світу. Це обумовлено тим, що професійне застосування БПЛА вимагає спеціальної підготовки операторів, а також технічного обслуговування в процесі їх експлуатації.

Існують приклади із світового досвіду застосування БПЛА для вирішення локальних завдань, пов'язаних з дистанційним зондуванням пожеж чи можливих місць їх виникнення, а також приклади створення проблем пожежним під час гасіння пожеж з боку аматорів, які спостерігають за пожежами, використовуючи мультикоптери.

Разом з тим праць, що присвячені системному розгляду питань розвідки пожеж із застосуванням БПЛА на професійній основі, в Україні поки ще не має.

Постановка завдання та його розв'язання. Метою статті вважається визначення умов та способів застосування БПЛА для оперативного виконання завдань розвідки пожеж і виявлення місць їх імовірного виникнення в інтересах забезпечення виконання вимог, що пред'являються до розвідки пожеж.

Виклад основного матеріалу. Одним із проривних результатів науково-технічного прогресу у напрямку роботизації вважається створення різноманітних за функціональним призначенням БПЛА. Основне використання БПЛА, як показує світовий досвід, було

пов'язане з виконанням бойових завдань: повітряна розвідка, цілевказівка, нанесення ударів з повітря, коректування артилерійського вогню, радіоелектронна боротьба тощо [1-3]. Такі можливості обумовлені дальністю їх дій на відстань тактичної, оперативної та стратегічної глибини, а також встановленим на борту корисним навантаженням.

Пріоритет у розвитку БПЛА був обумовлений як питаннями економічної ефективності, так і питаннями максимального використання новітніх технічних можливостей таких літальних апаратів, що було неможливим для пілотованої авіаційної техніки в зв'язку з існуванням у льотчика фізіологічної межі.

Згодом активне поширення різноманітних за розмірами та функціональним призначенням БПЛА в цивільній сфері дозволило розглянути питання їх застосування для вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням потрібного рівня пожежної безпеки та ліквідацією пожеж. Одним з таких прикладів є використання у Великій Британії пожежною службою Манчестера невеликого за розмірами та вагою квадрокоптеру Aeryon SkyRanger [4]. БПЛА оснащений інфрачервоною камерою і здатний знаходитися в повітрі до 40 хв. на висоті до 3 км. Робоча висота обмежується 120 м відповідно до виконуваних завдань. Управління здійснюється дистанційно. Передавання інформації з борта БПЛА відбувається по радіоканалу в масштабі реального часу з подальшим її виведенням на екран звичайного планшету. Використання інфрачервоної камери дозволяє пожежним спостерігати за розвитком пожежі навіть в умовах турбулентності атмосфери, що обумовлено задимленістю.

Для вирішення завдань дистанційного зондування з повітря місць виникнення пожеж і спостереження за розвитком пожеж в умовах перенасичення міста хмарочосами в Об'єднаних Арабських Еміратах студентами Університету науки і технологій емірату Аджман розроблений БПЛА, оснащений приладом нічного спостереження [5]. Завдяки компактним розмірам БПЛА сплановано розташовувати на автомобілях екіпажу служб порятунку.

В Університеті Меріленда (США) вивчаються можливості використання БПЛА в Південній Африці для вирішення сукупності завдань, до переліку яких входять завдання виявлення джерел пожеж. Передбачається застосування безпілотних літаків для виявлення вогнищ чи диму. Ураховуючи просторові показники місцевості, огляд якої здійснюється рейнджерами, для виявлення джерела диму може знадобитися декілька годин. Застосування БПЛА дозволить вирішувати це завдання протягом декількох чи, максимум, десятка хвилин [6].

Є відповідний досвід застосування БПЛА в системах пожежної охорони Німеччини, Франції, Росії та інших країн.

Офіційний досвід застосування БПЛА в Україні досить обмежений. Активне застосування різноманітних аматорських БПЛА відбувалось під час ведення бойових дій у південно-східному регіоні нашої країни та продовжує відбуватися в зоні проведення антитерористичної операції. Це неодноразово висвітлювалося різноманітними ЗМІ.

На теперішній час на технічному забезпеченні українських пожежних не має спеціалізованих комплексів БПЛА, незважаючи на те, що ці засоби стали досить доступні за ціною політикою, хоча деякі приклади їх аматорського застосування є – під час пожеж під Києвом, а також в інтересах комплексного вивчення місць горіння торф'яників на Чернігівщині.

Питання можливості застосування БПЛА в сфері цивільного захисту знайшли своє відображення в низці праць наукового характеру таких авторів як: І.С.Руснак, В.В. Хижняк, В.І. Ємець [7]; С.М. Чумаченко, Л.А. Пісня, І.А. Черепньов [8] та ін.

Дослідження питання застосування БПЛА в інтересах виконання розвідки пожеж і місць їх імовірного виникнення вимагає таких дій: уточнення завдань розвідки та вимог, що до неї висуваються; визначення вимог до БПЛА як засобу ведення розвідки; визначення способів застосування БПЛА під час виконання завдань розвідки.

Розвідка пожежі – це один з надважливих видів забезпечення дій пожежно-рятувальних (пожежних) підрозділів. Метою проведення розвідки вважається отримання даних, що будуть використані для визначення ступеню загрози людям, правильної оцінки обстановки на пожежі та прийняття відповідного рішення щодо ліквідації пожежі [9, 10].

До завдань розвідки, для виконання яких доцільно застосовувати комплекси БПЛА, слід віднести: виявлення місць (незаконні звалища та накопичення пожеженебезпечного сміття, наявність великих площ сухої трави чи сухого лісу тощо) імовірного виникнення пожежі; виявлення джерел загоряння на місцевості та появи диму; встановлення місцезнаходження людей і тварин, визначення існуючої їм загрози від пожежі, а також шляхів і способів спасіння (евакуації); визначення місця та розмірів пожежі, об'єктів горіння, а також напрямів та динаміки розповсюдження вогню; спостереження за процесом гасіння пожежі; виявлення місць імовірних руйнувань та обвалень; визначення можливих шляхів і напрямів введення та переміщення сил і засобів для ліквідації пожежі; визначення необхідності евакуації матеріальних цінностей, крупного домашнього скота, шляхів і способів їх евакуації; оцінка результатів гасіння пожежі; оцінка збитків від пожеж тощо.

При виконанні завдань розвідки треба враховувати час доби та пору року, а також стан турбулентності атмосфери у тій зоні повітряного простору, де буде використовуватися БПЛА для виконання завдань розвідки.

Ефективність розвідувальних заходів буде, як завжди, залежати від виконання низки вимог, основними з яких є оперативність, безперервність, активність, достовірність і цілеспрямованість [9-11]. Реалізація зазначених вимог буде безпосередньо впливати на способи застосування БПЛА та варіанти їх корисного навантаження. У зв'язку з цим слід визначити змістовність наведених вимог.

Під оперативністю розуміється отримання необхідних даних з борта БПЛА про обстановку як можна швидше (у масштабі реального часу) в інтересах передбачення характеру розвитку пожежі та своєчасного прийняття рішення щодо використання сил і засобів для ліквідації пожежі.

Безперервність виявляється в тому, що розвідувальні дані з борта БПЛА мають поступати в масштабі реального часу протягом всього терміну його знаходження в повітряному просторі в різноманітних умовах (димка, задимленість, сніг, дощ тощо) і з урахуванням часу доби (сумерки, день, ніч) та пори року (вісна, літо, осінь, зима).

Активність передбачає широке застосування всіх існуючих БПЛА з різноманітними засобами видової розвідки (з формуванням зображення) з різних висот і ракурсів для отримання необхідних даних про пожежу та її розповсюдження, надання своєчасної допомоги людям, що знаходяться в небезпеці, а також для вирішення інших першочергових завдань.

Достовірність – це надання даних, які не викликають сумнівів, що безпосередньо обумовлюється характеристиками встановленої на борту БПЛА розвідувальної апаратури.

Цілеспрямованість полягає в спрямованості зусиль розвідки із застосуванням БПЛА на добування даних, від яких безпосередньо залежить ефективність дій сил і засобів пожежно-рятувальних (пожежних) підрозділів.

Вимоги, яким має задовольняти розвідка з використанням БПЛА, обумовлюють зміст вимог до апаратури розвідки, що встановлюється на БПЛА, та її характеристик.

Для забезпечення оперативності отримання даних з борта БПЛА має існувати радіоканал з достатньою пропускну здатністю для передавання відеозображення в масштабі реального часу на приймальній пристрій оператора БПЛА. В умовах цивільної оборони радіоканал має бути захищеним від радіоелектронного придушення засобами противника.

Безперервність надання інформації з борта БПЛА забезпечується тривалістю знаходження його у повітрі, характеристиками встановленої апаратури розвідки та

виконанням оператором усіх вимог щодо експлуатації БПЛА в повітрі. Активність розвідки буде залежати від кількості БПЛА, які одночасно будуть знаходитися у повітрі, а також професіоналізму кожного оператора по управлінню польотом БПЛА. Достовірність даних буде залежати від розрізненної здатності апаратури розвідки та правильного її застосування в умовах зміни часу доби, пори року та з урахуванням турбулентності атмосфери. Цілеспрямованість буде залежати від правильності постановки завдання на ведення розвідки із застосуванням БПЛА та професійності дій оператора БПЛА.

Для оцінки ефективності розвідки та дій оператора вся відеоінформація, що передавалась з борта БПЛА, має бути записана на наземному пункті прийому інформації на спеціальний жорсткий диск, призначений для постійного зберігання такої інформації.

Для виконання завдань розвідки можуть застосовуватися БПЛА вертолітного та літакового типів. Вертолітного (рис.1) типу БПЛА (квадрокоптери, мультикоптери тощо) доцільно використовувати в умовах невеликих за площею охоплення пожеж. БПЛА літакового типу слід використовувати для розвідки пожежного стану місцевості та в умовах, коли пожежі охоплюють великі площі (лісові пожежі, міста та села під час ведення бойових дій в межах завдань цивільної оборони тощо). При застосуванні БПЛА літакового типу (рис.2) управління ним може здійснюватися автономно чи комбіновано (на відрізок прямої видимості – дистанційне управління). При застосуванні БПЛА вертолітного типу треба мати дистанційне управління.



Рис.1 БПЛА вертолітного типу



Рис.2. БПЛА літакового типу

Засобами корисного навантаження, враховуючи час доби та пору року, а також турбулентність атмосфери, викликані погодними умовами чи димом, мають стати цифрові камери високої та невисокої розрізненності, що мають діяти, як правило, у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах довжини хвиль. Камери високої розрізненності дозволять виявляти місця загоряння та появи диму, а також виявляти людей і тварин у периметрі пожежі, що дуже актуально в умовах гасіння лісових пожеж. Камери невисокої розрізненності доцільно використовувати за умов спостереження за динамікою розповсюдження вогню. Від вимог щодо розрізненної здатності камер залежать характеристики та вартість побудови каналу передачі інформації з борта БПЛА.

У період денного часу та за умов відсутності турбулентності атмосфери (дощ, сніг, туман, димка тощо) можна використовувати камеру у видимому діапазоні довжини хвиль. У сутемках і в період нічного часу, а також за умов турбулентності атмосфери та задимленості доцільно використовувати камеру в інфрачервоному діапазоні довжини хвиль.

Способи застосування БПЛА для ведення розвідки будуть обумовлюватися завданнями, що ставляться розвідувальним групам, та умовами обстановки, що склалася (чи складається). Це може бути послідовне застосування однакових за функціональним призначенням БПЛА один за одним у залежності від допустимого часу знаходження БПЛА в повітрі для забезпечення безперервності спостереження за пожежею. Іншим способом може бути одночасне застосування декількох однакових чи різноманітних по функціональному призначенню та апаратурі розвідки БПЛА.

Висновки. Підводячи підсумок, треба наголосити, що настав час активного застосування підрозділами ДСНС комплексів БПЛА як вертолітного, так і літакового типів для оперативного вирішення низки завдань, пов'язаних з виконанням завдань розвідки пожеж. Прийняття в найближчому майбутньому до складу системи технічного забезпечення пожежно-рятувальних (пожежних) комплексів БПЛА є питанням актуальним, своєчасним і має гарну перспективу.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають відбуватися за такими напрямками: розробка чи закупівля готових комплексів БПЛА, здатних виконувати завдання, зазначені в статті; дослідження можливостей застосування спектроскопічної чи багатоспектральної апаратури на борту БПЛА для підвищення достовірності та забезпечення повноти інформації про пожежі та місця їх імовірного виникнення; створення системи підготовки фахівців з питань застосування, експлуатації та ремонту комплексів БПЛА, як окремого напрямку підготовки; створення навчального полігону для підготовки та допідготовки операторів БПЛА; створення спеціалізованих підрозділів у складі пожежно-рятувальних частин (загонів) чи професійних пожежних частин, діяльність яких буде пов'язана з використанням комплексів БПЛА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: [монография] / С. Мосов. – К.: Изд. дом “РУМБ”, 2008. – 160 с.
2. Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах сучасності / [Ю.К. Зіатдінов, М.В. Куклінський, С.П. Мосов, А.Л. Фещенко та ін.]. – К.: Вид. дім “Києво-Могилянська академія”, 2013. – 248 с.
3. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты / Н.Я. Василин. – Минск: ООО “Попурри”. – 2003. – 272 с.
4. Пожарная служба Манчестера использует дронов с инфракрасной камерой. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://maxpark.com/community/7024/content/3749908>.
5. Пожарные дроны для тушения небоскребов создали в ОАЭ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mir24.tv/news/hi-tech/11276469>.
6. Дроны: Дроны смогут хорошо послужить в Африке. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mforum.ru/news/article/113459.htm>.
7. Руснак І.С. Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан і перспективи розробки та застосування / І.С.Руснак, В.В. Хижняк, В.І. Ємець. – Наука і оборона. – 2014. – №2. – 34-39.
8. Чумаченко С.М. Аналіз ефективності застосування безпілотної авіації в надзвичайних ситуаціях агропромислового комплексу України / С.М. Чумаченко, Л.А. Пісня, І.А. Черепньов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21CO.
9. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика / И.Ф. Кимстач, П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин. – М.: Стройиздат, 1976. – 590 с.
10. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0835-12>.
11. . Мосов С.П. Класифікація видів та завдання розвідки в системі цивільної оборони України // Збірн. наук. праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ. – 2010. – №2. – С.28-32.

УДК 614.841.332

О. М. Нуянзін, к. т. н., С. В. Поздєєв, д. т. н., проф., В. М. Нуянзін, к. т. н., С. О. Сідней,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ У КАМЕРАХ ВОГНЕВИХ ПЕЧЕЙ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ НЕСУЧИХ СТІН

У даній роботі представлено результати математичного моделювання процесу випробування на вогнестійкість несучих стін у різних конфігураціях вогневих печей. Виходячи з отриманих результатів побудовано залежності значень дисперсії температури на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі протягом обчислювального експерименту. Визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні вертикальної конструкції.

Ключові слова: несуча стіна, математичне моделювання, обчислювальна газогідродинаміка (CFD), дисперсія температури.

Постановка проблеми. В умовах пожежі порушення загальної стійкості будівлі завжди відбувається внаслідок руйнування окремих елементів в каркасі споруди. Зважаючи на це, одним із важливих аспектів забезпечення пожежної безпеки у наш час є застосування будівельних конструкцій із гарантованою межею вогнестійкості.

Для визначення фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш ефективним метод вогневих випробувань [1, 2]. Тому питання удосконалення та покращення характеристик установок для вогневих випробувань є актуальним і важливим.

Оскільки випробування у вогневих печах [1, 2] здійснюється в умовах «стандартного» температурного режиму, виникає питання про рівномірність прогріву залізобетонної конструкції в залежності від конструкції та дизайну вогневої печі, так як внутрішня будова камери, розміщення пальників та отворів для відведення продуктів горіння впливає на рівномірність розподілу температури по обігрівальній поверхні вертикальних конструкцій, зокрема несучих стін.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. До вогневих печей висуваються особливі вимоги, які полягають в тому що, нагрівальний факел повинен створюватися на рідкому паливі, полум'я факела не повинне торкатися поверхонь елементів конструкцій, що нагріваються, по об'єму нагрівальної камери повинен бути рівномірний розподіл температури і температура протягом випробування в об'ємі нагрівальної камери повинна мінятися за температурним режимом пожежі, визначеним в стандарті [1]. Внаслідок того, що управління паливною системою не може забезпечити повну відповідність режиму нагріву камери печі стандартному температурному режиму пожежі, існує певна похибка реалізації режиму нагріву елемента [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відповідно до проведених раніше досліджень [3–5], недосконалість конструкції, метрологічного забезпечення та методів управління паливно-форсуночною системою створюють умови, при яких відбувається нерівномірний розподіл температур на обігрівальній поверхні конструкції.

У існуючих наукових роботах не досліджено вплив нерівномірності розподілу температур по обігрівальній поверхні залізобетонних стін протягом вогневих випробувань на достовірність їх результатів.

З огляду на це, для проведення досліджень передбачається використання існуючих конструкцій вертикальних вогневих печей і досвіду проектування подібних пристроїв [6] з урахуванням основних вимог [1, 2].

Постановка задачі та її розв'язання. Використовуючи математичний апарат та моделі описані в [3–4], опираючись на їх адекватність, доведена в [5], за допомогою комп'ютерного моделювання у даній статті було розглянуто ряд геометричних конфігурацій вертикальних вогневих печей (змінювалися розташування та кількості пальників та отворів для відведення продуктів горіння, тощо) та показано, як конструктивні особливості установки можуть впливати на рівномірність розподілу температур по обігрівальній поверхні стін. В результаті було визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні вертикальної конструкції протягом часу випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Польові моделі, позначені в зарубіжній літературі аббревіатурою CFD (computational fluid dynamics – англ. обчислювальна гідродинаміка), є більш потужним та універсальним інструментом, ніж зональні та інтегральні, оскільки ґрунтовані на зовсім іншому принципі. Переваги вказаних моделей детально відображено у [3].

На першому етапі роботи було розглянуто 2 конфігурації вогневих печей для випробувань на вогнестійкість несучих стін реально існуючих в Україні лабораторій. На даний момент вони є єдиною альтернативою для перевірки вогнестійкості несучих стін в нашій державі. Геометрична конфігурація печей зображена на рис. 1., а габаритні розміри камер – в табл. 1. Основні принципи побудови математичної моделі, створення сіткової моделі печі показано у [5].

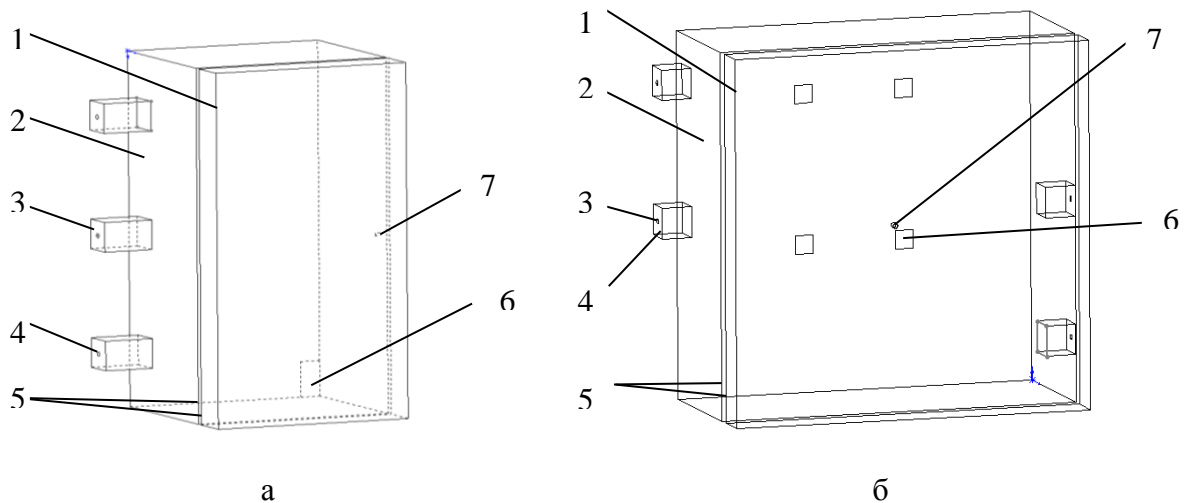


Рисунок 1 – Геометрична конфігурація вертикальних печей (а – Лабораторії 1 (зображено лише симетричну половину) та б – Лабораторії 2): 1 – огороження печі; 2 – фрагмент стіни; 3 – регіон вдуву; 4 – регіон форсунки; 5 – поверхні, що сполучаються; 6 – регіон виходу продуктів горіння; 7 – розрахункова область термопар.

Під час проведення експерименту контроль температури відбувався так, щоб температурний режим нагріву термопар по можливості точно співпадав з стандартною температурною кривою пожежі і не виходив за допустиму похибку випробування [1]. Для цього засобами контролю системи FlowVision 2.5 в інтерактивному режимі знімалися поточні дані з термопар, і при досягненні максимальної температури для певного кроку за часом, параметри процесу горіння змінювалися.

Таблиця 1 – Габаритні розміри установок для випробувань на вогнестійкість несучих стін

Назва печі	Розміри вогневої камери, мм			Кількість пальників у печі	Джерело
	ширина	висота	глибина		
Випробувальна піч Лабораторії 1	3000	3000	1200	6	[5]
Випробувальна піч Лабораторії 2	3000	3000	1500	4	

Відповідно до проведених обчислювальних експериментів у камерах вогневих печей існує суттєвий перепад температур по вертикалі, менший у горизонтальному напрямку. Це можна пояснити базовими фізичними законами конвективного перенесення тепла [6].

Отримані результати моделювання випробувань несучих стін засвідчують, що не всі показники температур, контрольовані в камері, не перевищили допустиму похибку випробувань. Різниця температур наприкінці розрахунку в різних частинах камери печі становить 140 °С для Лабораторії 1 та 156 °С для Лабораторії 2 (табл. 2). Необхідно зазначити, що температура 945 °С у верхній частині камери печі Лабораторії 2 була досягнута вже на 40-й хвилині випробувань. Навіть якщо врахувати похибку математичного моделювання за допомогою комп'ютерної програми, то результат залишається суттєвим.

Під час обчислювального експерименту досліджено інертність термомпари. Для цього в камері змодельованих установок, поряд із моделлю термомпари на відстані 50 мм, організовано контроль температури. Порівняно результати показників термомпари та дійсної температури.

У камерах печей температура безпосередньо поряд із термомпарою відрізняється від значень термомпари ($\Delta T_{п1} \approx 13^\circ\text{C}$, $\Delta T_{п2} \approx 14^\circ\text{C}$). Отже, якщо врахувати похибку термомпари (а це $\leq 15^\circ\text{C}$ [1]), то сумарна похибка може становити 27 – 30 °С. Оскільки випробування проходять протягом тривалого часу, це позначається на достовірності й точності отриманих результатів.

Температура в приарматурному шарі залізобетонних конструкцій вогневих печей на 60-й хвилині досліду була розподілена нерівномірно (табл. 3). Різниця температур дорівнює 31 °С для Лабораторії 1 та 129 °С для Лабораторії 2. Температура 226°С у верхній частині приарматурного шару конструкції, що досліджувалась у Лабораторії 2 була досягнута на 43-й хвилині випробувань, а в середній частині камери – на 53-й.

За допомогою засобів комп'ютерної газодинаміки використаного програмного комплексу було розглянуто розподіл температур на обігрівальній поверхні залізобетонних конструкцій під час випробувань на вогнестійкість. Поверхня стін нерівномірно прогривається протягом усього часу випробувань. Градієнт температур є суттєвим, а це не може не впливати на результати випробувань [5].

Аналіз попередніх розрахунків спонукає до висновку про те, що вдосконалення установок для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій належить до актуальних питань, оскільки в наявних вогневих печах установки істотно відрізняються геометричною конфігурацією, видом паливно-форсункової системи, схемами розташування й конструкцією вимірювальної арматури. Це потенційно призведе до того, що випробувальні установки даватимуть результати, які відрізняються на 30 % і більше. У такому разі не можна гарантувати відповідність меж вогнестійкості випробувальних конструкцій чинним нормативам. За цих умов суттєво знижується рівень безпеки людей і матеріальних цінностей у будівлях та спорудах.

У наступному етапі роботи було розглянуто ряд конфігурацій вогневих печей установок для випробування вертикальних будівельних конструкцій. Кожній з конфігурацій присвоєно одну з літер кирилиці. Для оцінки релевантності роботи змодельованих конструкцій було проаналізовано наступні дані:

- розподіл температур по поверхні конструкції на 60-й хвилині випробувань [7];
- значення дисперсії температур на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту та графік зміни їх у часі;
- графік різниці між максимальною та мінімальною температури на поверхні конструкції протягом усього часу обчислювального експерименту у моделях.

На рис. 1 показано геометричні особливості розглянутих конфігурацій установок для проведення вогневих випробувань.

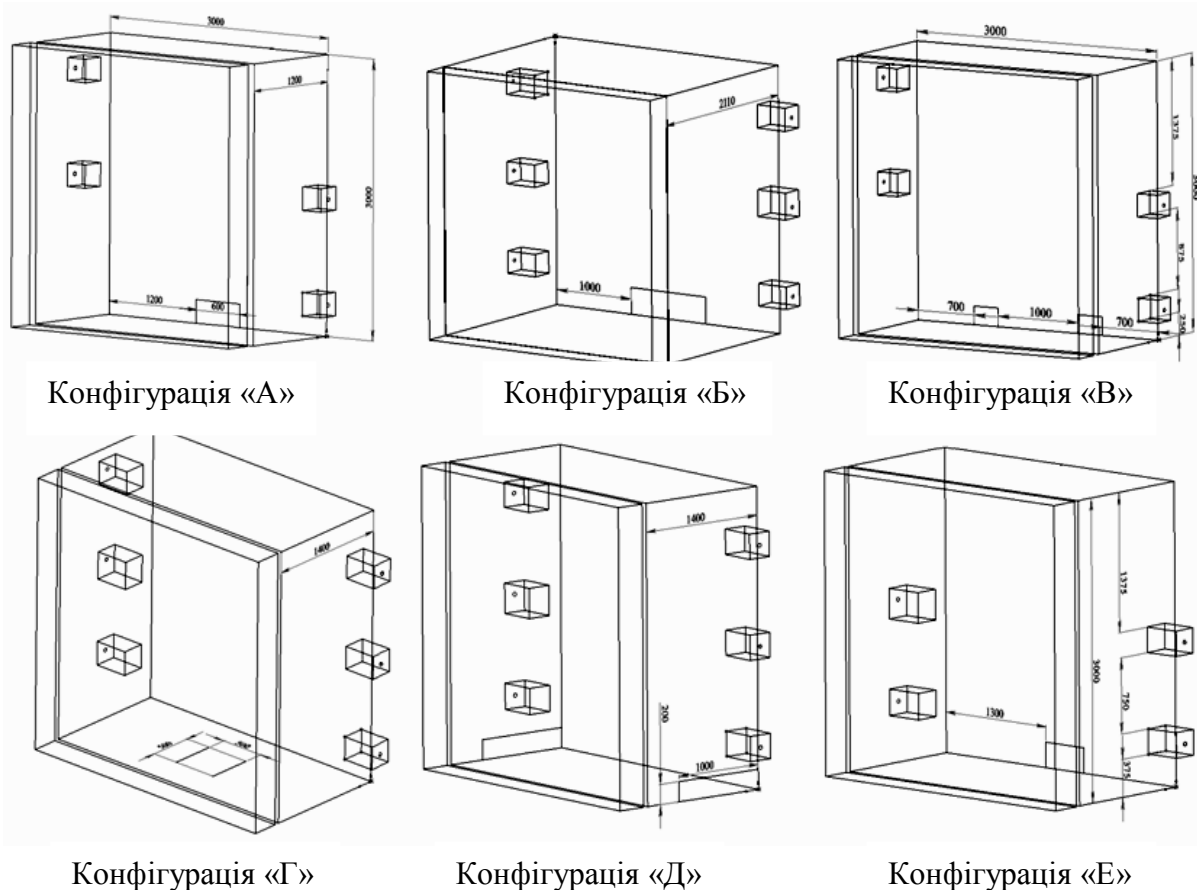


Рисунок 2 – Конфігурації установок для проведення випробувань на вогнестійкість несучих стін.

Конфігурація «А» (рис. 2-а). Змінено розміри, кількість та розташування отворів для відведення продуктів горіння.

У конфігурації «Б» (рис. 2-б). Збільшено кількість пальників; змінено розміри, кількість та розташування отворів для відведення продуктів горіння, збільшено глибину печі у порівнянні з вихідною конфігурацією [3].

Конфігурація «В» (рис. 2-в). Додано додаткові отвори для відведення продуктів горіння, крім того, зменшено розмір отвору відносно початкової конфігурації [3].

Для більш рівномірного розподілу температур по вертикалі було створено конфігурацію «Г» (рис. 2-г). У якій отвір для відведення продуктів горіння знаходиться у дні печі.

Конфігурація «Д» (рис. 2-д). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, додано додаткові пальники, які знаходяться на одному рівні з іншими пальниками.

Конфігурація «Е» (рис. 2-е). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, змінено розміщення пальників.

На рис. 3 показано розподіл температур по поверхні конструкції у кожній з конфігурацій на 60-й хвилині випробувань.

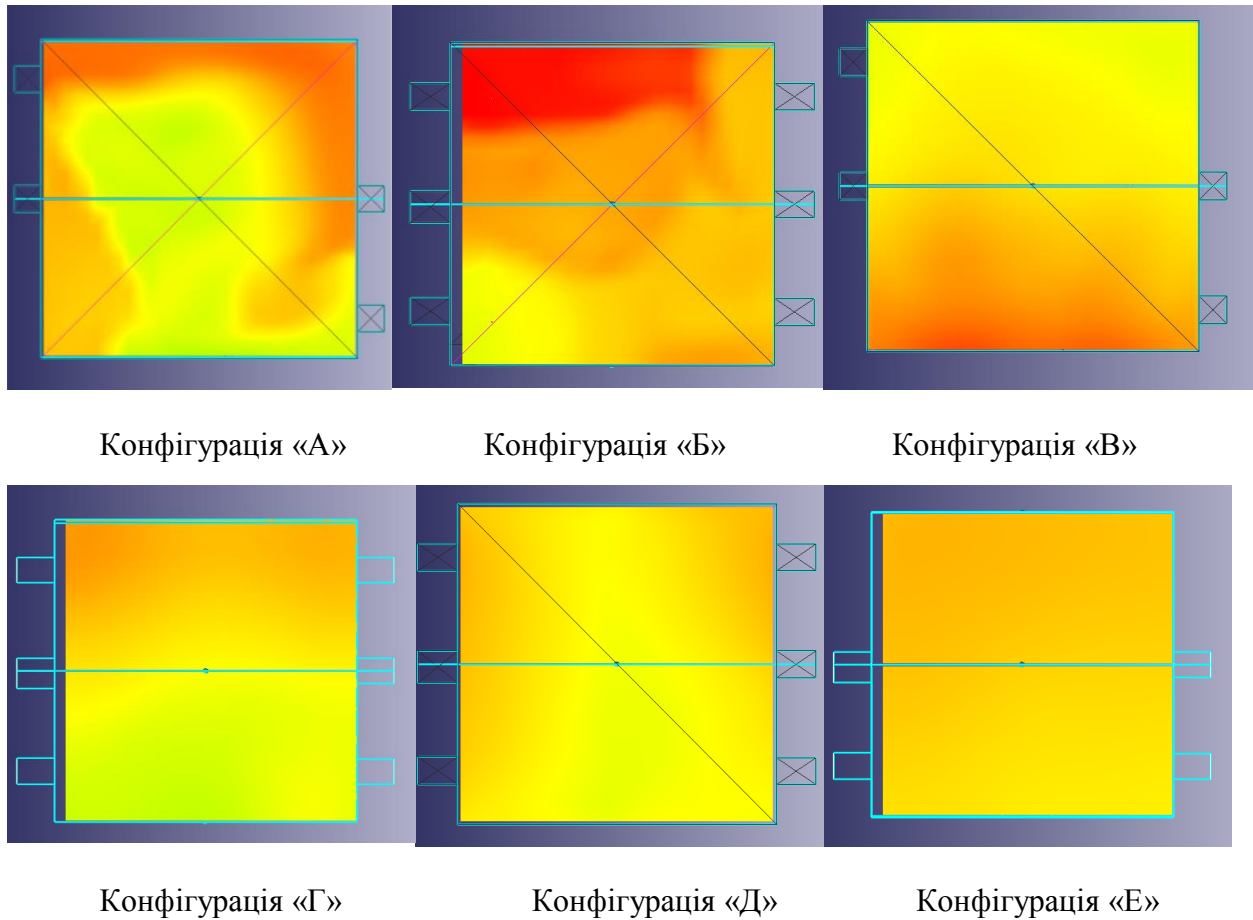


Рисунок 3 – Градієнт температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

На наш погляд основними недоліками конфігурації «А» (рис. 2-а, рис. 3-а) є, порівняно з іншими конфігураціями, невеликий об'єм камери печі, недосконале розташування отворів для відведення продуктів горіння. За рахунок цього, залізобетонна конструкція прогривається нерівномірно. Конструкція прогривається слабше у середній частині камери печі та над отворами для відведення продуктів горіння.

Змінивши конструкцію внутрішнього простору камери установки (рис. 2-б) температура ще менш рівномірно розподілилось по обігрівальній поверхні плити (рис. 3-б). Проте, відбувся більш характерний розподіл температур по вертикалі.

У конфігурації «В» (рис. 2-в) було отримано більш рівномірне розподілення температур (рис. 3-в) у порівнянні з конфігураціями «А» та «Б», але через розміщення отворів для відведення продуктів горіння ближче до пальників, але конвективно потоки також були направлені у бік означених отворів і більша температура спостерігалась у цій області.

Як видно з рис. 3-г отвір у середній частині дна печі привів до більшої рівномірності прогріву конструкції, в порівнянні з конфігурацією «В». Тому, дослідження роботи конфігурацій вирішено було продовжити.

Наступними у нашому дослідженні розподілу температур стали конфігурації «Е» (рис. 2-е) та «Д» (рис. 2-ж). Переваги конфігурації «Е» у тому, що нагрів відбувається за допомогою 4-х пальників, але їх розміщення змінене, у порівнянні з вихідною конфігурацією (рис. 2 – рис. 3).

Наступним етапом дослідження стало визначення значення дисперсії температур на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту, після чого побудовано графік зміни її у часі.

Засобами комп'ютерної газогідродинаміки CFD FlowVision 2.5 було створено заливки температури на обігрівальній поверхні несучої стіни та отримано розподіл температур на кожній хвилині випробувань для кожної конфігурації [7]. У заливках температур розміщені від 6000 до 7500 комірок (в залежності від особливостей конфігурації), розподілені рівномірно по поверхні конструкції, у яких знаходяться дані щодо температури у будь-який час протягом чисельного дослідження. Опрацювавши ці дані, було розраховано дисперсію температур:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n} \quad (1),$$

де n – кількість осередків значень температури, T_i - значення температури осередку, \bar{T} - середнє значення температури на поверхні стіни.

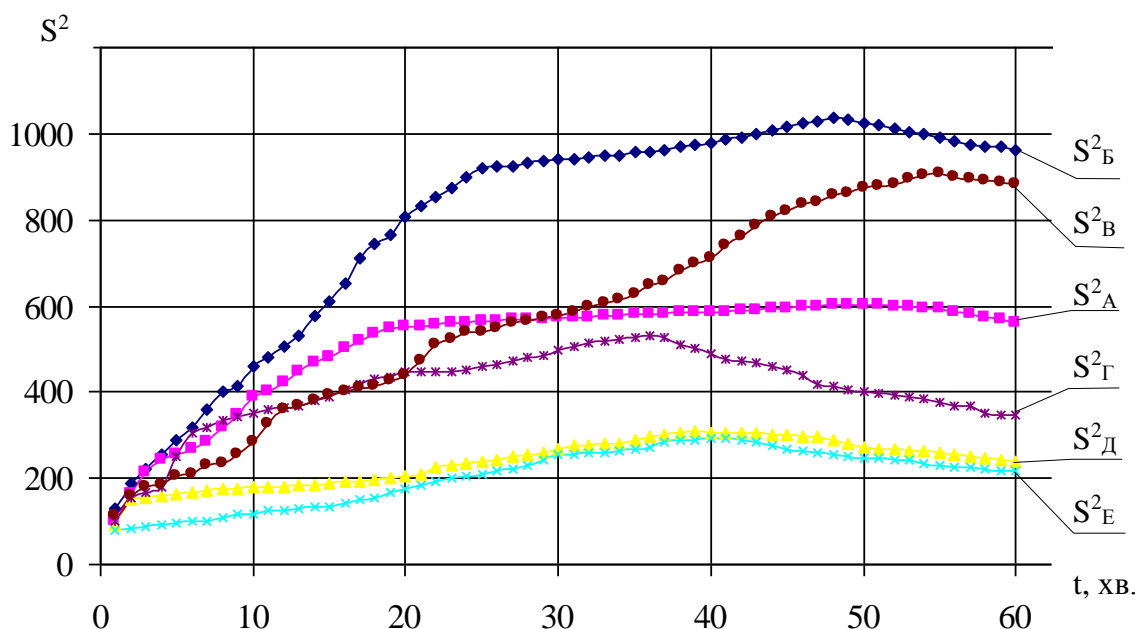


Рисунок 4 – Дисперсія температур по обігрівальній поверхні несучої стіни під час обчислювального експерименту.

У отриманих графіках існує певна особливість: у більшості кривих, які відображають числове значення дисперсії температур, існує екстремум. Після початкової фази, зростання значення дисперсії, вона поступово починає зменшуватись. Це можна пояснити, якщо розглянути стандартну температурну криву пожежі [1]. Більш інтенсивна зміна температури в камері вогневої печі на початкових хвилинах випробувань і поступове зменшення різниці граничних значень максимуму і мінімуму. Тому, ми обмежили дослідження 60-тою хвилиною розрахунку (рис. 4).

Ще однією виділеною нами особливістю є те, що чим менше значення екстремуму, тим раніше відносно часової кривої він досягається.

Якщо детально розглянути створені конфігурації, то найменші значення дисперсій на усьому часовому проміжку спостерігаються у конфігураціях «Е» та «Д». Найбільше значення дисперсії у конфігурації «Е» спостерігається на 40-й хвилині випробувань, у конфігурації

«Д» на 41-й хвилині. В цей же час, у конфігураціях «А» та «Б» максимальне значення дисперсії було досягнуто майже на 60-й хвилині.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє значення часу, на якому екстремум досягається, 45-та – 50-та хвилина випробувань, коли допустима різниця між максимумом та мінімумом допустимою температурою в камері печі зменшується [1].

Виходячи з отриманих даних, можемо зробити висновки.

Висновки. У даній роботі показано результати чисельного моделювання ряду комп'ютерних конфігурацій установки для випробування несучих стін. Виходячи з отриманих кривих значень дисперсії температури на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту (рис. 5) визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні несучої стіни, що дозволяє зменшити похибку, яка виникає за рахунок нерівномірності розподілу температур на обігрівальній поверхні конструкцій під час випробувань на вогнестійкість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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).
2. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002. - [Чинний від 2003-05-01]. - К.: Держпожбезпека, 2003. – 87с. – (Державні будівельні норми).
3. Аналіз існуючих математичних моделей тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість несучих стін / Нуянзін О. М., Поздєєв С. В., Сідней С. О. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2015. – № 18. – С. 91 – 100.
4. Влияние дисперсии температур на обогреваемых поверхностях горизонтальных железобетонных строительных конструкций на значение их предела огнестойкости во время испытаний этих конструкций в огневых печах / Нуянзін О. М., Сідней С. О., Поздєєв С.В. // Чрезвычайные ситуации: образование и наука : международный научно-практический журнал. – Гомель : ГИИ, МЧС РБ 2015. – , Том 15, № 1. С. 158 – 164.
5. Вплив конструктивних особливостей вогневих печей на достовірність результатів випробувань стін на вогнестійкість / Сідней С. О., Нуянзін О. М., Поздєєв С.В.// Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки : зб. наук. праць. – Київ : УкрНДІЦЗ, 2015. – № 1 (31). – С. 4–12.
6. Зобнин Б. Ф. Нагревательные печи. Теория и расчет / Б. Ф. Зобнин. – М. : Машиностроение, 1964. – 312 с.
7. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.

УДК 624.012

*В. И. Осипенко, д. т. н., проф., В. К. Словинский, к. т. н.,
А. В. Поздеев, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. и. н.,*

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

В статье рассмотрены вопросы реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки. Применяя разработанный комплекс процедур для реализации разработанного метода получен предел огнестойкости железобетонной колонны. Показано, что разработанный экспериментально-расчетный метод является эффективным для определения пределов огнестойкости несущих железобетонных строительных конструкций.

Ключевые слова: испытание на огнестойкость, огневая печь, железобетонная колонна, экспериментально-расчетный метод, интерполяция, температурное поле.

Введение. При реализации испытаний железобетонных колонн на огнестойкость возникают определенные технические сложности, которые заключаются в несоответствии условий закрепления и нагрузки колонны, реализуемой в установках для испытаний закреплению и нагрузкам в соответствующей конструкции, несоответствию габаритных размеров колонны-образца для испытаний тем же параметрам реальной колонны и т.д. Поэтому стандартами Украины для испытаний колонн на огнестойкость [1, 2] не запрещаются испытания без приложения механических нагрузок, но в то же время указанный стандарт не дает обоснованной методики определения предела огнестойкости железобетонных колонн на основе таких испытаний.

Анализ публикаций [4 – 6], касающихся расчетных методов проектирования железобетонных колонн для их соответствия требованиям противопожарных норм, показывает что данные методы дают возможность комплексно учесть все перечисленные особенности, что делает перспективным их сочетание с экспериментальными методами.

Цель исследований заключается в разработке эффективного экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки.

Основной материал исследований.

В работе [4] предложен метод, который основан на математической интерпретации результатов огневых испытаний железобетонных колонн без приложения механической нагрузки. Данными, подлежащими интерпретации, являются значения температур, измеренные во внутренних слоях колонн, подвергнутых огневому воздействию в соответствии со стандартным температурным режимом пожара. Реализация метода происходит по алгоритму, блок-схема которого показана на рис. 1.

Измерения температуры при испытаниях происходят при расположении термодатчиков в сечении согласно схеме на рис.2.

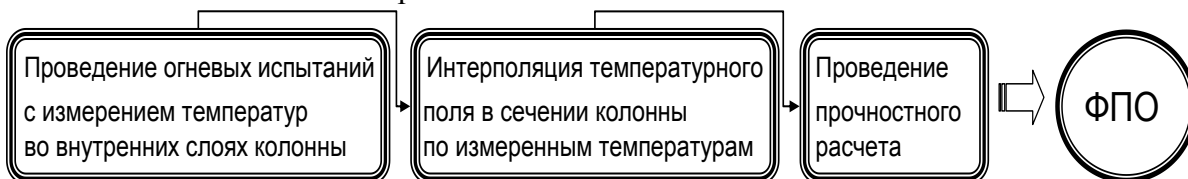


Рисунок 1 – Алгоритм реализации экспериментально-расчетного метода оценки огнестойкости железобетонных колонн.

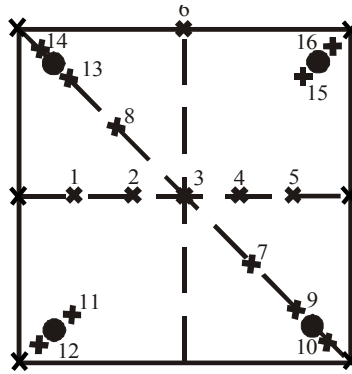


Рисунок 2 – Расположение термопар в сечениях железобетонной колонны (1 – 16 – номера контрольных точек в сечении).

Наши исследования [4] показали, что эффективными методами интерполяции температурного поля, являются методы, основанные на представлении температурных распределений по центральным горизонтали, вертикали и диагонали сечения параболлами, которые могут в общем виде описаны выражением:

$$T(i)|_{x \leq 0} = T_0 + (T_{\max} - T_0) \left[\frac{i}{n} \right]^q, \quad (1)$$

где T_0 – минимальная температура, °С; T_{\max} – максимальная температура, °С; i – номер контрольной точки в плоскости сечения; n – количество контрольных точек; q – показатель степени параболлы.

Проведение интерполяции может быть осуществлено тремя способами. Интерполяцию по первому способу предлагается проводить по аппроксимации линий, образованных фронтальными сечениями поверхности температурного поля, параболическими зависимостями. По второму способу интерполяция осуществляется с использованием аппроксимации образующих поверхности температурного распределения параболическими зависимостями. Третий способ заключается в аппроксимации линий изотерм афинными кривыми и их построении в каждой точке дискретизированного сечения по зависимостям, определяемых выражением:

$$y(x) = q \left(1 - \left(\frac{x}{q} \right)^p \right)^{1/p}, \quad (2)$$

где p и q – коэффициенты, подлежащие определению при приближении поверхности распределения температур.

Задача приближения поверхности распределения температур решается путем минимизации среднеквадратической невязки.

Для изучения эффективности методов интерполяции были проведены огневые испытания двух железобетонных колонн $500 \times 500 \times 3000$ из тяжелого бетона на гранитном заполнителе в огневой печи. Схема и общий вид испытательной установки приведена на рис. 3 и рис. 4.

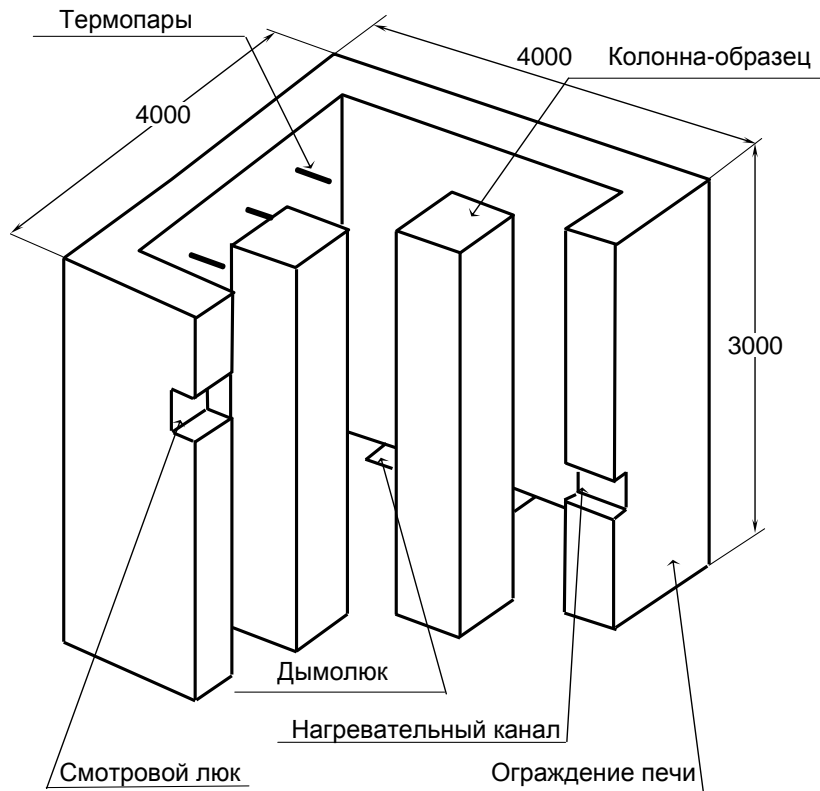


Рисунок 4 – Схема испытательной установки



Рисунок 5 – Общий вид испытательной установки

Схема армирования колонны и схема расположения термопар показана на рис. 6.

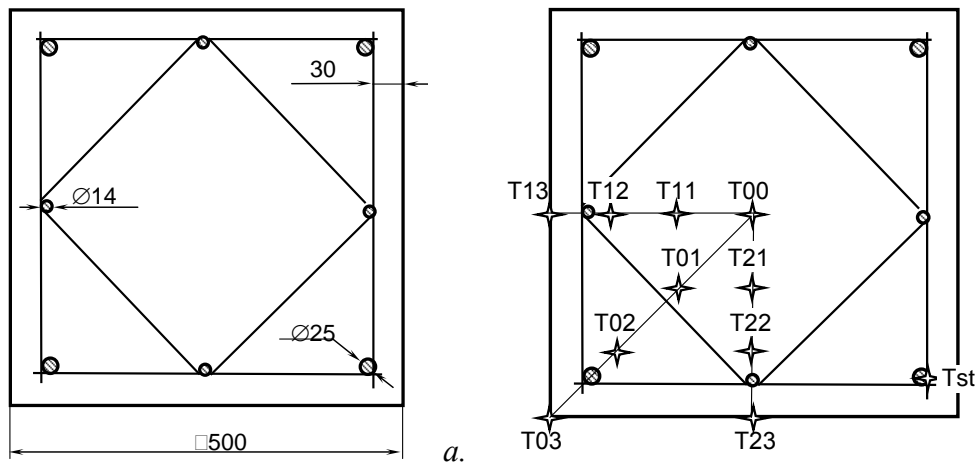


Рисунок 6 – Схема армирования (а) и схема расположения термодатчиков (б) железобетонной колонны.

На рис. 7 показан общий вид образцов перед испытаниями.



Рисунок 7 – Общий вид образцов перед испытаниями.

На рис. 8 показан температурный режим испытаний железобетонных колонн.

Температурные показатели во внутренних слоях сечения колонны показаны на рис. 9.

Используя разработанные алгоритмы, были получены параболические распределения температур в сечении в соответствии с теоретическими представлениями о теплопередаче в железобетонных конструкциях. На рис 10 представлены результаты расчета по 1 и 3 способу. 2 способ дал результаты, которые не соотносятся с теоретическими представлениями о теплопередаче, поэтому в данной статье результаты расчета с его применением не представлены.

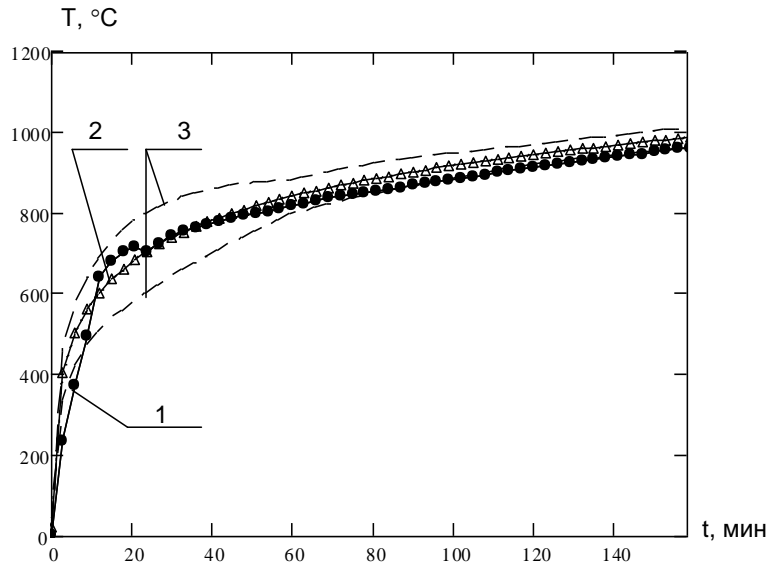


Рисунок 8 – Температурный режим испытаний в печи:

1 – средняя температура в печи, 2 – стандартная температурная кривая, 3 – допустимые отклонения температурного режима

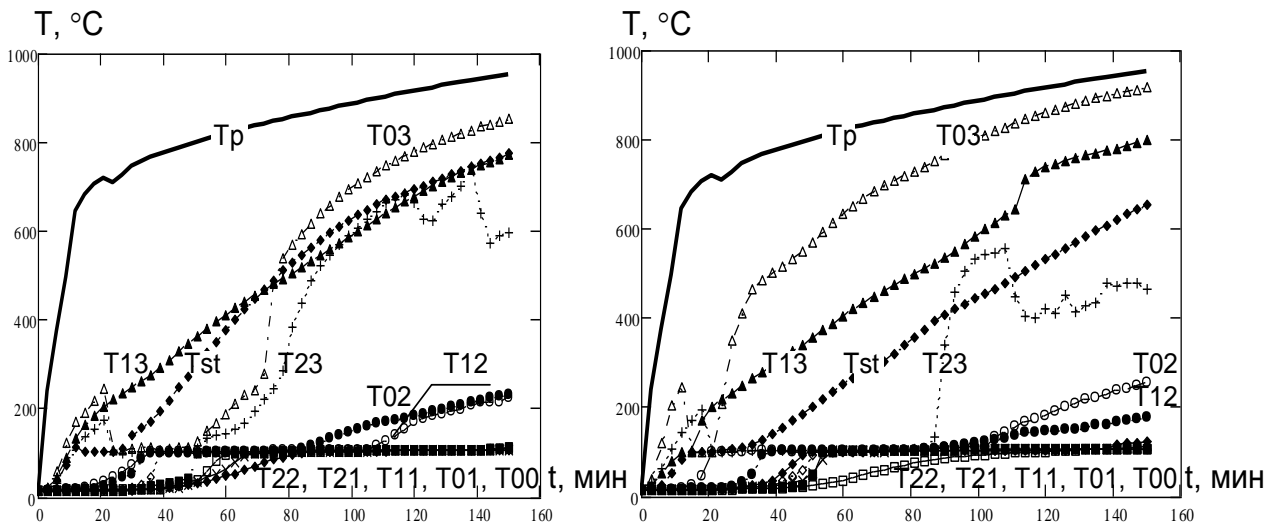


Рисунок 9 – Результаты измерения температур в колонне.

При сравнении результатов, полученных данными методами, видно, что они подобны. Первый способ позволяет учесть неоднородность огневого воздействия, а второй менее восприимчив к случайным воздействиям в эксперименте типа чрезмерного парообразования из-за плохой сушки колонн-образцов. Для более подробного анализа были рассмотрены отклонения расчетных данных от результатов экспериментов. В табл. 1 приведены результаты проведенного сравнительного анализа.

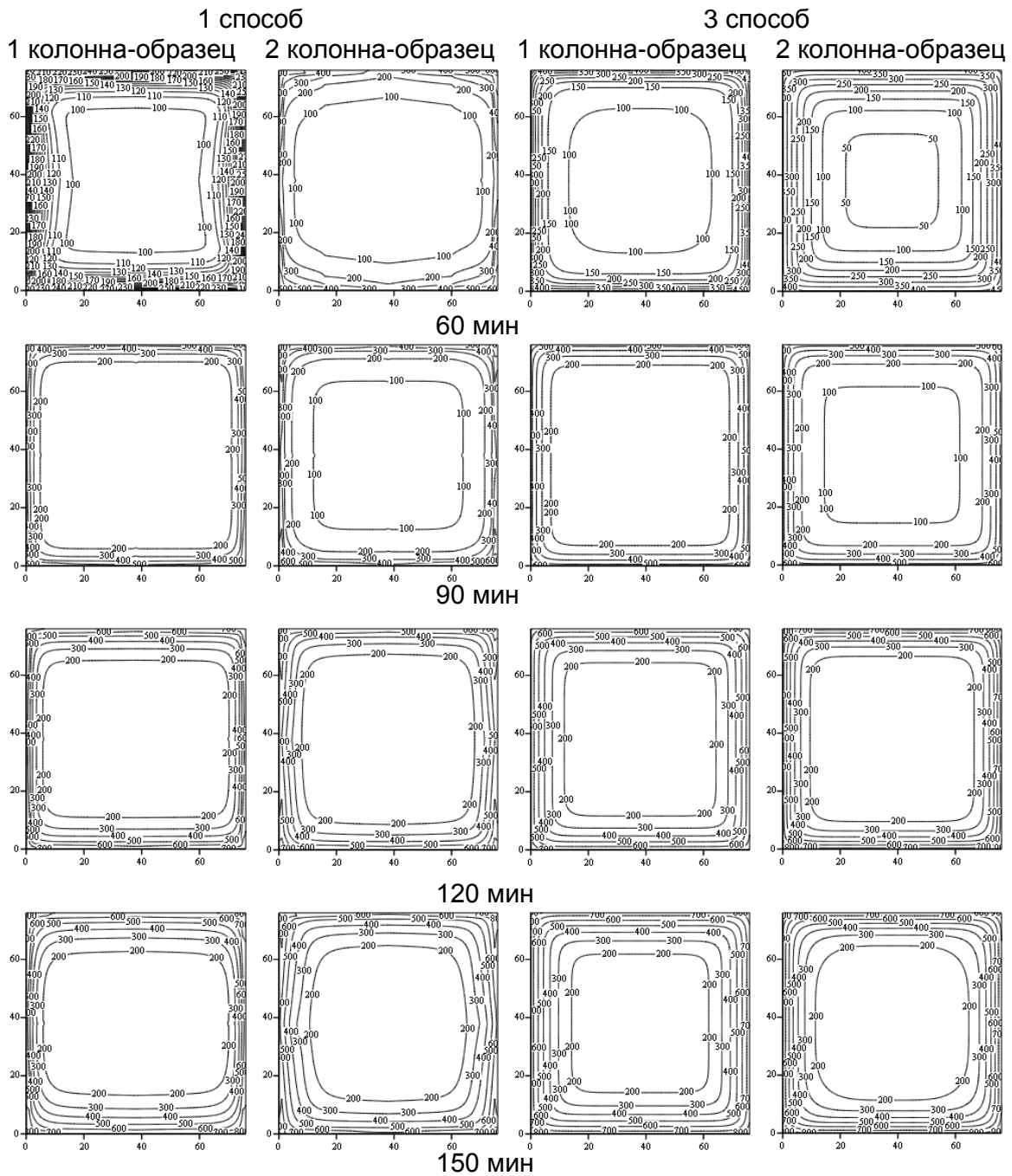


Рисунок 10 – Результаты измерения температур (°C) в колонне.

Таблица 1 – Данные сравнительного анализа результатов интерполяции по разным методам

Способ и интерполяции	Максимальное отклонение, °C	Среднее относительное отклонение, %	Среднеквадратичное отклонение, °C
1 метод	75	7,8	26,3
3 метод	89	6,5	25,5

Полученные результаты интерполяции являются адекватными и их можно использовать для расчета предела огнестойкости согласно одному из методов анализ прочностной задачи в качестве такого метода предлагается использовать рекомендации евронорм Eurocode 2 [5] пункта В3 дополнения В. Используя данный алгоритм расчета, был построен график критической силы в каждый момент времени испытания. При ее сравнении

с действующей силой, согласно расчетной схеме конструкции было выявлено, что предел огнестойкости не наступает. На рис. 11 приведенные построенные графики.

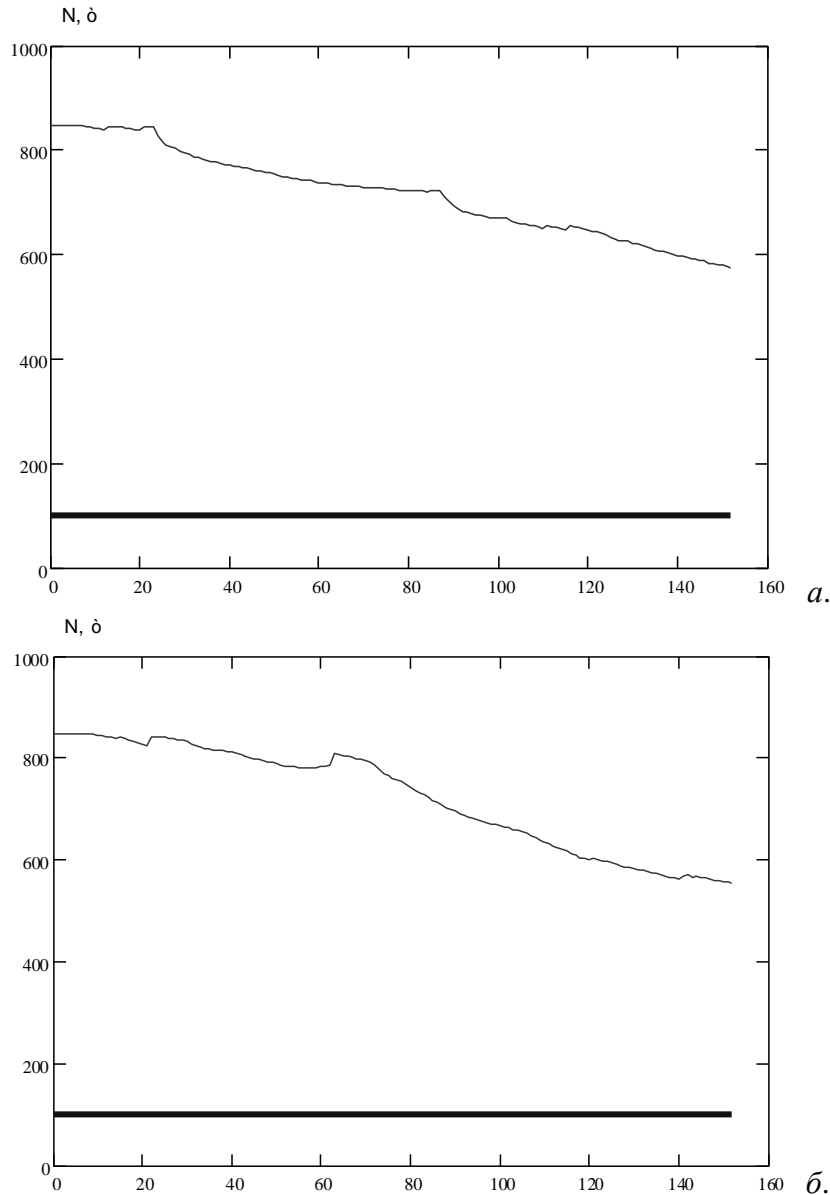


Рисунок 11 – Несущая способность колонны-образца №1 (а) и колонны-образца №2 (б).

Выводы.

1. В результате проведенных исследований был разработан экспериментально-расчетный метод оценки огнестойкости железобетонных колонн на основе их огневых испытаний без приложения механической нагрузки

2. Разработаны эффективные способы интерполяции для приближения температурных полей в сечениях железобетонных колонн при их огневых испытаниях по данным температурных измерений во внутренних слоях испытываемых колонн.

3. Исследована адекватность результатов, полученных при расчете, показано, что они являются адекватными для определения предела огнестойкости железобетонных колонн при этом выделены наиболее эффективные способы интерполяции.

4. Проведены огневые испытания железобетонных колонн и на их основе исследована устойчивость методов интерполяции в результате чего выделен наиболее эффективный метод итерполяции, который основан на аппроксимации изотерм поля.

5. На основе интерпретации полученных данных в ходе огневых испытаний был определен предел огнестойкости железобетонной колонны, показывающий эффективность разработанного метода.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
2. ДСТУ Б В.1.1-14-98. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
3. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
4. Поздеев С.В., Василенко І.Р., Кузьмін О.Г., Словінський В.К.// Тези доповідей конференції «Метод інтерпретації результатів вогневих випробувань залізобетонних колон для оцінки їх вогнестійкості». Матеріали XII Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту» 15 Всеукраїнської науково-практичної конференції. 24-25 вересня 2013 р. – Київ: Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, 2013 – С. 25-26.
5. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
6. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / Милованов А.Ф. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
7. Поздеев С.В. Исследование эффективности математических моделей для решения теплотехнической задачи при определении огнестойкости железобетонных конструкций / Поздеев С.В., Поклонский В.Г., Некора О.В., Поздеев А.В. // Строительство, материаловедение, машиностроение : [сб. науч. трудов]. – Днепропетровск: ПГАСА, 2010. – Вып. 52 : [серия «Безопасность жизнедеятельности»]. – С. 44-48.

УДК 614.841.41

*С. В. Поздєєв, д. т. н., проф., Ю. А. Отрош, к. т. н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,
В. В. Нижник, к. т. н., с. н. с., О. П. Борис,
Науково-дослідний інститут цивільного захисту*

ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ САМОНЕСУЧОЇ СТІНИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОДУЛІВ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Викладено методику оцінки класу вогнестійкості самонесучих залізобетонних стін. Розвинута методологія застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих елементів та методу кінцевих різниць, для забезпечення пожежної безпеки залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива.

Ключові слова: аварійні ситуації, пожежа, клас вогнестійкості, вогнестійкість, модулі зберігання, залізобетонна перегородка, табличний метод, метод кінцевих різниць, цілісність, теплопровідність, теплоємність.

Постановка проблеми. На об'єктах зберігання відпрацьованого ядерного палива, має бути розглянутий випадок виникнення та розвитку пожежі у внутрішньому просторі залізобетонних блоків. Потрібно зазначити, що об'єкт не може бути класифікований з огляду на чинну нормативну базу України щодо його ступеня вогнестійкості, зважаючи на відсутність необхідності забезпечення евакуації людей, гарантування безпеки рятувальних підрозділів з врахуванням ризиків обвалення конструкцій. Для цього достатньо забезпечити вогнестійкість за I ступенем вогнестійкості згідно із класифікацією класів вогнестійкості будівельних конструкцій за ДБН В. 1.1-7-2002. Дані вимоги встановлені згідно із п 4.1 Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2)».

Для оцінки вогнестійкості конструкцій пропонується розроблена і відповідним чином затверджена методика оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2. До таких елементів належать зовнішня залізобетонна несуча стіна, зовнішня залізобетонна самонесуча стіна, залізобетонна ненесуча стіна (перегородка) та плита залізобетонного перекриття.

Пропонуєма методика базується на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою Об'єднаної Європи, а також узгоджується із результатами досліджень вітчизняних та закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять у основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної галузі.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи – розвиток методології застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих елементів та методу кінцевих різниць, на прикладі оцінки вогнестійкості самонесучої залізобетонної стіни, забезпечення пожежної безпеки залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Зовнішня торцева стіна не має навантаження з боку залізобетонних плит покриття і не є несучою. Дана стіна є монолітною із залізобетонною подушкою, що є основою блоку сховища. На рис. 1 показана конструкція досліджуваної стіни.

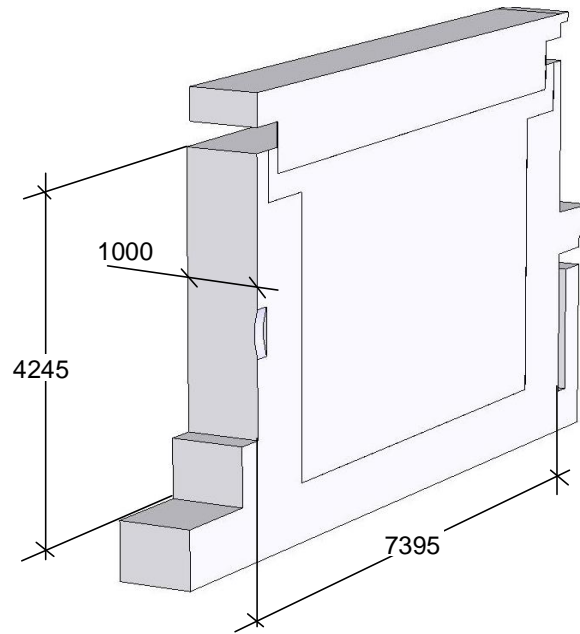


Рисунок 1. – Фрагмент стіни, яка піддається тепловому впливу пожежі, із небезпечним перерізом, що використовується для розрахунку.

При розгляді торцевої самонесучої стіни достатньо розглянути її фрагмент. На рис. 2 показана геометрична конфігурація та схема розташування арматури вибраного фрагменту.

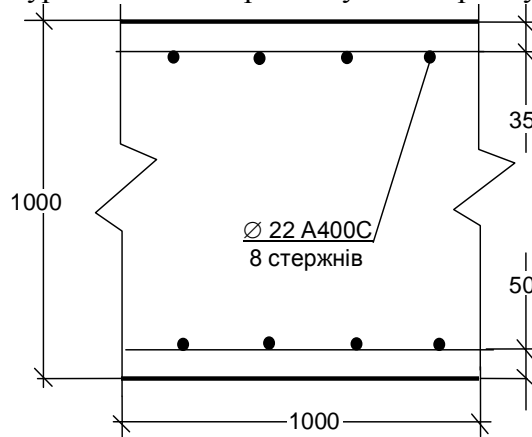


Рисунок 2. – Фрагмент торцевої самонесучої стіни, що використовується для розрахунку із схемою розташування арматури.

В табл. 1. наведені дані щодо арматури та бетону залізобетонної стіни.

Таблиця 1 – Характеристики бетону та арматури поперечного залізобетонної стіни

Параметри арматури	Клас бетону
$\varnothing 22 \text{ A400C}$	C 40/45 (B40)

Відповідно до Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2) дана стіна повинна відповідати вимогам до подібних стін за I ступенем вогнестійкості згідно із ДБН В 1.1.7 – 2002, тобто має відповідати класу вогнестійкості REI 75.

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни використана розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду рекомендована чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6].

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри граничних умов для залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² °С)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти	ε		0,7	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °С)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць.

Для міцнісного розрахунку застосовується розрахункова схема, що наведена на рис. 3.

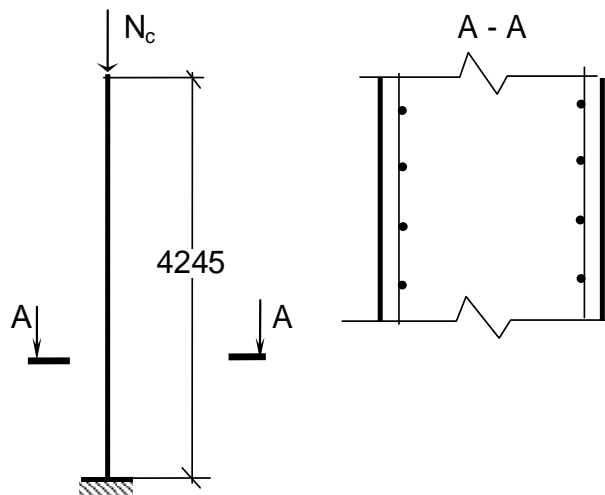


Рисунок 3 – Розрахункова схема зовнішньої самонесучої стіни.

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі.

Згідно із розрахунковою схемою, у небезпечному перерізі внизу фрагменту стіни він навантажений розподіленим навантаженням за рахунок власної ваги, яке складає $Q_{wa}=97.65$ кН/м².

Теплофізичні властивості бетону залізобетонної самонесучої стіни наведені у табл.3.

Згідно із технічною документацією, що надана замовником самонесуча зовнішня стіна виготовлена з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу С40/45 (В40). Арматурний каркас виготовлений з арматурної сталі класу міцності А400С. Згідно з даними вимогами міцнісні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 4.

Для врахування зниження міцності бетону під час його нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t} \quad (1)$$

де $k_{c,t}(\theta)$ – коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

Таблиця 3 – Теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої самонесучої стіни

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°С)	Густина, кг/м ³
Важкий бетон на силікатному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100}\right)^2$	900ρ при 20 °С ≤ θ ≤ 100 °С, (900+(θ-100))ρ при 100°С < θ ≤ 200°С, (1000+0,5(θ-100))ρ при 200°С < θ ≤ 400°С, 1100ρ при 400°С < θ ≤ 1200°С	2300

Таблиця 4 – Міцнісні властивості бетону та арматурної сталі

Матеріал	Клас міцності	Позначення	Нормативна міцність, МПа
Бетон	C 40/45	$f_{ck,t}$	40
Арматурна сталь	A400C	$f_{yk,t}$	400

При врахуванні нелінійності деформування бетону застосовується спеціальна діаграма, яка визначається формулами:

$$\text{при } 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1,T}, \sigma(\varepsilon_c) = \frac{3\varepsilon_c f_{ck,t}(\theta)}{\varepsilon_{c1,T} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1,T}} \right)^3 \right)}, \quad (2)$$

$$\text{при } \varepsilon_{c1,T} < \varepsilon_c < \varepsilon_{cu1,\theta}, \sigma(\varepsilon_c) = f_{ck,t}(\theta) - \frac{f_{ck,t}(\theta)(\varepsilon_c - \varepsilon_{c1,T})}{\varepsilon_{cu1,t} - \varepsilon_{c1,T}},$$

ε_c – відносна деформація бетону,

$\varepsilon_{c1,T}$ – відносна деформація, до якої діаграма деформування зростає,

$\varepsilon_{cu1,\theta}$ – гранична відносна деформація.

Для врахування зниження міцності арматурної сталі під час її нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{sy,t}(\theta) = k_s(\theta) f_{yk,t}, \quad (3)$$

де $k_s(\theta)$ – коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

При врахуванні нелінійних деформацій арматурної сталі також визначається зміна межі пропорційності у залежності від температури. Всі дані параметри можна визначити з табл. 5.

Для діаграм деформування арматурної сталі робочі формули мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} & \quad \sigma_s = E_s \varepsilon_s \\ \text{при } \varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} & \quad \sigma_s = f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\ \text{при } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} & \quad \sigma_s = f_{sy,\theta}, \\ \text{при } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} & \quad \sigma_s = f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\ \text{при } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_s & \quad \sigma_s = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де a, b, c – параметри, визначувані за формулами:

$$a^2 = (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,\theta}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} + c^2$$

$$c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})} \quad (5)$$

де ε_{sy} – деформація, при якій настає межа текучості,
 ε_{st} – деформація, при якій починається спадна ділянка діаграми,
 $f_{sp,\theta}$ – границя пропорційності сталі,
 $E_{s,\theta}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагрівання.

Використовуючи дані щодо міцності, були побудовані діаграми деформування бетону та арматурної сталі. Побудовані діаграми наведені на рис. 4.

Таблиця 5 – Значення параметрів діаграми «напруження–деформація» гарячекатаної та холодно тягнутої арматурної сталі при підвищених температурах

Температура сталі θ [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$E_{s,\theta}/E_s$	
	гарячекатана	холоднотягнута	гарячекатана	холоднотягнута	гарячекатана	холоднотягнута
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

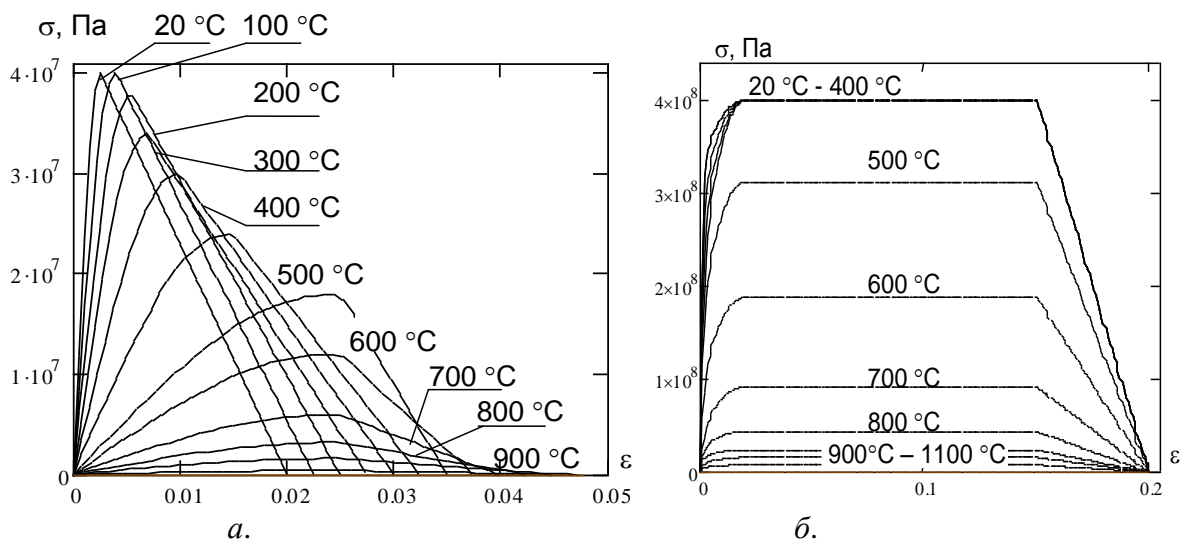


Рисунок 4 – Діаграми деформування бетону (а) та арматурної сталі (б).

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003.

На рис. 5 представлені результати у вигляді графіків температури нагріву контрольних точок перерізу зовнішньої самонесучої стіни у залежності від часу пожежі.

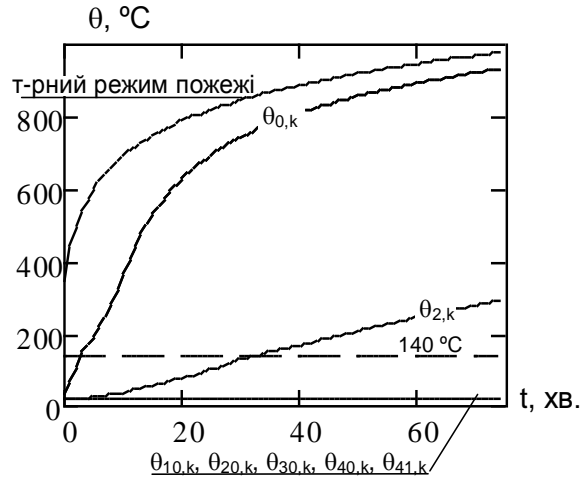


Рисунок 5 – Часові залежності прогріву внутрішніх шарів зовнішньої самонесучої стіни.

На рис. 6 показані розподіли температури по перерізу зовнішньої самонесучої стіни у різні моменти часу температурного впливу пожежі.

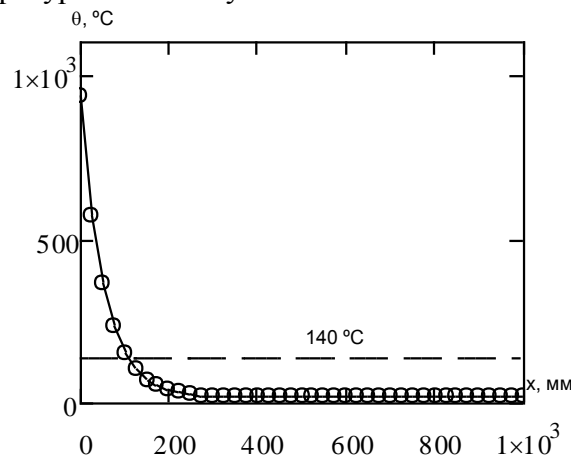


Рисунок 6 – Температурні розподіли по перерізу залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв розвитку «стандартної» пожежі.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, визначаємо, що за контрольний термін часу протягом 75 хв граничний стан втрати теплоізолювальної здатності зовнішньої самонесучої стіни не настає. Отже за теплоізолювальною здатністю клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за I 75, що відповідає встановленим вимогам.

Для забезпечення цілісності зовнішньої самонесучої стіни застосовується методика, визначена у джерелах [1, 2]. Згідно із положеннями в даних джерелах цілісність контролюється за спеціальним коефіцієнтом, що визначається за формулою:

$$F = b_c \alpha_{ct} E_{s,\theta} \rho_c / K_1 \lambda_n, \quad (6)$$

де b_c - коефіцієнт пропорційності, рівний $1,16 \cdot 10^{-2} \text{Вт} \cdot \text{м}^{3/2}$;

$\alpha_{ct}(250 \text{ °C}) = 9 \cdot 10^{-6} \text{°C}^{-1}$ коефіцієнт температурного розширення бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$E_{c,\sigma} = 1.2 \cdot 10^4$ МПа початковий модуль пружності бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$\rho_c = 2150$ кг/м³ – густина бетону у сухому стані, кг/м³, що дорівнює густині бетону природної вологості за відніманням випареної води у кількості 150 кг/м³;

$K_1 = 0,47$ МН·м^{3/2}- коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень у бетоні [1, 2];

$\lambda_n = 1.5$ Вт·м·°С – коефіцієнт теплопровідності бетону при температурі 250 °С [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012].

Використовуючи початкові дані, які подані вище отримаємо параметр F .

$$F = \frac{1.16 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1.2 \cdot 10^4 \cdot 2150}{0.47 \cdot 1.5} = 3.821 \leq 4$$

Параметр менший за 4 це означає, що граничний стан втрати цілісності не настає.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, була вирішена статична задача за допомогою зонного методу згідно із прийнятою методикою

За прийнятою методикою розбиваємо переріз залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 10 шарів, як показано на рис. 7.

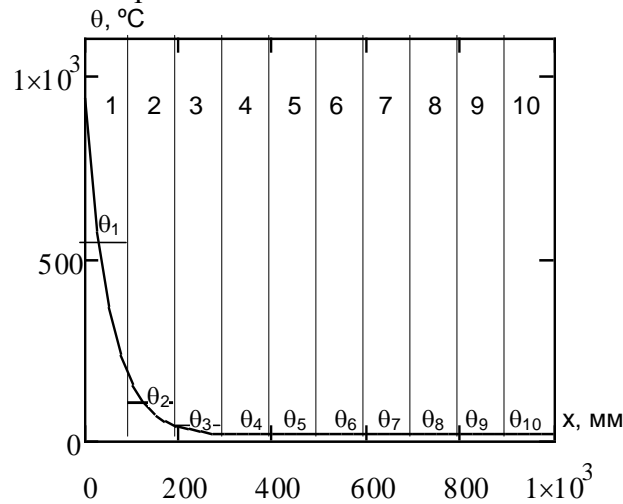


Рисунок 7 – Схема розбиття перерізу залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на шари для реалізації зонної методики.

У табл. 6 та табл. 7 подані значення середньої температури кожного шару, на які розбитий переріз залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни, а також температура арматурних стержнів на 75 хв пожежі із стандартним режимом та відповідні ним коефіцієнти зниження міцності бетону та арматурної сталі відповідно до табл. 6 та табл. 7, визначені шляхом лінійної інтерполяції.

Таблиця 6 – Коефіцієнти зниження міцності бетону у шарах залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв пожежі із стандартним температурним режимом

Номер шару бетону у перерізі плити	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середня температура шару, θ , °С	525.567	93.34	30.695	20.965	20.05	20	20	20	20	20
Коефіцієнт зниження міцності бетону, $k_c(\theta)$	0.562	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця 7 – Коефіцієнти зниження міцності сталі у арматурних стержнях залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв «стандартної» пожежі

Арматурний ряд	Лівий	Правий
Температура арматури, θ , °C	364.02	73,41
Коефіцієнт зниження міцності, $k_s(\theta)$	0.488	1

Середній коефіцієнт зниження для перерізу елемента, включаючи коефіцієнт $(1-0,2/n)$, що враховує при розрахунку зміну температури кожної зони:

$$k_{c,n} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) = 0,937 \quad (7)$$

де $n = 10$ – кількість зон.

Ширина пошкодженої зони перерізу плити розрахована за формулою:

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,n}}{k_c(\theta_M)} \right]^{1,3} = 27,5 \text{ мм} \quad (8)$$

де $w = 1000$ мм – ширина стіни,

$k_c(\theta_M) = 1$ – коефіцієнт зниження міцності бетону для температури найменш нагрітого шару стіни.

На рис. 8 показана розрахункова схема стіни згідно із умовами її закріплення та схема перерізу із врахуванням зниження міцності компонентів залізобетону.

Враховуючи цю розрахункову схему визначаємо необхідні параметри для виконання розрахунку. Розрахунок виконаний у небезпечній точці стіни – у місці, розташованому у самому нижньому шарі плити.

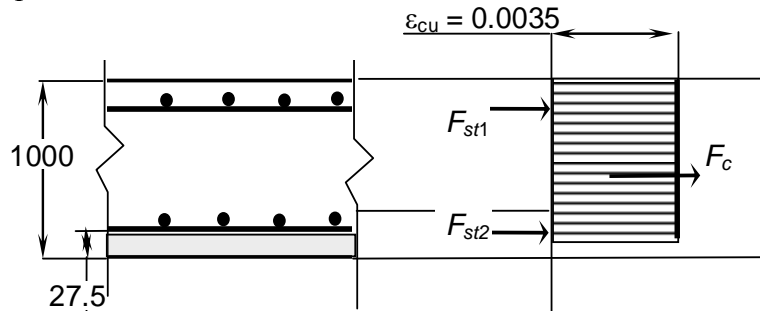


Рисунок 8 – Деформативна схема визначення несучої здатності залізобетонної стіни

На даній схемі показаний приведений переріз, його епюра деформації, а також сили, що діють у даному перерізі. Згідно із цією схемою несуча здатність при застосуванні умов рівноваги визначається за виразом:

$$N_{Rd,fi} = F_{st1} + F_{st2} + F_c = A_s E_{st} \varepsilon_{cu} + A_s k_{Es}(\theta) E_{st} \varepsilon_{cu} + 0,85 f_{ck} A_{c\theta} = 35063 \text{ кН} \quad (9)$$

де $k_{Es}(\theta) = 0,736$ – коефіцієнт зниження модуля пружності арматурної сталі у залежності від температури;

$E_{st} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності арматурної сталі за нормальних умов;

$A_{c\theta} = (b - a_z)l = 9,9973 \times 10^5$ мм² – площа приведеного перерізу бетону фрагменту стіни;

$l = 1000$ мм – довжина фрагменту стіни;

$A_s = \pi d_s^2$ – площа одного арматурного ряду;

$d_s = 22$ мм – діаметр одного арматурного стержня

Перевіряємо умову зберігання несучої здатності.

Діюча зосереджена сила рівна:

$$N_{Ed,fi} = w \cdot l \cdot Q_{wa} = 97,64 \text{ кН}$$

де $w = 1 \text{ м}$ та $l = 1 \text{ м}$.

Перевіряємо умову збереження несучої здатності;

$$N_{Rd,fi} = 35063 \text{ кН} > N_{Ed,fi} = 97,64 \text{ кН}. \quad (10)$$

Умова виконується отже протягом контрольного часу впливу пожежі несуча здатність стіни зберігається.

Для перевірки визначеного нами класу вогнестійкості застосовується табличний метод відповідно до п. 5.4.2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode2.

Для стінових елементів нами застосовується табличний метод відповідно до п. 5.4.2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode2. Згідно з цим методом визначається коефіцієнт зниження для розрахункового рівня навантажування під час пожежі μ_{fi} за формулою:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 97,64 / 28851 = 0.003, \quad (11)$$

де $N_{Ed,fi} = 97,64 \text{ кН}$ – розрахункове осьове навантаження під час пожежі;

$N_{Rd} = 0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}) = 28851 \text{ кН}$ – розрахункова міцність стіни за нормальних температур;

$f_{cd} = 0,85 f_{ck} = 34 \text{ МПа}$ – нормативна міцність бетону;

$A_c = 1 \cdot 10^6 \text{ мм}^2$ – площа поперечного перерізу стіни,

$f_{yd} = f_{yd} / \gamma_s = 400 / 1,15 = 347,826 \text{ МПа}$ – нормативна міцність арматурної сталі;

$A_s = 2 \pi d_s^2 = 1,521 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$ – сумарна площа поздовжніх арматурних стержнів стіни.

Маючи числове значення даного параметру за табл. 5.3 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode 2 визначаємо мінімальні геометричні характеристики перерізу стіни. Результати подані у табл. 8.

Таблиця 8 – Мінімальні розміри та осьові відстані для несучих залізобетонних стін

Стандартна вогнестійкість	Мінімальні розміри (мм) при $\mu_{fi} = 0.37$	
	Товщина стіни w_s	Осьова відстань між нижнім рядом арматури до поверхні плити a
REI 60	110	10
REI 90	120	20
Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)	
більше за REI 180	1000	50

Дані табл. 8 підтверджують, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни набагато більший за вимагаємий. Тож клас вогнестійкості стіни не менший за R 75, що відповідає встановленим вимогам.

Висновки:

1. Аналізуючи дані, подані на графіках рис. 5 та рис. 6, можна помітити, що температура на не обігрівній поверхні стіни протягом контрольного часу 75 хв не досягає значення 140 °С. Це дає нам змогу стверджувати, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за I 75.

2. Дані показують, що коефіцієнт цілісності у контрольний час 75 хв не перевищує число 4, це дає підґрунтя для ствердження, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за E 75.

3. Дані показують, що умова зберігання несучої здатності залізобетонною самонесучою стіною під час пожежі виконується, це означає, що стіна відповідає класу вогнестійкості R 75.

4. Для відповідності встановленим вимогам до залізобетонних конструкцій блоків для зберігання відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2 виконані розрахунки щодо оцінки класу вогнестійкості визначених елементів конструкцій. Методики розрахунків відповідають методикам, встановленим у чинному стандарті України, аналогічному відповідному стандарту Євросоюзу Eurocode 2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 з використанням сучасного науково обґрунтованого підходу.

5. Проведені розрахунки дозволяють нам зробити висновок, що клас вогнестійкості залізобетонної самонесучої стіни є не меншим за REI 75, дана стіна відповідає вимогам, що встановлені у Індивідуальних технічних вимогах з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жуков В.В. Взрывообразное разрушение бетона / Жуков В.В., Гуляева В.Ф., Сорокин А.Н. // Огнестойкость строительных конструкций. – Вып. 4. – 1976. – С. 42–57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Бартелеми Б., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002) ДСТУ Б В.1.1-17:2007. [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).
6. Леннон Т., Мур Д.Б., Ван Ю.К., Бейли К.Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В.М. Ройтман, И.А. Кириллов, А.И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов. Пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». Москва. – 2010. – 42 с.
8. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, М.: НИИ строительной физики, 1969 - 142 с.

УДК 614.841.41

*С. В. Поздєєв, д. т. н., проф., Ю. А. Отрош, к. т. н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,
І. В. Федченко, В. В. Демешок,*

ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕНЕСУЧОЇ ПЕРЕГОРОДКИ ЗАЛІЗОБЕ- ТОННИХ МОДУЛІВ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Для оцінки вогнестійкості ненесучих залізобетонних стін пропонується методика оцінки класу вогнестійкості цих стін. Ця методика заснована на використанні методу кінцевих різниць та методу кінцевих елементів. Розрахункова оцінка вогнестійкості даних об'єктів є єдиним прийнятним підходом вирішення поставленої задачі.

Ключові слова: аварійні ситуації, пожежа, клас вогнестійкості, вогнестійкість, модулі зберігання, залізобетонна перегородка, табличний метод, метод кінцевих різниць, цілісність, теплопровідність, теплоємність.

Постановка проблеми. У числі аварійних ситуацій, настання яких імовірно на об'єктах зберігання відпрацьованого ядерного палива, має бути розглянутий випадок виникнення та розвитку пожежі у внутрішньому просторі залізобетонних блоків. Такий стан зумовлюється надзвичайно високою відповідальністю даних об'єктів. Потрібно зазначити, що об'єкт не може бути класифікований з огляду на чинну нормативну базу України щодо його ступеня вогнестійкості, зважаючи на відсутність необхідності забезпечення евакуації людей, гарантування безпеки рятувальних підрозділів з врахуванням ризиків обвалення конструкцій. Основною задачею пожежної безпеки будівельних конструкцій об'єкту, рішення якої залежить від вогнестійкості конструкцій, є забезпечення їх живучості на час, необхідний для локалізації та ліквідації імовірної пожежі. Для цього достатньо забезпечити вогнестійкість за I ступенем вогнестійкості згідно із класифікацією класів вогнестійкості будівельних конструкцій за ДБН В. 1.1-7-2002. Дані вимоги встановлені згідно із п 4.1 Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2)».

Для оцінки вогнестійкості конструкцій пропонується розроблена і відповідним чином затверджена методика оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2. Згідно із цією методикою визначені елементи, гарантування відповідності яких встановленим вимогам щодо вогнестійкості автоматично забезпечує відповідність інших елементів із менш небезпечним сполученням навантажень, теплового впливу пожежі і геометричної конфігурації. До таких елементів належать зовнішня залізобетонна несуча стіна, зовнішня залізобетонна самонесуча стіна, залізобетонна ненесуча стіна (перегородка) та плита залізобетонного перекриття.

З огляду на унікальність, масивність та вартість залізобетонних конструкцій об'єкту, їх вогневі випробування стіни є неефективним, оскільки розуміють виготовлення по два зразки із дотриманням всіх технологій. Зразки досліджуваних елементів є негабаритними і не можуть бути випробувані на обладнанні що наявне у випробувальних центрах України. Це означає, що розрахункова оцінка вогнестійкості даної структури є єдиним прийнятним підходом щодо вирішення поставленої задачі.

Розроблена методика базується на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою Об'єднаної Європи, а також узгоджується із результатами досліджень вітчизняних та закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять у основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної

галузі. В методиці передбачено застосування декілька можливих підходів, згідно з якими обґрунтовані і детально пророблені відповідні ним послідовності розрахункових процедур.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи – розвиток методології застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих елементів та методу кінцевих різниць, на прикладі оцінки вогнестійкості ненесучої залізобетонної перегородки, забезпечення пожежної безпеки залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для обмеження простору комірки, де зберігається контейнер із відпрацьованим ядерним паливом, застосовуються внутрішні перегородки. Дані перегородки класифікуються як ненесучі залізобетонні стіни із відповідними вимогами до них. На рис. 1 поданий зовнішній вигляд перегородки.

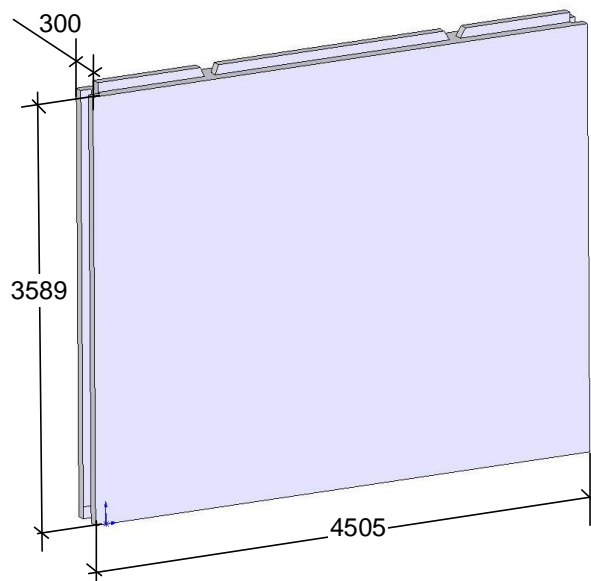


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд ненесучої залізобетонної перегородки.

Залізобетонна перегородка не сприймає навантаження і встановлюється у конструкції блоку за допомогою пазів, куди заходять шпонки основи та шпонкою на верхньому краї що заходить у пази на плитах.

На рис. 2 показаний поперечний переріз перегородки та схема її армування.

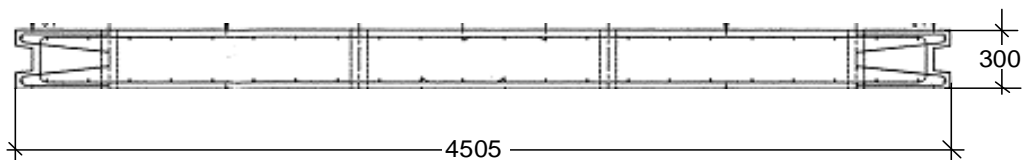


Рисунок 2 – Геометрична конфігурація перерізу та схема розташування арматури ненесучої залізобетонної перегородки.

Відповідно до Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2) дана стіна повинна відповідати вимогам до подібних стін за I ступенем вогнестійкості згідно із ДБН В 1.1.7 – 2002, тобто має відповідати класу вогнестійкості EI 30.

Досліджувана стіна не має навантаження і не є несучою. Дана стіна встановлюється в огорожувальні конструкції за допомогою шпонок у відповідні пази (рис. 1, рис. 2), стіна є суцільною, а її поверхні не мають шарів штукатурки.

При розгляді теплової дії пожежі на стіну згідно із конструктивними схемами приходимо до висновку, що її можна розглядати за схемою одностороннього теплового впливу на нескінченну пластину із певною товщиною

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни використана розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду рекомендована чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6]. Крайова задача при цьому була поставлена з використанням розрахункової схеми, яка подана на рис. 3.

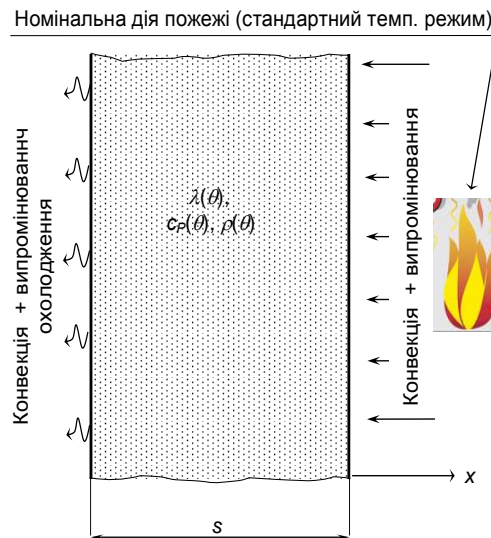


Рисунок 3 – Розрахункова схема при односторонньому нагріву внутрішньої стіни.

Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць. Для його реалізації була складена розрахункова схема, подана на рис. 4.

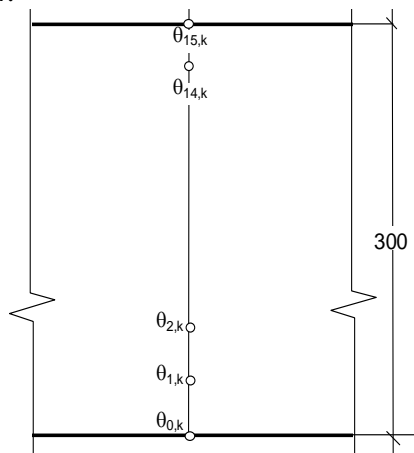


Рисунок 4 – Кінцево-різницева схема для розв'язку задачі теплопровідності при визначенні температур у перерізі внутрішньої несучої стіни.

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі, який визначається формулою:

$$\theta_p(t) = 345 \cdot \lg(8t / 60 + 1) + \theta_0, \quad (1)$$

де: t – час стандартного вогневого випробування, с;

θ_0 – початкова температура середовища, °С; $\theta_0 \approx 20^\circ\text{C}$;

$\theta_p(t)$ – температура у вогневій камері установки для визначення меж вогнестійкості конструкцій в залежності від часу t стандартного випробування.

Для розв'язку рівняння теплопровідності потрібно задати температурні залежності теплофізичних характеристик матеріалів зовнішньої стіни. В табл. 1 подані теплофізичні характеристики бетону внутрішньої несучої стіни.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики матеріалів внутрішньої несучої стіни

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°С)	Густина, кг/м ³
Важкий бетон на силікатному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100} \right)^2$	900ρ при 20 °С ≤ θ ≤ 100 °С, (900+(θ-100))ρ при 100°С < θ ≤ 200°С, (1000+0,5(θ-100))ρ при 200°С < θ ≤ 400°С, 1100ρ при 400°С < θ ≤ 1200°С	2300

На рис. 5 подані графіки температурних залежностей теплофізичних характеристик бетону.

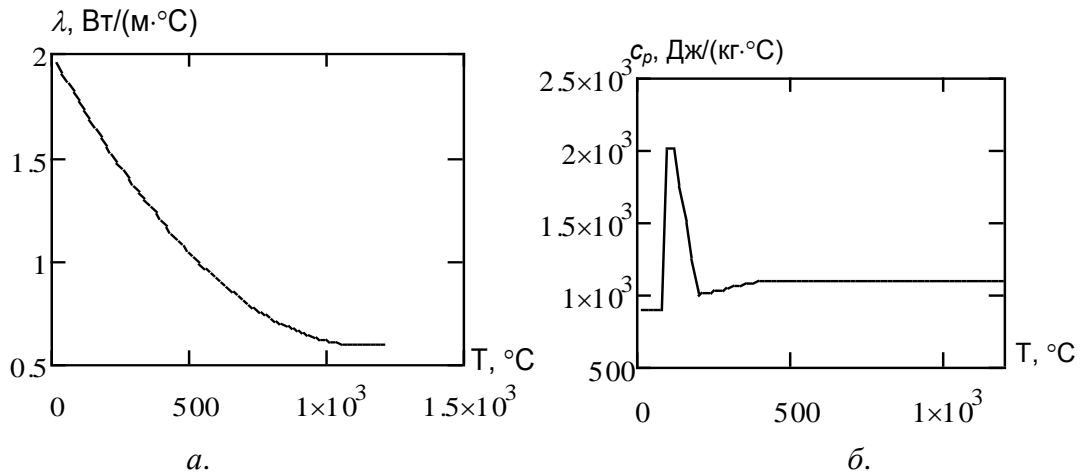


Рисунок 5 – Теплофізичні характеристики важкого бетону на гранітному заповнювачі: a – коефіцієнт теплопровідності; b – питома теплоємність.

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 2.

Для розв'язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задати початковими даними. Згідно із розробленою нами методикою нами були встановлені такі початкові дані:

- початкова температура $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$;
- просторовий крок інтегрування $\Delta h \sim 0.025$ м;
- часовий крок інтегрування – $\Delta t = 60$ с.

Таблиця 2 – Параметри граничних умов для внутрішньої несучої стіни

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² °С)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти	ε		0,7	ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °С)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003.

На рис. 6 представлені результати у вигляді графіків температури нагріву контрольних точок у залежності від часу пожежі.

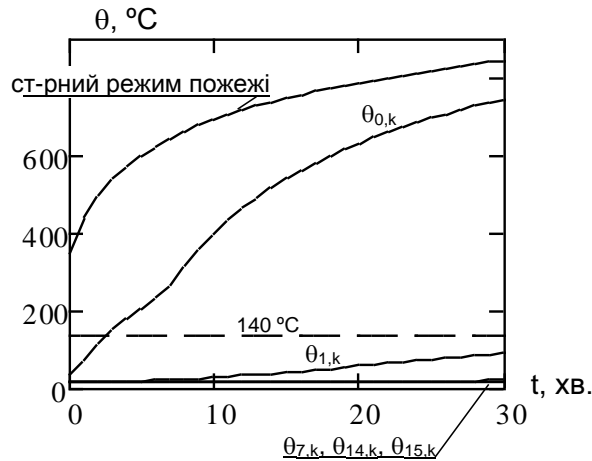


Рисунок 6 – Часові залежності прогріву внутрішніх шарів внутрішньої несучої стіни.

На рис. 7 показані розподіли температури по перерізу стіни у різні моменти часу температурного впливу пожежі. Для порівняння також наведені результати розрахунку для більшого інтервалу часу за той, що вимагається.

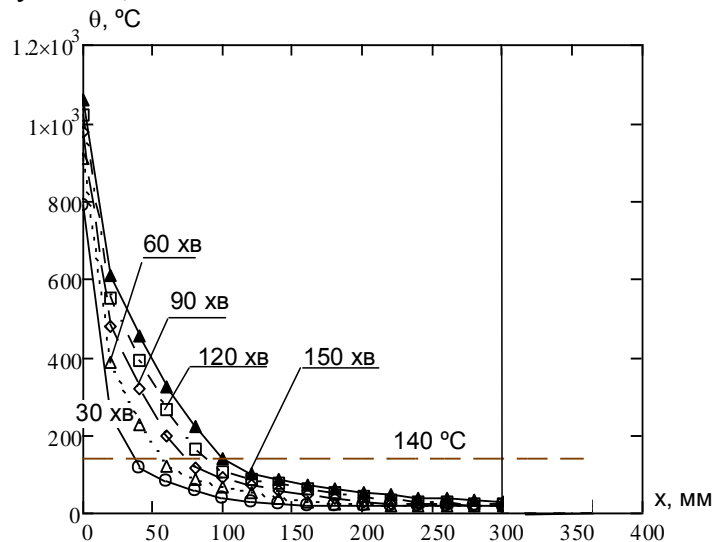


Рисунок 7 – Температурні розподіли по перерізу внутрішньої несучої стіни у різні моменти часу розвитку пожежі.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, визначаємо, що за контрольний термін часу протягом 30 хв граничний стан втрати теплоізолювальної здатності не несучої внутрішньої стіни не настає. Отже за теплоізолювальною здатністю клас вогнестійкості несучої внутрішньої стіни є не меншим за І 30, що відповідає встановленим вимогам.

Для забезпечення цілісності залізобетонної несучої стіни застосовується методика, визначена у джерелах [1, 2]. Згідно із положеннями в даних джерелах цілісність контролюється за спеціальним коефіцієнтом, що визначається за формулою:

$$F = b_c \alpha_{ct} E_{s,\theta} \rho_c / K_1 \lambda_n, \quad (2)$$

де b_c - коефіцієнт пропорційності, рівний $1,16 \cdot 10^{-2} \text{Вт} \cdot \text{м}^{3/2}$;

$\alpha_{ct}(250 \text{ }^\circ\text{C}) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ коефіцієнт температурного розширення бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$E_{c,\theta} = 1,2 \cdot 10^4$ МПа початковий модуль пружності бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$\rho_c = 2150 \text{ кг/м}^3$ – густина бетону у сухому стані, кг/м^3 , що дорівнює густині бетону природної вологості за відніманням випареної води у кількості 150 кг/м^3 ;

$K_1 = 0,47 \text{ МН} \cdot \text{м}^{3/2}$ - коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень у бетоні [1, 2];

$\lambda_n = 1,5 \text{ Вт} \cdot \text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопровідності бетону при температурі $250 \text{ }^\circ\text{C}$ [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012].

Використовуючи початкові дані, які подані вище отримаємо параметр F .

$$F = \frac{1,16 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot 10^4 \cdot 2150}{0,47 \cdot 1,5} = 3,821 \leq 4$$

Параметр менший за 4 це означає, що граничний стан втрати цілісності не настає.

Для перевірки визначеного нами класу вогнестійкості застосовується табличний метод відповідно до п. 5.4.1 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Eurocode2. Результати подані у табл. 2.4.

Таблиця 3 – Мінімальні розміри та осьові відстані для несучих залізобетонних стін

Стандартна вогнестійкість	Мінімальна товщина стіни h_s (мм)
EI 30	60
EI 60	80
Необхідний клас вогнестійкості	Реальна товщина стіни h_s (мм)
EI 30	300

Дані табл. 3 підтверджують визначений нами клас вогнестійкості досліджуваної стіни.

Висновки:

1. Аналізуючи дані, подані на графіках рис. 6 та рис. 7, можна помітити, що температура на необігрівій поверхні стіни протягом контрольного часу 30 хв не досягає значення $140 \text{ }^\circ\text{C}$. Це дає змогу стверджувати що клас вогнестійкості внутрішньої несучої стіни є не меншим за EI 30, дана стіна відповідає вимогам, що встановлені у Індивідуальних технічних вимогах з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2).

2. Розрахунок, виконаний за даною методикою покрокового аналізу дозволив отримати результати, що були перевірені за допомогою альтернативних розрахункових методів, що взяті з тих же рекомендованих відповідним стандартом методів.

3. Для відповідності встановленим вимогам до залізобетонних конструкцій блоків для зберігання відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2 виконані розрахунки щодо оцінки класу вогнестійкості визначених елементів конструкцій. Методики розрахунків відповідають методикам, встановленим у чинному стандарті України, аналогічному відповідному стандарту Євросоюзу Eurocode 2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 з використанням сучасного науково обґрунтованого підходу.

4. За результатами розрахунку встановлено, що ненесучі залізобетонні перегородки блоків для зберігання відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2 повністю відповідають вимогам щодо їх вогнестійкості, які встановлені у Індивідуальних технічних вимогах з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИГТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жуков В.В. Взрывообразное разрушение бетона / Жуков В.В., Гуляева В.Ф., Сорокин А.Н. // Огнестойкость строительных конструкций. – Вып. 4. – 1976. – С. 42–57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Бартелеми Б., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002) ДСТУ Б В.1.1-17:2007. [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).
6. Леннон Т., Мур Д.Б., Ван Ю.К., Бейли К.Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В.М. Ройтман, И.А. Кириллов, А.И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов. Пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». Москва. – 2010. – 42 с.
8. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, М.: НИИ строительной физики, 1969 - 142 с.

УДК 614.84

К. І. Соколенко, к. т. н.,
ДСНС України, УкрГМІ

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ, ПОЖЕЖНОЇ, ТЕХНОГЕННОЇ ТА ПРИРОДНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

Проведено аналіз законодавства стосовно пріоритетних напрямів наукових досліджень і розробок та представлено перспективи розвитку наукового забезпечення під час розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні

Ключові слова: наукові дослідження і розробки, пріоритетний напрям, національна безпека, державна цільова програма.

Постановка проблеми. Забезпечення ефективної наукової діяльності визначається у першу чергу діючими нормативно-правовими актами, за встановленою відповідною формою, процедурою та містить норми права, спрямовані на регулювання суспільних відносин галузевої приналежності.

В умовах викликів, які ставить перед нами сьогодення, особливо актуальним постає питання доповнення переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок новим напрямом, спрямованим на забезпечення національної безпеки України та розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні за відповідного наукового супроводу.

Окремо стоїть питання розроблення та затвердження державної цільової програми прогнозування науково-технологічного розвитку України з урахуванням напрямків наукової діяльності ДСНС України, вирішення якого є надзвичайно актуальним.

Аналіз нормативно-правових актів стосовно пріоритетних напрямів наукової діяльності та їх реалізації. Формування ефективного сектору наукових досліджень і науково-технічних розробок для забезпечення конкурентоспроможності вітчизняного виробництва, сталого розвитку, національної безпеки України та підвищення якості життя населення в Україні здійснюється шляхом визначення та затвердження на довгостроковий період (понад 10 років) відповідних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, яким надається пріоритетна державна підтримка.

Засади цілісної системи формування та реалізації пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки визначені Законом України від 11 липня 2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [1], статтею 3 якого затверджено перелік пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 року. Він включає в себе 6 пріоритетів:

фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави;

інформаційні та комунікаційні технології;

енергетика та енергоефективність;

раціональне природокористування;

науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань;

нові речовини і матеріали.

Нові або скориговані пріоритетні напрями затверджуються Верховною Радою України шляхом внесення змін до статті 3 Закону України [1].

Разом з тим, для розгляду та затвердження конкретних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки обов'язковою умовою є наявність формування до кожного з них цілої низки матеріалів, які повинні включати в себе:

обґрунтування необхідності прийняття пріоритетного напрямку, очікувані результати та їх вплив на економіку України;

оцінку науково-технічного потенціалу та наукових шкіл, які будуть задіяні в реалізації пріоритетного напрямку, оцінку існуючих об'єктів права інтелектуальної власності та наукових результатів, що будуть покладені в основу реалізації пріоритетного напрямку;

пропозиції до пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок, визначення фахівців та базових наукових установ, що мають здійснювати науково-технічний супровід пріоритетного напрямку;

концепцію реалізації пріоритетного напрямку та оцінка фінансових, матеріально-технічних ресурсів, які мають бути залучені для його реалізації.

Також необхідно зазначити, що формування та коригування пріоритетних напрямів здійснюється на підставі відповідної державної цільової програми прогнозування науково-технологічного розвитку України, яка на сьогодні відсутня.

Враховуючи викладене, можна зробити висновок, що на сьогодні існує достатня система розроблення та наукового обґрунтування пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, затверджено їх перелік, який разом з тим потребує забезпечення ефективної реалізації.

На законодавчому рівні встановлено, що реалізація пріоритетних напрямів здійснюється шляхом розроблення та виконання відповідних державних цільових програм, державного замовлення на науково-технічну продукцію, підготовки наукових кадрів, інформаційного та матеріально-технічного забезпечення наукових досліджень і науково-технічних розробок за визначеними та затвердженими на середньостроковий період (до 5 років) пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень і науково-технічних розробок. З урахуванням зазначеного постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 [2] сформовано та затверджено перелік відповідних пріоритетних тематичних напрямів, термін дії яких спливає наприкінці 2015 року.

Таким чином, визначення актуалізованого переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року є одним із першочергових завдань.

Формування переліку тематичних напрямів на наступний період може здійснюватися шляхом:

розроблення нового переліку тематичних напрямів;

продовження дії чинних тематичних напрямів;

коригування чинного переліку тематичних напрямів.

Розроблення нових тематичних напрямів шляхом проведення наукових досліджень у рамках відповідної державної цільової програми прогнозування науково-технологічного розвитку України, яка станом на сьогодні в Україні відсутня та не могла бути розроблена, враховуючи категоричну позицію протягом останніх років Міністерства економічного розвитку і торгівлі України, а, починаючи з 2014 року, і у зв'язку з обмеженнями стосовно розроблення проектів нових цільових програм, передбаченими пунктом 16 заходів щодо економічного та раціонального використання державних коштів, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2014 р. № 65 «Про економію державних коштів та недопущення втрат бюджету» [3], є неможливим.

Отже, доцільним є або продовження дії чинного переліку тематичних напрямів на певний наступний період, або підготовка до нього окремих змін з урахуванням необхідності вирішення найбільш актуальних та проблемних питань, що потребують термінового вирішення.

Крім того, тривалий військовий конфлікт та скрутна фінансова ситуація у державі потребують максимально ефективної концентрації державних фінансових ресурсів саме на тих напрямках, які дадуть змогу вирішувати першочергові та найбільш нагальні питання за умови обмеженого фінансування. Тому Міністерством освіти і науки України було запропоновано оптимальний шлях, а саме коригування чинного переліку.

Враховуючи зазначене, завдання Уряду та Рекомендації парламентських слухань на тему: «Про стан та законодавче забезпечення розвитку науки та науково-технічної сфери держави» [4], проблемними питаннями є доповнення чинного переліку тематичних напрямів новими напрямками, спрямованими на забезпечення обороноздатності та національної безпеки країни.

Окремо необхідно розглянути питання розроблення і затвердження державної цільової програми прогнозування науково-технологічного розвитку України на наступний період, у тому числі стосовно визначення пріоритетних тематичних напрямів.

Державні програми прогнозування науково-технологічного розвитку України свого часу було розроблено та затверджено постановами Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1086 [5] та від 11 вересня 2007 р. № 1118 [6] на період 2004 – 2006 та на 2008 – 2012 роки відповідно.

Саме завдяки виконанню завдань і заходів, передбачених цими програмами, було підготовлено переліки пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та пріоритетних тематичних напрямів. Основною метою останньої програми [6], виконання якої планувалося завершити у 2012 році, було створення єдиної та постійно діючої системи прогнозування науково-технологічного розвитку України та визначення актуальних напрямів розвитку науки і техніки.

Однак реалізацію цієї програми не завершено, оскільки згідно з пунктом 1 постанови Кабінету Міністрів України від 22 червня 2011 р. № 704 «Про скорочення кількості та укрупнення державних цільових програм» постанову Кабінету Міністрів України [6] про її затвердження було визнано такою, що втратила чинність.

Необхідно зазначити, що робота щодо скорочення кількості та укрупнення державних цільових програм продовжувалась і в наступні роки. Зважаючи на це, державної цільової програми прогнозування науково-технологічного розвитку України на новий період затверджено не було.

Відповідно до статей 4 і 5 Закону України [1] пріоритетні напрями розвитку науки і техніки та пріоритетні тематичні напрями наукових досліджень і науково-технічних розробок формуються на підставі державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку.

Відсутність затвердженої станом на сьогодні такої програми унеможливило забезпечення дотримання вищезазначених норм Закону України [1].

Разом з тим, в умовах сьогодення питання перетворення вітчизняного наукового потенціалу у джерело економічного зростання на засадах технологічної модернізації економіки та забезпечення на цій основі сталого розвитку країни стало особливо актуальним.

Ключовим моментом у цьому процесі є правильне визначення пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, що може бути забезпечено виключно шляхом проведення відповідних наукових досліджень.

Крім того, пріоритетні напрями, підготовлені у рамках відповідної державної цільової програми, в обов'язковому порядку мають проходити процес обговорення науковою громадськістю. Це дає можливість ретельно та виважено обговорити їх з широким колом наукової спільноти та її найавторитетнішими представниками.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є забезпечення всебічного та об'єктивного висвітлення питань нормативно-правового забезпечення, пов'язаного з коригуванням чинних пріоритетних тематичних напрямів та перспективою розвитку наукової діяльності у сфері безпеки.

Вирішення поставленої задачі відбувалося шляхом аналізу нормативно-правових актів, що стосуються пріоритетних напрямів як наукової діяльності, так і державної політики національної безпеки України. Визначені на законодавчому рівні загрози національним інтересам і національній безпеці України у сфері цивільного захисту потребують забезпечення відповідної безпеки, у тому числі пріоритетного розвитку наукової діяльності як її невід'ємної складової.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячено статтю. Для актуалізації чинного переліку пріоритетних тематичних напрямів на період до 2015 року необхідно внести зміни з обґрунтуванням нового тематичного напрямку у сфері безпеки, які передбачається затвердити проектом постанови шляхом їх внесення до постанови Кабінету Міністрів України [2]. Задача ускладнюється тим, що пріоритетні напрями лишаються без змін, а пріоритетні тематичні напрями у сфері безпеки, спрямовані безпосередньо на розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні, затверджені в установленому порядку, на цей час відсутні.

Враховуючи необхідність належного обґрунтування та важливість прийняття позитивного рішення, підготовлено матеріали тільки за одним пріоритетним тематичним напрямом, який передбачає проведення наукових досліджень і розробок у сферах діяльності ДСНС України – «Найважливіші проблеми у сфері цивільного захисту».

Для формування у наступному нових пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок у визначеному порядку проводиться робота щодо внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 1 березня 2014 р. № 65 [3], які дали б змогу розпочати у найближчий час роботу у напрямку підготовки державної цільової програми прогнозування науково-технічного розвитку України.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для забезпечення ефективної наукової діяльності дослідження питань правового забезпечення та регулювання відносин у сфері безпеки набувають особливої актуальності в сучасних умовах з огляду на тенденцію значного збільшення кількості надзвичайних ситуацій, зумовлених як природними, так і антропогенними факторами, ускладненням екологічної ситуації як у світі загалом, так і в нашій державі. З урахуванням цих причин активно формується та розвивається правова база, що забезпечує регулювання попередження та профілактики надзвичайних ситуацій і ліквідації їх наслідків, організацію функціонування єдиної державної системи цивільного захисту та інших суспільних відносин.

Відповідно до пункту 3.9 розділу 3 Стратегії національної безпеки України, затвердженої Указом Президента України від 26 травня 2015 р. № 287/2015 [7], актуальні питання функціонування єдиної державної системи та сил цивільного захисту, системи моніторингу докільця віднесено до загроз екологічній безпеці, що обумовлюють нагальну необхідність наукового забезпечення їх комплексного розв'язання.

Стратегія національної безпеки України є документом, обов'язковим для виконання, та основою для розроблення інших документів у сфері забезпечення національної безпеки, визначає також питання розвитку ДСНС України, що має забезпечити ефективну її діяльність.

Необхідно зазначити, що вперше у статті 7 Закону України «Про основи національної безпеки України» [8] визначено, що на сучасному етапі основними реальними та потенційними загрозами національній безпеці України у сфері цивільного захисту є невідповідність сучасним викликам стану єдиної державної системи цивільного захисту, сил цивільного захисту, їх технічного оснащення та значне антропогенне і техногенне перевантаження території України, зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Величезне регіональне навантаження території України потужними промисловими та енергетичними об'єктами [9] (за даними Державної служби України з питань праці у

2014 році в Україні функціонувало 9424 об'єкти підвищеної небезпеки) збільшує ризик аварій, збитки від яких можна порівняти з розміром національного бюджету середньої країни. Також наявність в Україні значних територій з несприятливим природним впливом та схильністю до проявів небезпечних природних явищ визначає нагальну необхідність наукового забезпечення комплексного розв'язання проблем у сфері цивільного захисту та пожежної безпеки, вивчення стану техногенної й природної безпеки та необхідність пошуку шляхів його покращення.

Кодексом цивільного захисту України [10], що регулює в державі відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, законодавчо упорядковано і посилено функції держави щодо забезпечення техногенної та природної безпеки в Україні.

Статистичні дані [9] свідчать про те, що у 2014 році в Україні зареєстровано 143 надзвичайні ситуації, внаслідок яких загинуло 287 осіб та постраждало 680 осіб. Порівняно з 2013 роком зареєстровано збільшення кількості загиблих у надзвичайних ситуаціях на 13,4 %, що обумовлює важливість завдань щодо аналізу поточного стану з надзвичайними ситуаціями державного та регіонального рівнів, причин їх виникнення та дій органів управління і сил цивільного захисту з їх ліквідації.

Потрібно зазначити, що забезпечення національної безпеки є невід'ємною функцією кожної держави як суспільного утворення, що має гарантувати сприятливі умови для життя і продуктивної діяльності її громадян. Попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру з метою збереження життя та здоров'я людей, забезпечення сталого розвитку країни є однією зі складових національної безпеки держави, яку неможливо забезпечити без наукових досліджень та детального аналізу існуючого стану техногенної та природної безпеки, спостереження за ним у довгостроковій динаміці та розроблення заходів і засобів для зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

Таким чином, за результатами дослідження встановлено, що на цей час актуальним є питання щодо посилення ролі наукового забезпечення діяльності у єдиній державній системі цивільного захисту та запропоновано доповнити перелік пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 [2], новим напрямом «Найважливіші проблеми у сфері цивільного захисту», спрямованим на забезпечення національної безпеки України та розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні.

Висновки. Визначення актуалізованого переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року з новим напрямом «Найважливіші проблеми у сфері цивільного захисту» сприятиме належному обґрунтуванню щодо фінансового забезпечення та уваги науковців на вирішення найбільш актуальних наукових, науково-технічних та суспільних завдань під час розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні, а також проблемних питань, що виникають в умовах тривалого військового конфлікту.

Дослідження питань нормативно-правового забезпечення, що пов'язані з пріоритетними напрямами та перспективою розвитку наукової діяльності у сфері безпеки, спрямовані на підвищення ефективності під час прийняття управлінських рішень щодо планування наукової діяльності, участі у розробленні проектів державних цільових програм та формуванні тематики наукових досліджень і розробок, їх належному обґрунтуванню.

Перспективи подальших досліджень. Під час розв'язання основних проблем цивільного захисту, пожежної, техногенної та природної безпеки в Україні важливу роль мають результати відповідних наукових досліджень і розробок. На особливу увагу заслуговують актуальні питання, що потребують наукового забезпечення та пропонуються для розгляду і вирішення територіальними органами та підрозділами ДСНС України.

Разом з тим, визначення та виконання робіт за тематикою актуальних наукових досліджень і розробок завжди пов'язано з вирішенням питань стосовно належного забезпечення як фінансового характеру, так і наявності відповідного наукового потенціалу, експериментально-дослідницької бази. Тому метою подальших досліджень є вивчення пропозицій практичних підрозділів щодо проблемних питань, їх наукового забезпечення та ефективності отриманих результатів. Також важливим є питання аналізу проблемних питань, що потребують наукового забезпечення у сфері пожежної та природної безпеки для першочергового вирішення у діяльності ДСНС України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України від 11 липня 2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року».
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 1 березня 2014 р. № 65 «Про економію державних коштів та недопущення втрат бюджету».
4. Рекомендації парламентських слухань на тему: «Про стан та законодавче забезпечення розвитку науки та науково-технічної сфери держави», схвалені постановою Верховної Ради України від 11 лютого 2015 року № 182-VIII.
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. № 1086 «Про затвердження Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004-2006 роки».
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 вересня 2007 р. № 1118 «Про затвердження Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008-2012 роки» (втратила чинність на підставі постанови Кабінету Міністрів України № 704 від 22 червня 2011 р.).
7. Стратегія національної безпеки України, затверджена Указом Президента України від 26 травня 2015 р. № 287/2015.
8. Закон України від 19 червня 2003 р. № 964-IV «Про основи національної безпеки України».
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Текст]: керівник підготовки нац. доповіді О.М. Євдін. – К. : ДСНС України, 2015.
10. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 р. № 5403-VI.

УДК 624.012

С. Э. Трошкин, С. А. Сидней, Е. А. Тищенко, к. т. н., доц., О. В. Некора, к. т. н., с. н. с,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУЦЗ Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FDS

В статье приведён анализ адекватности результатов расчёта среднеобъёмной температуры в аварийном помещении с 40 % проемностью с помощью компьютерной системы Fire Dynamics Simulator

Ключевые слова: аварийное помещение, среднеобъемная температура, адекватность результатов, динамика пожара.

Постановка задачи и их решение. Цель работы заключается в исследовании адекватности результатов математического моделирования динамики пожара в аварийном помещении с использованием компьютерной среды Fire Dynamics Simulator (FDS) в сравнении с экспериментальными данными работ [1 – 5].

К настоящему времени представлен широкий набор данных расчета факторов пожара в помещении с одним проёмом. Среди данных, представленных в литературе [1 – 5] имеется большое количество исследований, проводимых для получения температур в помещениях с одним проёмом. С помощью представленных данных можно создать модель горения в помещении с использованием компьютерной среды Fire Dynamics Simulator, с высокой точностью воспроизвести параметры процессов, сопровождающие процессы при пожарах.

Программа Fire Dynamics Simulator разработана Национальным институтом стандартов и технологии (НИСТ) министерством торговли США при содействии Технического научно-исследовательского центра VTT (Финляндия). FDS - бесплатное программное обеспечение. Согласно Кодексу США Глава 17 Часть 105 авторские права разработчиков не защищены, программа является общедоступным программным обеспечением.

Согласно исследованиям [1 – 5], проводимым с целью валидации программы компанией ООО "СИТИС" можно утверждать, что компьютерная среда Fire Dynamics Simulator может быть использована для решения актуальных задач моделирования пожаров.

Программа FDS реализует вычислительную гидродинамическую модель (CFD) тепломассопереноса при горении. FDS численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре. Для визуализации используется сопутствующая программа SmokeView, которая моделирует 3D модель проекта.

Изложение основного материала. Воспользовавшись программным блоком Smokeview, была построена геометрическая модель помещения, которая отображена на рис. 1.

Геометрические параметры и параметры материалов, которые составляют пожарную нагрузку, были взяты согласно условиям проведения реальных экспериментов. При этом учитывается радиальное распространение пожара с момента возгорания пожарной нагрузки. Данные по аварийному помещению взяты из работ [1, 3] в которых был представлен обширный экспериментальный материал исследований, проведенных во Франции, в том числе зависимости среднеобъемной температуры газовой среды внутри помещения от времени.

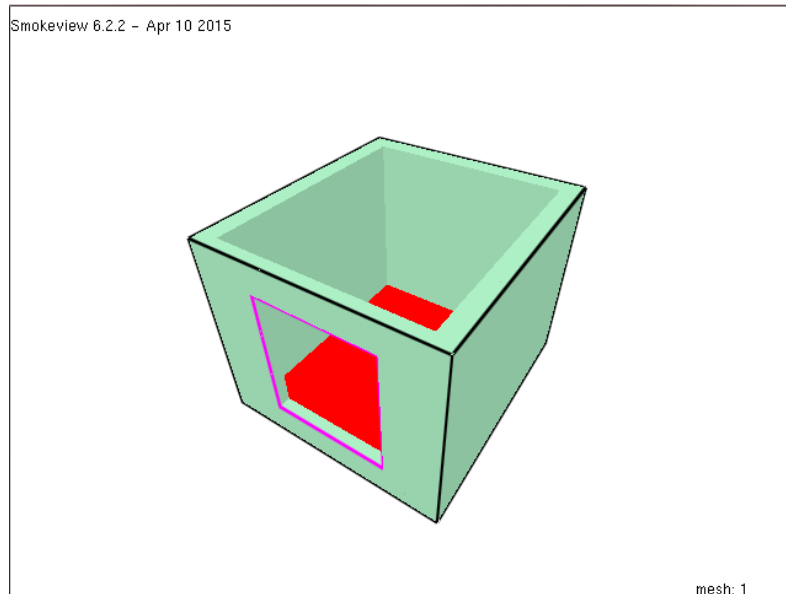


Рисунок 1 – Геометрическая модель аварийного помещения с 40% проемностью.

Расчёты проводились применительно к модельным пожарам в полномасштабном помещении длиной – 4,2, шириной – 3,8 и высотой 3,13 м. Боковые стены были выполнены из обычного кирпича толщиной 11,5 см (с наружной стороны) и огнестойкого шамотного кирпича толщиной 16 см (с внутренней стороны). Лицевая сторона секции (ширина 3,8 м) была выполнена не из кирпича, а в виде съёмных плит толщиной 17,5 см из легкого бетона, что позволяло легко создавать проемы разных размеров в работах [1 – 5]. Геометрические характеристики проёма представлена в таблице 1 .

Таблица 1 – Геометрические характеристики 40% проёма в аварийном помещении .

Проемность, %	Высота проёма, м	Площадь проёма, м ²
40	2,18	4,25

При моделировании условий горения были использованы следующие исходные данные, взятые из работ [1, 3]:

1. Ширина, длина и высота помещения – 3,244; 3,737; 3,13 м.
2. Начальная температура стен – 293 К.
3. Температура окружающей среды – 273 К.
4. Степень черноты ограждающих конструкций – 0,8 .
5. Максимальная площадь горения – 16 м².
6. Масса пожарной нагрузки – 360 кг.
7. Ширина проёма – 1,95 м.
8. Массовая скорость газификации горючего – 0,0025.

Характеристики стенок аварийного помещения, представленные в работах [1,3] наведены в таблице 2. Конструктивная схема аварийного помещения представлена на рисунке 2.

Таблица 2 – Характеристика стенок аварийного помещения

Номер слоя (от внутренней поверхности)	Толщина, м	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Плотность, кг/м ³
1	0,010	0,755	879	1700
2	0,153	0,550	800	1500

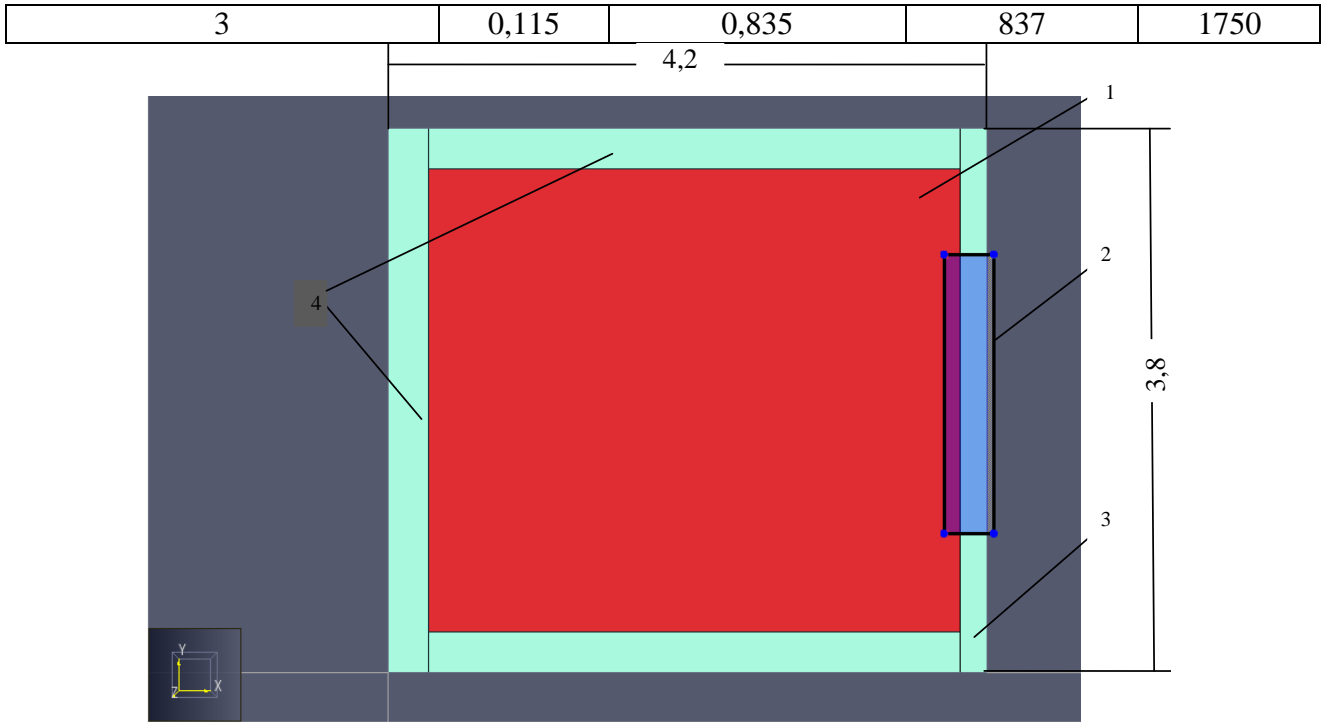


Рисунок 2 – Конструктивная схема аварийного помещения:

- 1.Сосновая дранка;
- 2.Проёмность;
- 3.Лицевая стена аварийного помещения;
- 4.Боковые стены аварийного помещения.

Экспериментально-теоретические исследования развитого пожара в аварийном помещении с проёмом показали, что в процессе горения пожарной нагрузки можно выделить два характерных режима:

- 1) Режим горения, регулируемый горючим;
- 2) Режим горения, регулируемый вентиляцией.

При первом режиме процесс горения лимитируется поступлением горючих газов в зону горения, а поступление воздуха через проём происходит с массовой скоростью, достаточной для максимально полного (в данных условиях) их сгорания. Этот режим характерен для относительно больших значений параметра вентиляции и малых значений поверхности горения. В данном случае избыток воздуха приводит к снижению среднеобъёмной температуры.

При втором режиме процесс горения лимитируется поступлением воздуха через проём, а горючие газы поступают в избытке. В результате полнота их сгорания уменьшается и соответственно снижается среднеобъёмная температура в аварийном помещении.

В процессе горения пожарной нагрузки наступает момент, в котором два режима, из перечисленных, характеризуют снижение среднеобъёмной температуры внутри помещения в определённый момент времени. Из характерного условия горения можно выбрать вычисление возрастающей температуры, при начале снижения среднеобъёмной температуры внутри аварийного помещения можно пренебречь, оставив расчёты для анализа возрастающей температуре в помещении. Так как особое внимание уделяется динамике пожара характерного в процессе возрастания температуры.

Процесс модельного испытания происходит с использованием следующей последовательности операций:

1. Выбор данных.
2. Написание входного файла программы с помощью языка программирования FDS.
3. Анализ данных, устранение параметрических программных ошибок.

4. Процесс запуска модели программы через командную строку.
5. Выполнение расчёта программой до определённого времени параметра TIME.

Можно наблюдать горение пожарной нагрузки в аварийном помещении с 40% проемностью в 3D виде, представленном на рис. 3.

При использовании параметров вычислительного процесса, указанных в табл. 3 была дана временная температурная кривая контрольных значений среднеобъёмной температуры в аварийном помещении с 40% проемностью, показана на рис. 4 и рис. 5.

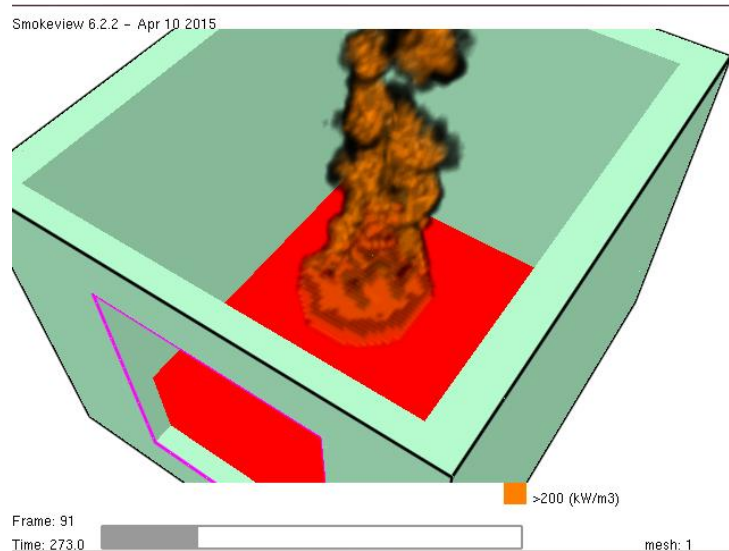


Рисунок 3 – Визуализация динамики пожара аварийного помещения с 40% проемностью с помощью вспомогательной программы Smokeview 6.2.2.

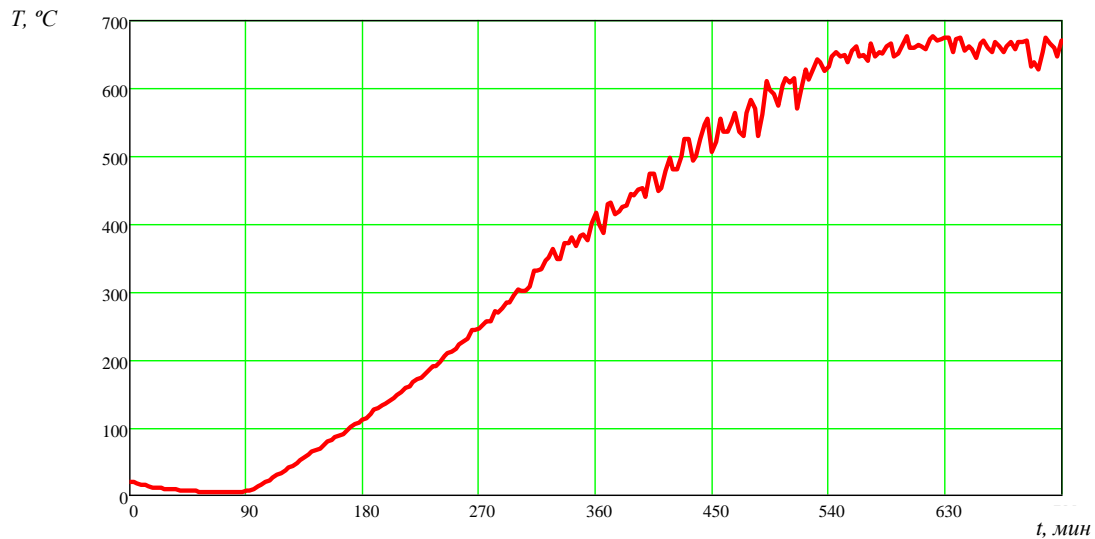


Рисунок 4 – Среднеобъёмная температура в аварийном помещении с 40% проемностью полученная с помощью модельного расчёта программы Fire Dynamics Simulator 6.2.

Таблица 3 – Параметры математических моделей динамики пожара для испытаний в аварийном помещении согласно номенклатуре Fire Dynamics Simulator 6.2

№ п/п	Математическая модель	Теоретична база
1.	Модель механики движения газов	Система уравнений Навье-Стокса

2.	Модель газа	Идеальный газ
3.	Модель теплопереноса	Уравнение энергии
4.	Модель теплопередачи в твердых телах	Уравнение теплопроводности

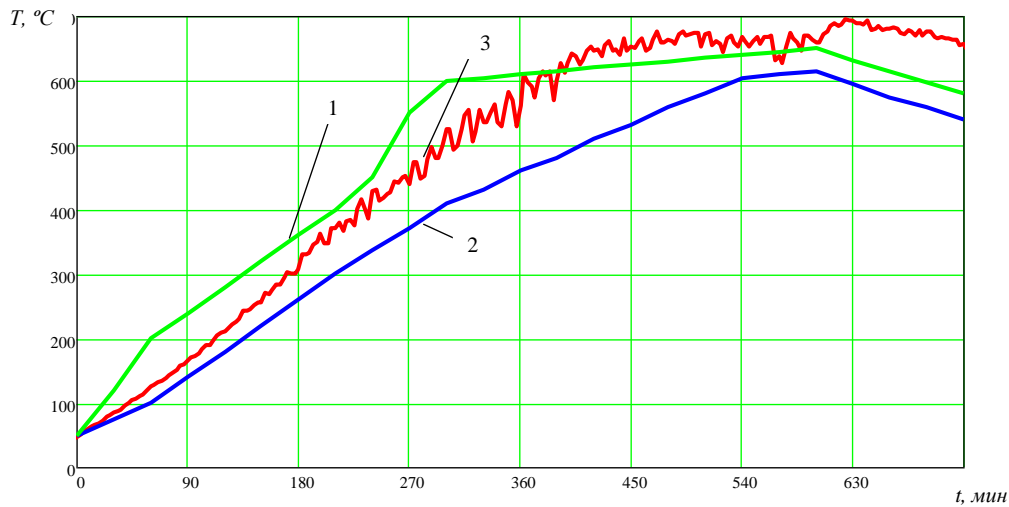


Рисунок 5 – Сравнение экспериментальных (1), расчетных (2) и модельных расчетов программы FDS (3) значений среднеобъемной температуры аварийного помещения с 40 % проемностью. Согласно работ [1,3] бралась начальная среднеобъемная температура в помещении 50°C .

Из рис. 5 видно, что совпадение модели расчетов программы с экспериментальными и расчетными данными вполне удовлетворительно во всем диапазоне изменения условий пожара.

В табл. 4 приведены результаты анализа результатов моделирования при их сравнении с результатами работ [1_5] в которых представлены многочисленные данные по экспериментально полученным во Франции зависимостям от времени среднеобъемной температуры газовой среды внутри помещения.

Таблица 4 – Параметры отклонений результатов математического моделирования динамики пожара в аварийном помещении с 40% проемностью с результатами работ [1,3].

Параметр	Абсолютное Отклонение, %	Относительное Отклонение, %	Дисперсия адекватности (S_{ad}^2)	Дисперсия воспроизводимости (S_y^2)	Критерий Фишера	Табличный критерий Фишера
Отклонение результатов математического моделирования среднеобъемной температуры внутри аварийного помещения.	13	7,1	0,053	0,147	0,357	3,47

Был рассчитан критерий Фишера для проводимого исследования, данное значение удовлетворяет условиям адекватности проекта. В соответствии этому, исследования являются адекватными.

Выводы. В результате анализа полученных данных выяснено, что результаты моделирования пожара в исследуемом помещении являются адекватными поскольку:

1. Разработана методика численного эксперимента исследований динамики пожара в помещении с помощью компьютерной модели аварийного помещения, построенного в системе Fire Dynamics Simulator 6.2, испытаний на адекватность математической модели горения.

2. Проведен численный эксперимент по исследованию начальных этапов динамики пожара и выполнено построение визуального изображения динамики пожара в аварийном помещении.

3. Абсолютная погрешность эксперимента при моделировании с помощью программы FDS равняется 16,6%, а абсолютная погрешность эксперимента исследования с источника [1] равняется 29,8%.

4. Абсолютные погрешности для данных исследований показывают, что математическое моделирование с помощью компьютерной системы FDS является более точной, нежели теоретический расчет данного исследования в источнике [1].

5. Показана высокая эффективность системы Fire Dynamics Simulator 6.2 для построения компьютерной модели аварийного помещения с проёмом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф. Огнезащита строительных конструкций/ Под ред. Ю.А.Кошмарова. — М.: Информационно-издательский центр «ГИМП», 2000. 177 с.
2. Бартелеми Б., Крюпа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. — М.: Стройиздат, 1985. - 120 с.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. — М.: Стройиздат, 1990. — 424 с.
4. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. — 444 с.
5. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский и др. — М.: Стройиздат, 1988. — 448 с.
6. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
7. Руководство пользователя программы FDS(Версия 5) / Кэвин МсГраттан, Брайн Клейн, Симо Хостикка, Джейсон Флорид в сотрудничестве с Техническим научно-исследовательским центром VTT - М.: НИСТ, 2007. — 15 с.
8. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара, математическая модель. Версия 6 FDS / ООО «СИТИС». М.: ООО «СИТИС». TP-5078, 2013 — 34 с.

УДК 614.841.

*С. В. Цвиркун, к. т. н. доц., О. В. Кириченко, д. т. н., с. н. с., Л. В. Маладыка, к. пед. н.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобыля НУГЗ України*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЖАРНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Представлено применения информационных технологий как усовершенствование способа обучения специалистов в области пожарной и техногенной безопасности

Ключевые слова: информационные технологии, пожарная безопасность, инженерные расчеты.

Количество пожаров в Украине за последнее десятилетие постоянно увеличивается даже при демографическом сокращении населения и развитии науки и техники, предназначенной для минимизации этого явления. В связи с этим проблема обеспечения пожарной безопасности особенно актуальна в настоящее время, когда Украина постепенно интегрируется в общеевропейское сообщество и рассматривает углубление интеграционных процессов на континенте, как необходимую предпосылку создания системы глобальной безопасности. Данная система должна способствовать активизации процессов реформирования украинского общества и предоставлять четкие ориентиры для достижения определенных европейских стандартов во всех важнейших общественных сферах.

Для обеспечения пожарной безопасности объекта невозможно обойтись без проведения системного анализа. Системный анализ позволяет определять особенности объектов, на которых необходимо оценивать состояние пожарной безопасности; помогает сформулировать критерии оценки обеспечения пожарной безопасности и основные функциональные задачи, которые должна выполнять управляющая система. Он включает в себя вычислительные эксперименты по моделированию различных сценариев развития пожара, дает возможность воспроизведения различных рассчитанных сценариев возгорания, обеспечивает эффективную реализацию системы и удобный пользовательский интерфейс за счет корректного выбора и организации программных и технических средств, помогает осуществлять обучение и контроль знаний по пожарной безопасности персонала и посетителей объекта и т.д. При этом важные решения по обеспечению безопасности можно принять лишь при соответствующей подготовке специалистов в данном направлении.

В данной статье будет кратко рассмотрено усовершенствование обучения специалистов пожарной и техногенной безопасности кафедрой пожарно-профилактической работы на основе применения информационных технологий.

В период обучения может возникнуть необходимость проведения следующих инженерных расчетов:

1. физико-химических;
2. теплофизических;
3. гидроаэродинамических;
4. математического моделирования процессов, происходящих при пожаре и др.

Физико-химические расчеты.

Основными видами физико-химических расчетов являются:

- расчет концентрации газов в помещении;
- расчет максимального давления взрыва газо- и паровоздушных смесей;
- расчет концентрации газа в помещении при испарении;
- расчет площади растекания нефтепродуктов;
- расчет максимальной скорости нарастания давления взрыва;

- расчет температуры вспышки жидкостей;
- расчет температуры воспламенения жидкостей;
- расчет температурных пределов распространения пламени.

Большинство приведенных выше расчетов используется при определении категории помещения и здания по взрывопожарной и пожарной опасности, а также при определении величины пожарного риска в производственных зданиях (рис.1). Также они используются при оценке пожарной опасности веществ и материалов, когда натурные испытания провести невозможно (например, после пожара).

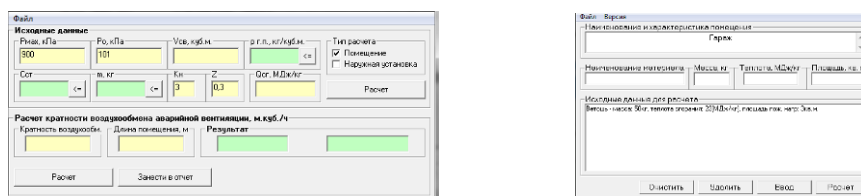


Рисунок 1 - Расчет пожарной нагрузки.

Для физико-химических расчетов может быть рекомендованы программные комплексы Mathcad [8], Excel.

Теплофизические расчеты.

В процессе проведения теплофизических расчетов рассматриваются процессы сопряженного теплообмена. Данные расчеты могут применяться для решения следующих задач:

- определения огнестойкости строительных конструкций;
- построения поля температур при прогреве ограждающих конструкций;
- определения возможности воспламенения горючих материалов от различных источников зажигания (от пламени, искры и т.д.);
- расчет динамики пожара в заданных условиях.

Пример расчетов определения предела огнестойкости пустотной плиты перекрытия (рис.2) [4].

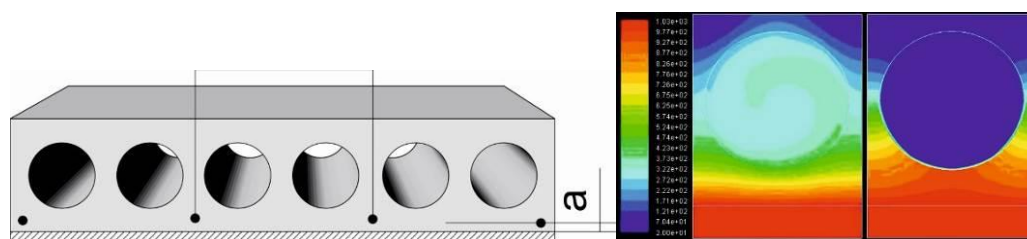


Рисунок 2 - Фрагмент исследуемой плиты перекрытия и температурные поля прогрева при испытании.

Для теплофизических расчетов может быть рекомендована универсальная программная система конечно-элементного анализа ANSYS [7], а также программное средство для выполнения на компьютере разнообразных математических и технических расчетов Mathcad [8].

Гидроаэродинамические расчеты.

Основными видами гидроаэродинамических расчетов являются:

- гидравлический расчет трубопроводов, струй;
- расчеты основных параметров противодымной вентиляции.

В качестве примеров представлено моделирование противодымной защиты [1]. Объект моделирования - номер в высотной гостинице с типовой для гостиницы пожарной нагрузкой (рис.3).

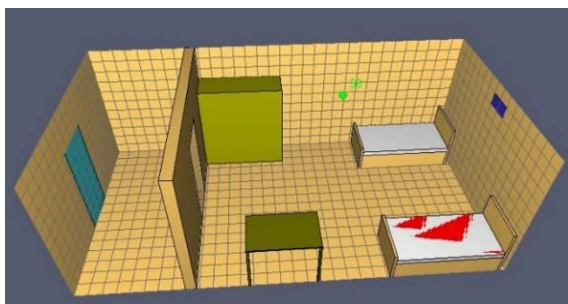


Рисунок 3 - Модель номера в высотной гостинице.

Моделированием определено время достижения критического уровня воздействия опасных факторов пожара при нефункционирующих системах противодымной защиты и пожаротушения (рис.4, а), при работе системы дымоудаления (рис.4, б) и пожаротушения (рис.5), а также определено рациональное размещение клапана системы дымоудаления в помещении.

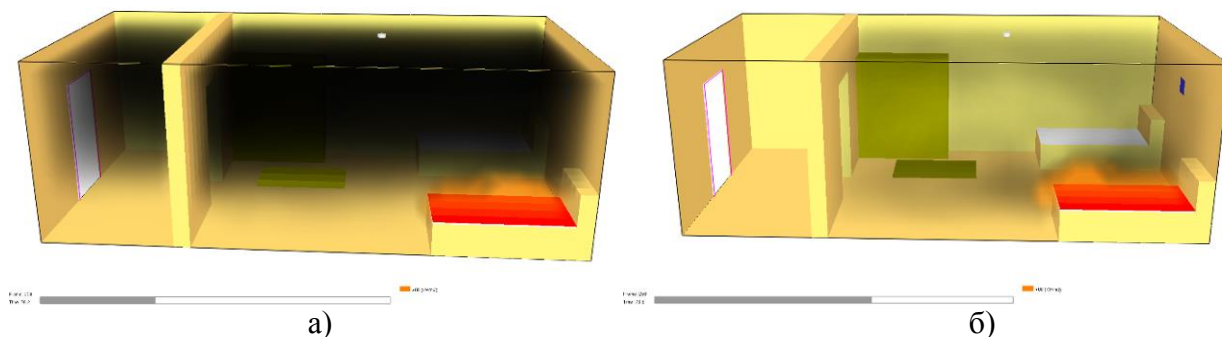


Рисунок 4 - Модель помещения без (а) и с системой (б) противодымной защиты (76 с от начала пожара).

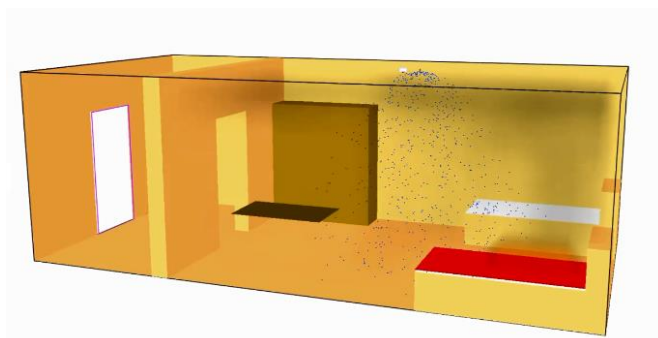


Рисунок 5 - Модель помещения с работающей системой пожаротушения.

Один из видов противодымной защиты — это создание избыточного давления в защищаемом объеме. Модель (рис.6) фрагмента 16-ти этажного жилого здания с лестничной клеткой типа Н2 [2].

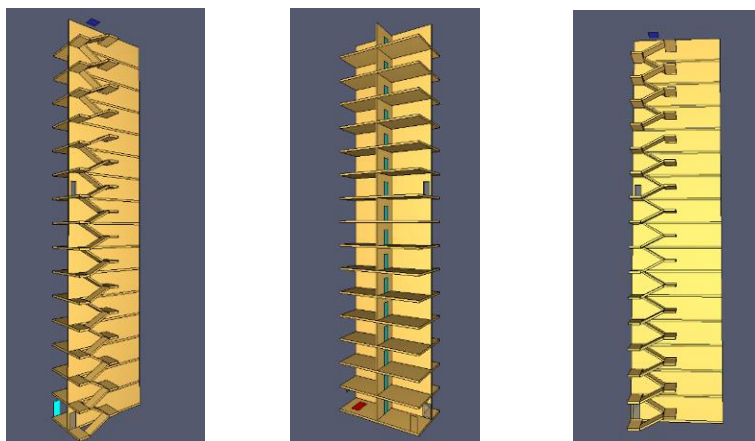


Рисунок 6 - Модель лестничной клетки H2.

Выполнено численное моделирование противодымной защиты 16-ти этажного здания с лестничной клеткой H2. Рассчитанные параметры насоса обеспечивают давление на уровне 1 этажа в 20 Па (рис.7). При этом давление на последнем этаже не превышает 150 Па, что дает возможность обойтись без расчески.

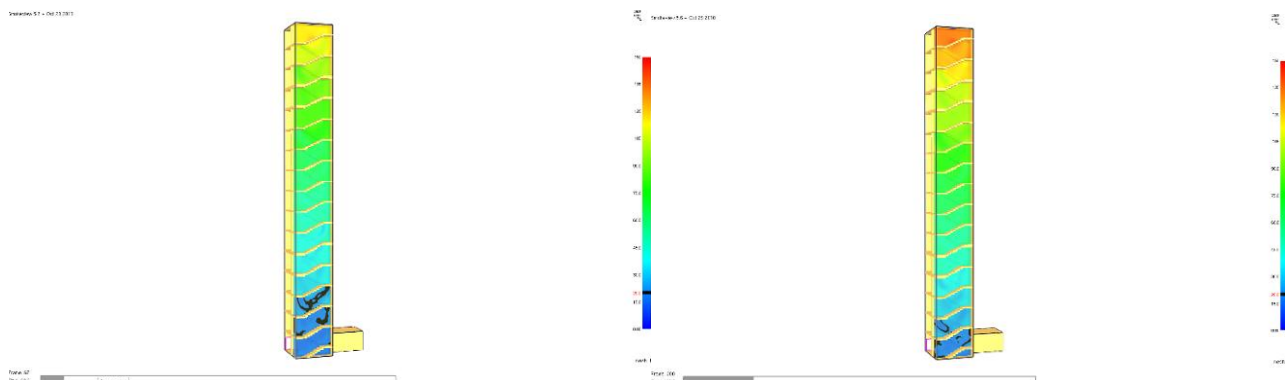


Рисунок 7 - Поля давлений в лестничной клетке H2 на 60 и 180 секундах (черная зона – зона давления 20 Па).

Для гидроаэродинамических расчетов может быть рекомендованы универсальная программные комплексы FlowVision [9], FDS [5].

Математическое моделирование процессов, происходящих при пожаре.

Появление мощных и доступных вычислительных систем, расширение познаний в области физики и химии процессов, происходящих при горении, создание эффективных методов расчета турбулентной аэродинамики, сложного теплообмена и химического реагирования сделали возможным проведение моделирования процессов, происходящих при пожарах, с достаточной для практической деятельности точностью.

Основные виды расчетов:

- прогнозирование развития пожара;
- прогнозирования динамики распространения опасных факторов пожара;
- расчет времени эвакуации;
- расчет величины пожарного риска.

Наибольший интерес для расчета опасных факторов пожара представляет дифференциальное моделирование, более точно и подробно описывающее развитие пожара. В этом случае используются фундаментальные законы сохранения количества движения, энергии и массы, записанные для элементарных объемов, на которые разбивается рассматриваемая область пространства. Дифференциальные модели называются также **полевыми**, или CFD-моделями (Computational Fluid Dynamics). Основу

дифференциального метода моделирования пожаров составляют математические модели, учитывающие процессы конвективного и радиационного теплопереноса, процессы горения в газовой фазе и другие. Эти модели разработаны на основе системы полных нестационарных уравнений Навье-Стокса, уравнений сохранения энергии и диффузии для реагирующих компонентов.

Для расчета параметров пожара полевым методом рекомендуется использование пакета прикладных программ FDS [5]. Smokeview - сопутствующая программа, которая отображает выходные файлы FDS в графическом формате.

В качестве примера представлено моделирование нескольких сценариев пожара в учебном заведении (рис.8) [3]. Один из сценариев возможного пожара в клубе, второй в гардеробной были выбраны как наиболее из худших вариантов развития пожара (рис.9).

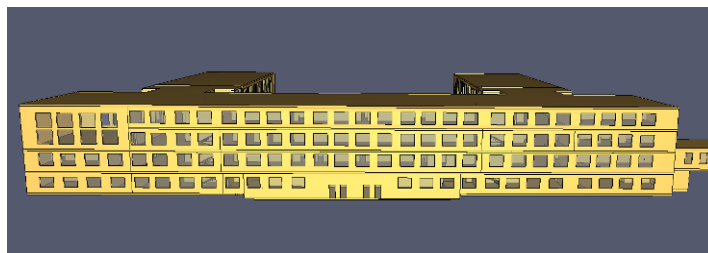


Рисунок 8 - Модель учебного заведения.

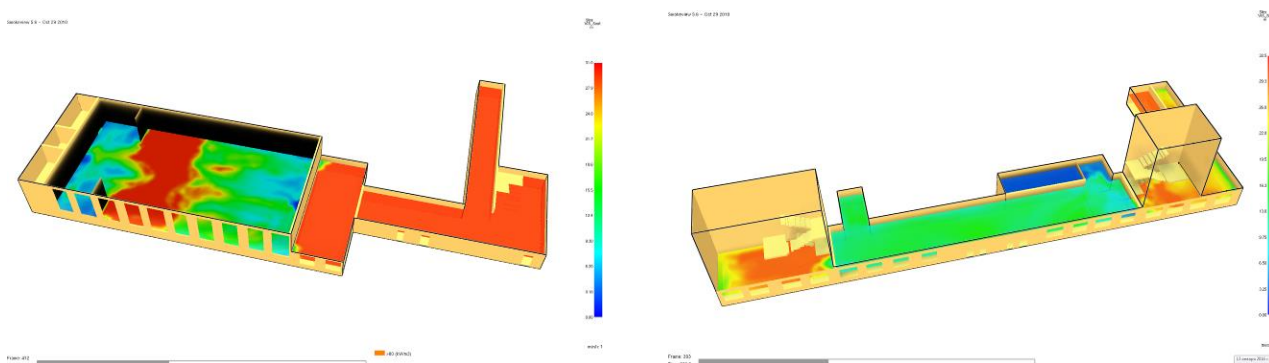


Рисунок 9 - Поля видимости при условном пожаре в клубе и гардеробе.

Pathfinder - программа для моделирования эвакуации в чрезвычайных ситуациях, включает в себя пользовательской графический интерфейс для создания модели и модуль для просмотра анимированных трехмерных результатов [6]. Pathfinder позволяет выполнить расчет времени эвакуации и времени существования скоплений по индивидуально-поточной модели движения (рис.10).

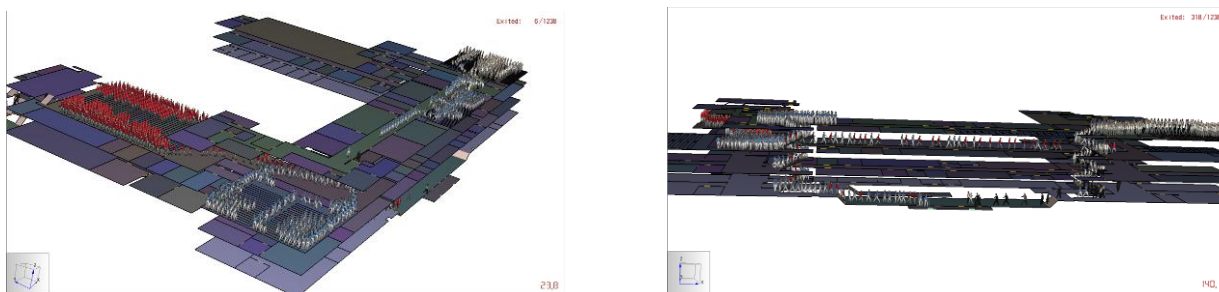


Рисунок 10 - Моделирование эвакуации с учебного заведения.

Визуализация объектов.

Интерактивное 3D-приложение позволяет визуализировать результаты моделирования. Виртуальный тур или интерактивное 3D-приложение — программный

продукт, позволяющий осуществлять визуализацию, навигацию, взаимодействие с 3D-моделью.

Интерактивное 3D-приложение позволяет организовать тренинги для удаленных или опасных производств. Имея 3D-модель нефтебазы или энергоблока АЭС (рис.11), нет необходимости выезжать на объект для проведения обучения: провести подготовку можно и в аудитории, обучаемый не только получит возможность виртуально исследовать объект, но и вместе с инструктором проиграть различные сценарии развития ситуации.

Использование интерактивных 3D-приложений повышает уровень пожарной и техногенной безопасности, особенно на опасных производственных объектах. 3D приложение позволяет не только смоделировать развитие аварийной ситуации, но и визуализировать процесс развития, оценить возможные последствия. При этом для повышения эффективности пользователь может наблюдать над процессом как со стороны, так и находясь внутри виртуального объекта (рис.12).

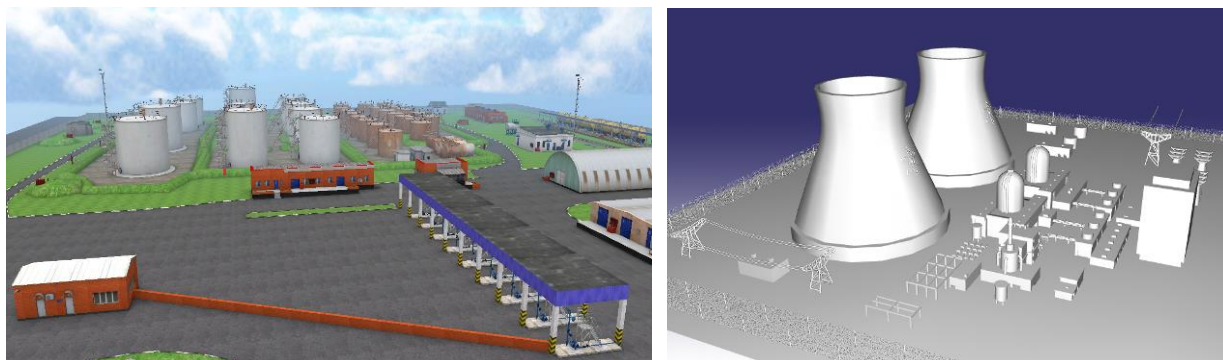


Рисунок 11 - Модели нефтебазы и энергоблока АЭС.



Рисунок 12 - Модель помещения производственного предприятия.

Кафедра пожарно-профилактической работы проводит обучение специалистов по расследованию пожаров информационным технологиям и применению расчетных методов при расследовании пожаров; проведение исследований и обучения специалистов в области экспертизы пожарной безопасности; оценка соответствия зданий, сооружений и проектной документации требованиям действующих нормативных документов по пожарной безопасности, в том числе подготовка технического заключения по результатам оценки; расчет динамики пожара в современных компьютерных программах с использованием полевого моделирования; проведение консультаций по делам о пожарах, анализ и экспертная оценка нормативных и технических документов. Занятия проводятся с использованием современных интерактивных средств обучения (рис.13).



Рисунок 13 - Проведение занятий с использованием интерактивных средств.

Исходя из вышеизложенного, а также учитывая процессы интеграции и перехода к европейским стандартам и методикам расчета, предлагается внедрить в учебные заведения структуры ГСЧС современные программные и тренировочные комплексы, позволяющие повысить уровень подготовки специалистов пожарной и техногенной безопасности.

Вывод. Применение информационных технологий при подготовке специалистов пожарной и техногенной безопасности позволяет повысить научный уровень, достоверность, доказательное значение и наглядность результатов экспертных исследований и, в целом, добиться качественно нового уровня поддержки обеспечения пожарной безопасности на объектах разных форм собственности и видов деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цвиркун С.В. Обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре в помещении гостиницы высотой более 26,5 м // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2013. – №15. – С. 142-146.
2. Цвиркун С.В., Березовський А.И. Мельник В.П. Моделирование незадымляемых лестничных клеток программно-вычислительным комплексом fire dynamics simulator (FDS). // Науковий вісник будівництва; вип. №1 (79). – Харків : ХНУБА, 2015. – С. 214–219.
3. Цвиркун С.В., Джулай А.Н. Проведение учений по эвакуации в академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля // Материалы 2-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов "Проблемы техносферной безопасности - 2013". Москва. – С. 81–82.
4. Ковалев А.И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий: дисс..... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Ковалев Андрей Иванович. – К., 2012. – 163 с.
5. Fire Dynamics Simulator [Электронный ресурс] <http://fds.sitis.ru/>
6. Agent Based Evacuation Simulation Advanced movement simulation combined with high-quality 3-D animated results, gives you reliable answers quickly [Электронный ресурс] <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>
7. Ansys [Электронный ресурс] <http://www.ansys.com/>
8. Mathcad [Электронный ресурс] <http://www.ptc.com/engineering-math-software/mathcad>.
9. FlowVision [Электронный ресурс] <https://fv-tech.com>.

УДК 614.8

О. М. Мирошник, к. т. н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

У статті здійснений аналіз надзвичайних ситуацій, які виникали на території України. Визначено основні процеси, які відбуваються під час надзвичайних ситуацій. Проаналізовано моделі розповсюдження надзвичайних ситуацій. На основі складових моделей розповсюдження надзвичайних ситуацій розроблено математичну модель їх ліквідації. Зроблені висновки щодо ефективності використання математичної моделі ліквідації надзвичайної ситуації та наведені приклади оптимальних рішень керівника ліквідації надзвичайної ситуації залежно від обстановки.

Ключові слова: математична модель, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Зростання масштабів господарської діяльності і кількості великих промислових комплексів, концентрація на них агрегатів і установок великої і надвеликої потужності, використання у виробництві великих кількостей потенційно небезпечних речовин збільшує вірогідність виникнення техногенних аварій. Надзвичайні ситуації (НС) техногенного походження загрожують людині, економіці і природному середовищу або здатні створити загрозу внаслідок імовірного вибуху, пожежі, затоплення або забруднення (зараження) навколишнього середовища.

На більшій частині території України проявляються НС техногенного або природного походження, спровоковані антропогенною діяльністю на потенційно-небезпечних об'єктах (ПНО). Такі об'єкти є потенційними джерелами НС.

В Україні налічується 24,4 тисячі ПНО, із яких 6,5 тисячі відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки. Особливе занепокоєння викликають 1211 об'єктів промисловості, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 805 тис. тонн небезпечних хімічних речовин. Усього у зонах можливого зараження цих об'єктів проживає близько 12 млн. осіб [5].

Згідно статистичних даних [5] в Україні щороку виникає понад 100 НС. Тільки у 2014 році зареєстровано 143 НС, на яких загинуло 287 осіб та постраждало 680 осіб. Порівняно з 2013 роком зареєстровано збільшення кількості загиблих у НС на 13,4 %. Такі показники вказують на те, що питання пожежної та техногенної безпеки є актуальним і потребує особливої уваги.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Забезпечення високого рівня пожежної та техногенної безпеки в багатьох країнах світу здійснюється шляхом розробки моделей, методів прогнозування та моніторингом НС. Проблема розробки моделей, методів та систем моніторингу НС локального і регіонального забруднення місцевості, їх використання для експериментального вивчення забруднення атмосферного повітря, ґрунту, водних об'єктів вивчали багато науковців, у тому числі: Ю.О. Абрамов, Землянський О.М., Захаренко О.В., Шостак І.В.

Детальний аналіз наукових публікацій та проблем моніторингу надзвичайних ситуацій [1,2,4] свідчить про недостатність використання лише табличної інформації та відомих підходів до виконання оперативних дій підрозділів цивільного захисту (ЦЗ), а і про необхідність врахування тактичних можливостей даних підрозділів та місць їх розташування на оперативних позиціях.

На практиці після виникнення аварії проходить значний час, пов'язаний з розрахунками, урахуванням впливових факторів, розробкою сценарію дій, який найчастіше виявляється зовсім не оптимальним, внаслідок критичності часу на прийняття рішень. Крім того, відзначимо, що більшість хімічних аварій відбувається внаслідок композиції детермінованих та випадкових процесів і мають дві складові (оперативну та довготривалу):

по-перше, вони відбуваються, як правило, раптово в результаті збігу обставин й їх наслідком є людські жертви і матеріальні збитки; по-друге, викид небезпечної хімічної речовини (НХР) призводить до забруднення навколишнього середовища і, як наслідок, знову до жертв і збитків, які відбуваються, на відміну від першого випадку, не негайно, а впродовж певного часу. Таким чином, моніторинг НС має комплексний характер: прогнозування НС як такої, що може статися, і прогнозування дій підрозділів ЦЗ у часі.

Постановка задачі та її розв'язання. Основна мета дослідження полягає у розробці математичної моделі ліквідації надзвичайної ситуації. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести аналіз основних складових моделей поведінки надзвичайних ситуацій;
- визначити вихідну інформацію для побудови математичної моделі;
- визначити керуючі параметри математичної моделі та встановити їх обмеження.

Результати дослідження дозволять визначити необхідну кількість сил та засобів цивільного захисту необхідних для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Найбільш загальна постановка задачі оптимізації полягає в поєднанні доставки сил і засобів ЦЗ з виконанням робіт з ліквідації наслідків НС у секторах з урахуванням маневрування. Дані операції розглядаються в часі, при чому приймається розрахунок такий період, протягом якого умови робіт і параметри НС можна прийняти постійними. Процес доставки може здійснюватися протягом усього періоду, а ліквідація НС відбувається в міру прибуття сил і засобів в одному або декількох секторах одночасно. Після закінчення робіт у деякому секторі відбувається перебазування зайнятих у цьому секторі сил і засобів в інший сектор, де роботи ще не починалися. Розглянутий в задачі період ліквідації наслідків НС розбивається на кілька інтервалів, наприклад, якщо планування проводиться наперед, що стоїть в робочу зміну, в якості інтервалу можна прийняти 1 год. Такий підхід дозволяє перейти від безперервного варіанту постановки завдання до простішого дискретного, при якому кожному інтервалу часу відповідає певний номер.

В якості керуючих параметрів приймаються число підрозділів певного типу, які мають деяку продуктивність, оскільки облік кожного технічного засобу і кожного рятувальника з інструментом пов'язаний зі збільшенням розмірності задачі. Передбачається також, що роботи з ліквідації наслідків НС сектора проводиться одними і тими ж силами і засобами безперервно до їх повного закінчення, тобто, не допускається прибуття або вибуття підрозділів ЦЗ до закінчення робіт в секторі.

Вихідною інформацією при побудові даної математичної моделі є відомості про доставку сил і засобів ЦЗ і перекидання їх з сектора в сектор, параметри НС в секторах, техніко-економічні показники використання сил і засобів.

Введемо наступні позначення:

$\{T_{kij}\}$ – матриця витрат часу на перебазування сил і засобів із підрозділів «дислокації» у сектори ліквідації НС (t_{okj}), із сектора в сектор (T_{kij} при $k_i \neq 0$) при $k_i = k_j$, $t_{kij} = 0$;

P_k, V_{kp}, V_{nk} – відповідно протяжність зони забруднення до початку робіт із ліквідації, швидкість поширення зони забруднення і периметрична швидкість в кожному секторі;

t_k^*, t_k^{**} – відповідно час початку та тривалість робіт з ліквідації наслідків НС в кожному секторі;

$A_m(t)$ – кількість підрозділів, що доставляється w -им способом у t – інтервал часу;

$X_o(t)$ – кількість підрозділів, які прибули на ліквідацію наслідків НС в t ін. інтервал часу;

$A_o(t)$ – кількість підрозділів, готових до відправки на ліквідацію НС в t -ий інтервал часу;

$\{t_m\}$ – вектор витрат часу на доставку підрозділів ЦЗ m -им способом.

Виходячи з того, що при вирішенні оптимізованого завдання в якості керуючих параметрів можуть бути $A_m(t)$, значення яких залежить від вибору способів доставки підрозділів ЦЗ до місця ліквідації НС, встановимо обмеження на них:

$$A_m^*(t) \leq A_m(t) \leq A_o(t-1) + A_m^*(t),$$

$$\text{де: } A_m(t-1), \text{ при } \{A_m(t-1) \neq 0 \wedge (t < i+1)\}$$

$$A_m^*(t) = A_m(t-1), \text{ при } \{(A_m(t-1) \neq 0) \wedge (t > i+1) \wedge (\prod_{i=t-i-1}^{t-1} A_m(i) = 0)\} 0, \text{ при}$$

$$\{(A_m(t-1) \neq 0) \wedge (t > i+1) \wedge (\prod_{i=t-i-1}^{t-1} A_m(i) \neq 0)\} 0, \text{ при } A_m(t-1) = 0$$

Сенс обмежень в тому, що число перевезених в t інтервал часу w -им способом рятувальних формувань повинно бути не менш ніж знаходяться в процесі доставки, але не перевищувати суми наступних і знову відправлених.

Число підрозділів, що знаходяться на ліквідації наслідків НС в t -ий інтервал часу дорівнює сумі, що прибули на в попередньому інтервалі і новоприбулих до моменту t підрозділів:

$$X_o(t) - X_o(t-1) + X_o^*(t),$$

$$\text{де: } X_o^*(t) \sum_{m-1}^{m1} [A_m(t) - A_m(t-1)]$$

Час початку робіт у кожному секторі визначається наступним чином

$$t_k^* = \left\{ \begin{array}{l} tt, \text{ при } \{(X_t(t) = 0 (\sum_{i=1}^t X_k(i) = 0))\} \\ t, \text{ при } \{(X_k(t) > 0 \wedge (X_k(t-1) = 0))\} \\ t_k^*, \text{ при } \{(X_k(t) = 0 \wedge (\sum_{i=1}^t X_k(i) \neq 0))\} \end{array} \right\}$$

Значення tt , що перевищує максимально важливу величину t , присвоюється у випадку, якщо ліквідація наслідків НС в кожному секторі ще не розпочиналася, у другому випадку t_k^* приймає значення t , при якому почалася ліквідація наслідків НС в секторі. При подальшому зростанню t час початку робіт у секторі зберігається.

Тривалість робіт з ліквідації наслідків НС в кожному секторі обчислюється за формулою:

$$t_k^{**} = \frac{P_k(t_k^*)}{V_{\pi} X_k(t) - \frac{1}{2} V_{\pi k}}$$

Число рятувальних підрозділів, зайнятих у k_i -ому секторі в $(t+1)$ -му інтервалі має задовольняти обмеженням:

$$X_{ki}(t+1) \leq X_{kikj}^*(t)$$

$$\sum_{ki=1}^{k1} X_{ki}(t+1) \leq \sum_{ki=1}^{k1} \max X_{kikj}^*(t)$$

при початкових умовах: $X_k(0)X_k(I) = X_k$ для всіх k

$$X_{kikj}^*(t) = \left\{ \begin{array}{l} X_{kj}(t - t_{kikj}), \text{ при } t \geq t_{kikj} + t_{kj}^* + t_{kj}^{**} - 1 \\ 0, \text{ при } t < t_{kikj} + t_{kj}^* + t_{kj}^{**} - 1 \\ \text{для } ki, kj=1, k1, ki \neq kj \end{array} \right\}$$

$$X_{ko}^*(t) = \left\{ \begin{array}{l} X_o(t - t_{k10}), \text{ при } t \geq t_{k10} \\ 0, \text{ при } t < t_{ko} \\ \text{для } k_{jo} = 0 \end{array} \right\}$$

Ці обмеження враховують наявні ресурси, причому приймається в розрахунок те, що частина з них знаходиться в стадії доставки до місця проведення робіт або перебазування з

сектора в сектор. Інша частина сил і засобів, зайнятих виконанням робіт в секторах, і дані обмеження не допускають їх розподілу в інші сектори.

Основне призначення останньої групи обмежень полягає у визначенні можливості використання сил і засобів служби ЦЗ, раніше зайнятих в деяких секторах, з урахуванням часу виконання робіт у попередніх секторах і часу перебазування у розглянутий сектор. Має також виконуватися співвідношення, що обмежує перебування сил і засобів підрозділів ЦЗ в секторі:

$$\sum_{i=1}^t X_k(i) \leq t_k^{**} \max X_k(t)$$

При вирішенні оптимізаційних задач з використанням розглянутої математичної моделі визначається порядок обчислення $X_k = (t+1)$ в залежність від попереднього значення $X_k = (t)$:

$$X_k(t+1) = \begin{cases} 0, \text{ npu } t < t_k^* \\ X_k(t+1), \text{ npu } t = t_k^* \\ X_k(t), \text{ npu } t_k^* \leq t_k^* + t_k^{**} \\ 0, \text{ npu } t > t_k^* + t_k^{**} \end{cases}$$

Останнє співвідношення означає, що, якщо роботи в кожному секторі почалися то вони тривають до повного закінчення. Якщо ж роботи в секторі вже закінчилися то всі наступні значення $X_k = 0$. У разі, коли роботи в секторі ще не розпочиналися, значення $X_k = (t+1)$ вибирається відповідно з іншими обмеженнями.

Наведені вище співвідношення дозволяють формалізувати процес ліквідації наслідків НС і дають можливість застосовувати математичні методи оптимізації при плануванні робіт підрозділів ЦЗ. В якості цільової функції можуть бути прийняті різні техніко-економічні показники (наприклад, витрати трудових і матеріальних ресурсів), які залежать від керуючих параметрів $A_m(t)$ і $X_k(t)$.

Представлена математична модель процесу ліквідації наслідків НС достатньо складна при використанні її для задач оптимізації у зв'язку з цим становлять інтерес деякі окремі випадки даної математичної моделі. Розглянуте завдання розподілу ресурсів передбачає що сили і засоби, які залучаються для ліквідації наслідків НС, не міняють вид робіт або сектор в якому вони спочатку спрямовані. Фактично в цій оптимізаційній задачі був використаний частковий випадок узагальненої математичної моделі процесу ліквідації наслідків НС, в якій число розглянутих інтервалів часу дорівнює одиниці. Така постановка завдання не передбачає використання одних і тих же сил і засобів для послідовного виконання різних видів робіт, тобто маневрування силами і засобами в процесі ліквідації наслідків НС.

Іншим частковим випадком даної моделі є завдання вибору способу доставки на місце ведення оперативних дій і черговості виконання робіт у ряді секторів при застосуванні одного рятувального підрозділу (наприклад, аварійного загону). При цьому оптимальне рішення залежить від витрат часу на доставку до місця аварії і перебазування підрозділу з одного сектора в інших і параметрів аварії в секторах. Проведенні розрахунки показали, що в тих випадках, коли час перебазування малий, відносно з тривалістю робіт у секторах – черговість гасіння не залежить від «фронту» поширення НС і периметральної швидкості розповсюдження небезпечних хімічних речовин в секторах. Якщо час перебазування сектора в сектор схожий з часом робіт в секторі, то на загальну тривалість ведення оперативних дій впливають всі розглянуті фактори, і оптимальне рішення визначається їх конкретним поєднанням. Так при рівних витратах часу на перебазування підрозділу ЦЗ, в першу чергу потрібно ліквідувати наслідки НС в секторі, що має велику периметричну швидкість, тобто оптимальне рішення за критеріями витрат трудових і матеріальних ресурсів або тривалості

часу розвитку НС (до її повної локалізації) відповідає послідовності $V_{п1} > V_{п2} > \dots > V_{пk}$. Якщо периметричні швидкості поширення хмари НХР в секторах однакові то оптимальним буде той варіант при якому сумарний час мінімальний.

Висновки. Підводячи підсумок роботи можна відзначити, що в ній вирішено одну з актуальних задач сьогодення, а саме розроблено математичну модель ліквідації наслідків НС на основі складових моделей розповсюдження НХР.

На основі аналізу основних складових моделей поведінки НС встановлено, що більшість таких моделей містять моделі прогнозування зони НС, а також моделі відображення просторової інформації про місцевість і її форми. Відсутність в моделях прогнозування складової частини введення сил і засобів ЦЗ, не відтворює реальні параметри обстановки НС.

Визначені керуючі параметри математичної моделі дозволяють спрогнозувати обсяг робіт, який може бути виконаний одним підрозділом ЦЗ і передбачити кількість підрозділів, яку необхідно залучити до ліквідації наслідків НС.

Розроблена математична модель ліквідації НС дозволяє скорегувати дії підрозділів ЦЗ, щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, шляхом визначення оптимального методу ведення оперативних дій та доставки до місця НС необхідної кількості сил і засобів з урахуванням різного роду внутрішніх та зовнішніх факторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Басманов А.Е. Определение зон взрывоопасных концентраций опасного химического вещества в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту». – Черкаси, АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – С. 66-69.
2. Землянский О.Н. Прогнозирование и мониторинг предаварийного развития процессов / О.Н. Землянский / Матеріали III міжн. наук.-практ. конф. «Системний аналіз. Інформатика. Управління» САІУ-2012. – Запоріжжя: КПУ, 2012. – С. 119-120.
3. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012.
4. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін, П.А. Коротинський, С.М. Миронець, В.О. Росоха, В.В. Тютюнник, В.М. Чучковський, Р.І. Шевченко – Х.: Вид-во АЦЗУ, 2005. – 530 с.
5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році.
6. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Затверджено наказом МНС України від 13.03.12 р. №575
7. Указ Президента України від 16 січня 2013 року № 20/2013 «Положення про Державну службу України з надзвичайних ситуацій».

АННОТАЦІЇ/ABSTRACTS

UDC 539.3:62-50:614.8

A. Belikov, Dr. Of Sc. (Eng), V. Shalomov, Cand. Of Sc. (Eng), I. Maladyka, Cand. Of Sc. (Eng), O. Sabitova, Postgraduate, D. Fedorenko Cand. Of Sc. (History)

EFFECTS OF STRESS-STRAIN STATE IN DYNAMIC ACTION ON SAFETY OF FIRE SAFETY HELMETS

The results of the study the strength characteristics of a protective helmet and fire a mathematical model of a fragment of a monolithic transparent visor. A comprehensive approach, which allows to evaluate the safety of a protective helmet with a visor in the development of new species.

УДК 539.3:62-50:614.8

А. С. Беліков, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., О. А. Сабітова, И. Г. Маладика, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. і. н.

ВПЛИВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ ВПЛИВІ НА БЕЗПЕКУ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАХИСНОЇ КАСКИ ПОЖЕЖНИКА

Представлені результати дослідження міцнісних характеристик захисної каски пожежника і запропонована математична модель фрагменту прозорого монолітного забрала. Запропонований комплексний підхід, що дозволяє оцінювати безпеку застосування захисної каски із забралом при розробці їх нових видів.

UDC 614.84

A. Belikov, Dr. Of Sc. (Eng), V. Shalomov, Cand. Of Sc. (Eng), E. Borsuk, Postgraduate, I. Trifonov, Dr. Of Sc. (Eng), E. Dzecina

INTRODUCTION OF FACILITIES OF PROTECTING FROM A FIRE FOR INCREASE OF FIRE-RESISTANCE OF BUILD CONSTRUCTIONS

The results of the pilot tests developed fire retardant compositions, which have shown that their use increases the operational safety of buildings, increase the safety of rescue operations in the event of extreme conditions on the object with high temperature exposure.

УДК 614.84

А. С. Беліков, д. т. н., проф., В. А. Шаломов, к. т. н., доц., И. В. Трифонов д. т. н., проф., ГВУЗ «ПГАСА»,

О. В. Борсук, Е. В. Дзєцина,

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Представлені результати дослідно-промислових досліджень розроблених вогнезахисних композицій, які показали, що їх застосування дозволяє підвищити безпеку експлуатації будівельних об'єктів, підвищити безпеку аварійно-рятувальних робіт при виникненні екстремальних умов на об'єкті з високотемпературним впливом.

UDC 614.8

S. Bobrysheva, Dr. of Sc., V.B. Bodnaruk

ALTERNATIVE FIRE EXTINGUISHING MEANS

The brief review of the information on existing alternative fire extinguishing means is presented. Possibilities of improvement of their operational properties by means of additives

functionally modified ultra disperse clays are shown The authors development in this area are presented. The way of further investigations are defined and recommendations of their usage are given.

УДК 614.8

С. Н. Бобришева, к. т. н., доц., В. Б. Боднарук

АЛЬТЕРНАТИВНІ ЗАСОБИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

Представлений короткий огляд інформації щодо існуючих альтернативних засобів пожежогасіння. Показані можливості покращення їх експлуатаційних властивостей за допомогою добавок функціонально модифікованих ультрадисперсних глин. Представлені власні розробки авторів у цій області. Визначені шляхи подальших досліджень та подані рекомендації щодо їх використання.

UDC 614.84

A. Kireev, Dr. Sc. (Engineering), D. Saveliev

GEL COATING AS EFFECTIVE MEANS OF FIRE PROTECTION: A REVIEW

The review contains a description of the fire retardant properties of the gel coatings which appear on the surfaces when two components of the gelforming systems are discharged separately and simultaneously. The prospects of applying this method for protecting solid combustible materials from different kinds of fires, including forest fires, are demonstrated.

УДК 614.84

О. О. Кіреєв, д. т. н, доц., Д. І. Савельєв

ГЕЛЕОБРАЗНІ ПОКРИТТЯ – ЕФЕКТИВНІ ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО ВОГНЕЗАХИСТУ. ОГЛЯД

В огляді проаналізовано основні характеристики оперативних вогнезахисних властивостей гелеобразних покриттів, які утворюються на покриттях під час одночасно-окремого подання компонентів гелеутворювальних систем. Продемонстровано перспективність використання такого способу оперативного вогнезахисту твердих горючих матеріалів у ході тушіння різних видів пожеж, у тому числі лісових.

УДК 614.841:536.46

О. В. Кириченко, д. т. н., с.н.с., А. С. Барановский, Е. П. Кириченко, Р.Б. Мотричук

АНАЛИЗ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ХРАНЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

Представлен анализ исследований пожаровзрывоопасных поражений различных объектов, вызванных преждевременным загоранием пиротехнических изделий в процес се их хранения, транспортирования и применения. Установлено причины их преждевременного разрушения в процес се хранения, транспортирования и применения. При проведении исследований установлено влияние термического воздействия на металлические корпуса общепромышленных пиротехнических изделий (осветительных и ИК-излучателей) в вышеуказанных условиях применения, и, соответственно, определены дальнейшие пути повышения пожарной безопасности пиротехнических изделий.

Ключевые слова: пиротехнические изделия, нитритосодержащие окислители, нитатно-металлические источники зажигания.

УДК 614.841.45

М. І. Копыльный, В. Г. Бенедюк, И. С. Стилик, Т. Ю. Нижник, к. т. н., Я. В. Балло

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВНУТРЕННЕГО
ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА ДОБАВЛЕНИЕМ К ВОДЕ ЖИДКОГО
НАТРИЕВОГО СТЕКЛА**

Приведено результаты исследований касательно влияния добавления к воде жидкого натриевого стекла на процесс скорости создания биологического заростание на внутренней поверхности противопожарного водопровода, а также его влияние на огнетушащую эффективность во время тушения очагов пожара класса В тонкораспыленными струями.

Ключевые слова: силикат натрия, биологическое заростание, огнетушащая эффективность, внутренний противопожарный водопровод.

N. Kopylnyy, V. Bedyuk, I. Stylyk, T. Nyzhnyk, Cand. Of Sc. (Eng.), Y. Ballo

**THE IMPROVEMENT OF INTERNAL FIRE
WATER SUPPLY SYSTEM EFFICIENCY BY THE USE OF SODIUM GLASS LIQUID**

The results of research adding solution containing sodium liquid glass on the rate of formation process of biological overgrowth in the inner surface on the fire pipe and studied its effect on extinguishing effectiveness in extinguishing fires of class B dispersed jets.

Keywords: sodium glass, biological overgrowth, extinguishing effectiveness, the internal fire water supply.

UDC 614.895.5:621.

T. Kostenko, Cand. Of Sc.(Eng)

POSSIBILITIES OF PROTECTION FROM THERMAL EFFECTS FOR RESCUERS

Statistical analysis of the fire situation in Ukraine over the last decade. Review of existing means of reducing the negative effects of heat on rescuers. Insufficient levels of permissible ambient temperature and the intensity of the heat radiation of short duration determined in the areas of thermal impression. The scheme of distribution of thermal energy in the system “fire - means against of thermal protection – rescuer” when running the cooling circuit. Qualitative analysis of the types of negative effects on rescue workers in the area of thermal impression and classification of the main methods of localization. The perspective is combined tool that provides a combination of reflective beam coating with the removal of heat from the coolant space under clothing.

УДК 614.895.5:621.

Т.В. Костенко, к. т. н

ВОЗМОЖНОСТИ ЗАЩИТЫ СПАСАТЕЛЕЙ ОТ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Статистический анализ пожарной ситуации в Украине в течение последнего десятилетия. Обзор существующих средств снижения негативного теплового воздействия на спасателей. Недостаточные допустимые уровни температуры окружающей среды и интенсивности теплового излучения определяют небольшую продолжительность работы в зонах теплового поражения. Схема распределения тепловой энергии в системе «пожар - средства протитепловой защиты - спасатель» при проточной схеме охлаждения. Качественный анализ видов негативного воздействия на спасателей в зоне теплового поражения и классификация основных способов их локализации. Перспективным является комбинированное средство, предусматривающее сочетание отражающего лучи покрытия с выносом тепла хладоносителем из пространства под одеждой.

UDC 354.404+614.84

S. P. Mosov, Doctor of Military Science, Professor, M. P. Trembovetskyi, Candidate of Technical Science

FIREGROUND RECONNAISSANCE USING PILOTLESS AIRCRAFTS

The article discloses the terms and methods for use of pilotless aircrafts for prompt performance of tasks of fireground reconnaissance and places of fire possible occurrence in order to meet requirements effecting on efficiency of reconnaissance measures.

Key words: fire, reconnaissance, pilotless aircrafts.

УДК 354.404+614.84

С. П. Мосов, д. в. н., проф., М. П. Трёмбовецкий, к. т. н., с. н. с.

РАЗВЕДКА ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В статье исследованы условия и способы применения беспилотных летательных аппаратов для оперативного выполнения задач разведки пожаров и мест их вероятного возникновения в интересах обеспечения требований, от выполнения которых зависит эффективность проведения разведывательных мероприятий

Ключевые слова: пожар, разведка, беспилотные летательные аппараты.

UDC 614.841.332

O. Nuianzin, Cand. Of Sc. (Eng), S. Pozdeyev, Doctor Of Sc. (Eng), prof., V. Nuianzin, Cand. Of Sc. (Eng), S. O. Sidney (Eng)

MATHEMATICAL MODELING OF HEAT TRANSFER IN THE CHAMBER KILNS FIRING INSTALLATIONS FOR FIRE RESISTANCE TESTS FOR LOAD-BEARING WALLS

This paper presents the results of mathematical modeling of fire resistance test bearing walls in different configurations firing furnaces. Based on the results plotted values dispersion surface temperature of each oven chamber simulated designs for computational experiments. Defined configuration with the most uniform temperature distribution on the heating surface vertical design.

УДК 614.841.332

А. М. Нуянзин, к. т. н., С. В. Поздеев, д. т. н., проф., В. М. Нуянзин, к. т. н., С. А. Сидней

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОБМЕНА В КАМЕРЕ ОГНЕВЫХ ПЕЧЕЙ УСТАНОВОК ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ НЕСУЩИХ СТЕН

В данной работе представлены результаты математического моделирования процесса испытания на огнестойкость несущих стен в различных конфигурациях огневых печей. Исходя из полученных результатов построены зависимости значений дисперсии температуры на поверхности каждой из смоделированных конструкций камеры печи в течение вычислительного эксперимента. Определена конфигурация с самым равномерным распределением температур на обогревательной поверхности вертикальной конструкции.

UDK 624.012

V. I. Osipenko, Doctor Of Sc. (Eng), prof., V. K. Slovinskiy, Cand. Of Sc. (Eng), A. V. Pozdeyev, Cand. Of Sc. (Eng), D. S. Fedorenko, Cand. Of Sc

AN IMPROVED METHOD OF FIRE RESISTANCE TEST OF CONCRETE COLUMNS

The questions of realization of experimental-calculation method of estimation of fire-resistance of reinforced concrete columns on the base of their fire tests without the appendix of the mechanical loading are considered in this article. Applying the developed complex of procedures

for realization of the developed method the limit of fire-resistance of reinforced concrete column is got. It is shown, that the developed experimental-calculation method is effective for determination of limits of fire-resistance of bearing reinforced concrete build constructions.

Keywords: fire test, fire stove, reinforced concrete column, experimental-computational method, interpolation, temperature field.

УДК 624.012

В. І. Осипенко, д. т. н., проф., В. К. Словінський, к. т. н., А. В. Поздєєв, к. т. н., доц., Д. С. Федоренко, к. и. н.

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ВИПРОБУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

В статті розглянуті питання реалізації експериментально-розрахункового методу оцінки вогнестійкості залізобетонних колон на основі їх вогневих випробувань без прикладання механічного навантаження. Застосовуючи розроблений комплекс процедур для реалізації розробленого методу одержана межа вогнестійкості залізобетонної колони. Показано, що розроблений експериментально-розрахунковий метод є ефективним для визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних будівельних конструкцій.

Ключові слова: випробування на вогнестійкість, вогнева піч, залізобетонна колона, експериментально-розрахунковий метод, інтерполяція, температурне поле.

UDK614.841.41

S. V. Pozdeev, Doctor Of Sc. (Eng), prof., Y. A. Otrosh, Cand. Of Sc. (Eng), V. V. Niznik, Cand. Of Sc. (Eng), O. P. Boris

EVALUATION OF CLASS FIRE SELF-SUPPORTING WALLS CONCRETE MODULE SPENT NUCLEAR FUEL STORAGE

The technique of evaluation of fire resistance class self-supporting reinforced concrete walls. Developed a methodology of calculation methods of fire resistance limits based on the use of finite element method and finite difference method for fire safety reinforced concrete modules storing spent nuclear fuel.

Keywords: accidents, fire, fire resistance class, fire resistance, storage modules, concrete wall, tabular method, finite differences, integrity, thermal conductivity, heat capacity.

УДК 614.841.41

С. В. Поздєєв, д. т. н., проф., Ю. А. Отрош, к. т. н., доц., В. В. Нижник, к. т. н., с. н. с., О. П. Борис

ОЦЕНКА КЛАССА ОГНЕСТОЙКОСТИ САМОНЕСУЩИХ СТЕН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДУЛЕЙ ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Изложена методика оценки класса огнестойкости самонесущих железобетонных стен. Развита методология применения методов расчетов пределов огнестойкости, основанных на использовании метода конечных элементов и метода конечных разностей, для обеспечения пожарной безопасности железобетонных модулей хранения хранилища отработанного ядерного топлива.

Ключевые слова: аварийные ситуации, пожар, класс огнестойкости, огнестойкость, модули хранения, железобетонная перегородка, табличный метод, метод конечных разностей, целостность, теплопроводность, теплоемкость.

UDK614.841.41

S. V. Pozdeev, Doctor Of Sc. (Eng), prof., Y. A. Otrosh, Cand. Of Sc. (Eng), I. V. Fedchenko, V. V. Demeshok

EVALUATION OF CLASS FIRE CONCRETE WALLS NO CARRIER MODULES PENT NUCLEAR FUEL STORAGE

To assess the fire resistance of non-bearing reinforced concrete walls offer a method of estimating the fire resistance class of walls. This technique is based on the method of finite differences and finite element method. The estimated fire resistance rating of these objects is the only acceptable approach to solve this problem.

Keywords: accidents, fire, fire resistance class, fire resistance, storage modules, concrete wall, tabular method, finite differences, integrity, thermal conductivity, heat capacity.

УДК 614.841.41

С. В. Поздеев, д. т. н., проф., Ю. А. Отрош, к. т. н., доц., И. В. Федченко, В. В. Демешок

ОЦЕНКА КЛАССА ОГНЕСТОЙКОСТИ НЕ НЕСУЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДУЛЕЙ ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.

Для оценки огнестойкости несущих железобетонных стен предлагается методика оценки класса огнестойкости этих стен. Эта методика основана на использовании метода конечных разностей и метода конечных элементов. Расчетная оценка огнестойкости данных объектов является единственным приемлемым подходом к решению поставленной задачи.

Ключевые слова: аварийные ситуации, пожар, класс огнестойкости, огнестойкость, модули хранения, железобетонная перегородка, табличный метод, метод конечных разностей, целостность, теплопроводность, теплоемкость.

UDC 614.84

УДК 614.84

К. И. Соколенко, к. т. н.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ, ПОЖАРНОЙ, ТЕХНОГЕННОЙ И ПРИРОДНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УКРАИНЕ

Проведен анализ законодательства о приоритетных направлениях научных исследований и разработках, а также представлены перспективы развития научного обеспечения при решении основных проблем гражданской защиты, пожарной, техногенной и природной безопасности в Украине.

UDC 624.012

S. E. Troshkin, S. O. Sidnei, Ye. O. Tyshchenko, Cand. Of Sc. (Eng), O. V. Nekora, Cand. Of Sc. (Eng),

RESEARCH OF THE ADEQUACY TO THE RESULTS OF MATHEMATICAL INDOOR FIRE DYNAMICS SIMULATION USING FDS SOFTWARE PACKAGE

The article gives an analysis of the adequacy mean temperature to volume of the room calculation results in the emergency room with a 40% aperture using the Fire Dynamics Simulator computer system

УДК 624.012

С. Е. Трошкін, С. О. Сідней, Є. О. Тищенко, к. т. н., доц., О. В. Некора, к. т. н., с. н. с.,

**ДОСЛІДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ МАТЕМАТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПОЖЕЖІ У ПРИМІЩЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ
ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FDS**

У статті наведений аналіз адекватності результатів розрахунків середньоб'ємної температури в аварійному приміщенні з 40 % проємністю за допомогою комп'ютерної системи Fire Dynamics Simulator.

UDC 614.84

S. Tsvirkun, Cand. Of Sc. (Eng), O. Kirichenko Dr. Of Sc. (Eng), L. V. Maladyka, Cand. Of Sc.

**APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGY IN TRAINING FOR FIRE SAFETY
AND TECHNOLOGICAL SAFETY**

Presented by the use of information technology as a way of improving the training of specialists in the field of fire and technological safety

УДК 614.841.

С. В. Цвіркун, к. т. н. доц., О. В. Кириченко, д. т. н., с. н. с., Л. В. Маладика, к. пед. н.

**ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ
ПОЖЕЖНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ**

Представлено застосування інформаційних технологій як удосконалення способу навчання фахівців в області пожежної та техногенної безпеки

УДК 614.8

О.Н. Мирошник, к.т.н. доц.

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИКВИДАЦИИ
ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ**

В статье осуществлен анализ чрезвычайных ситуаций, которые возникали на территории Украины. Определены основные процессы, которые происходят во время чрезвычайных ситуаций. Проанализированы модели распространения чрезвычайных ситуаций. На основе составляющих моделей распространения чрезвычайных ситуаций разработана математическая модель их ликвидации. Сделанные выводы относительно эффективности использования математической модели ликвидации чрезвычайной ситуации и приведены примеры оптимальных решений руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации в зависимости от обстановки.

UDC 614.8

О.Мирошник, Cand.OfSc (Eng), docent

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF THE EMERGENCY

In the article analysis of emergency situations that arose on the territory of Ukraine. The main processes that occur during emergency situations. Analyzed distribution model for the emergencies. Based on the composite distribution of emergency situations, a mathematical model of their liquidation. Conclusions about the effectiveness of using mathematical models of emergency situations and provides examples of optimal decisions of the head of liquidation of emergency situations depending on the situation.

Автори (алфавітний покажчик)

Абрамов Ю. А.	4
Балло Я. В.	47
Барановський О. С.	42
Беліков А. С.	9,19
Бенедюк В. Г.	47
Бобришева С. Н.	27
Боднарук В. Б.	27
Борис О. П.	81
Борсук О. В.	19
Демешок В. В.	91
Дзецина Є. В.	19
Кирєєв А. А.	33
Кириченко Є. П.	42
Кириченко О. В.	42,110
Копильний М. І.	47
Костенко Т. В.	53
Маладика І. Г.	9
Маладика Л. В.	110
Мирошник О. М.	117
Мосов С. П.	61
Мотрічук Р. Б.	42
Некора О. В.	104
Нижник В. В.	81
Нижник Т. Ю.	47
Нуянзін В. М.	66
Нуянзін О. М.	66
Осипенко В. І.	73
Отрош Ю. А.	81,91
Поздєєв А. В.	73
Поздєєв С. В.	66,81,91
Сабітова О. А.	9
Савельєв Д. І.	33
Сідней С. О.	66,104
Соколенко К. І.	98
Словінський В. К.	73
Стилик І. С.	47
Тищенко Є. О.	4,104
Трембовецький М. П.	61
Трифонов І. В.	19
Трошкін С. Є.	104
Федоренко Д. С.	9,73
Федченко І. В.	91
Цвіркун С. В.	110

Шаломов В. А.....9,19

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.
- 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. **Обсяг 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 тощо. Складні, багатооб'єктні рисунки слід готувати за допомогою графічних редакторів (CorelDraw, PhotoShop та ін.). Підписи під рисунками виконують згідно з ДСТУ 3008-95 *Документація. Звіти у сфері науки і техніки*, виділяють курсивом.

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.

6. Вимоги до електронної копії статті: стаття має бути в одному файлі, названому за прізвищем першого автора (наприклад, для статті авторів Петренка О.В., Савчук І.М., Горіна М.А. – «Петренко.doc»). Для передачі електронної версії статті можна скористатися адресою e-mail: **naucovec@ukr.net**

7. Якщо автори не мають наукового ступеня та вченого звання, то до статті додається рецензія кандидата або доктора наук за профілем даного наукового дослідження.

8. Відповідальність за науковий зміст статті, точність фактів, дат, формул, прізвищ тощо несе автор.

9. 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	$T_{нп}$, °С	$T_{кп}$, °С	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
Ендотерм 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 простоем у виробництві, перервою в роботі, зміною графіка руху транспортних засобів тощо. Майже 68% загальної кількості побічних збитків припадає саме на пожежі у житловому секторі.

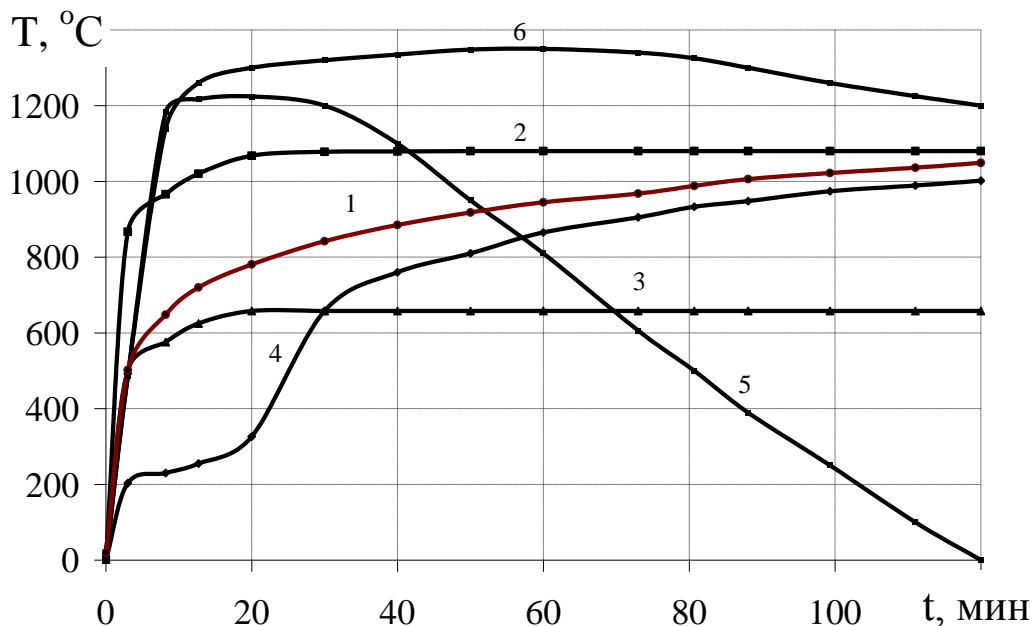


Рисунок 1 - Залежність зміни температури від тривалості вогневого впливу при різних темпах нагріву, де:

- 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. Кірсєв, 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.

ЗРАЗКИ 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., Эддисон 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 "Укragenпромпредуктивність", 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>

<p>П'ять і більше авторів</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Психологія менеджмента / [Власов П. К., Липницький А. В., Луцихина 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).
<p>Без автора</p>	<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 XIX – початку XX століття : [антологія / упоряд. : Л. Таран, О. Лагутенко]. – К. : Грані-Т, 2007. – 190, [1] с. Проблеми типологічної та квантитативної лексикології : [зб.наук.праць / наук, ред. Калішченко В. та ін.]. – Чернівці : Рута, 2007. – 310 с.
<p>Словники</p>	<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.
<p>Багатотомний документ</p>	<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	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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).</p> <p>4. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6 – 9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трощенко. – К. : НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559–956, ХІІІ, [2] с. – (Ресурс 2000).</p> <p>5. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : зб. наук, праць / наук. ред. В. І. Моссаковський. – Дніпропетровськ : Навч. кн., 1999. – 215 с.</p> <p>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.</p>
Препринти	<p>1. Шиялев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиялев 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).</p> <p>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).</p>
Депоновані наукові праці	<p>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.</p> <p>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.</p>
Атласи	<p>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.</p> <p>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. Дзюк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. – 2-ге вид., розшир, та доповн. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 218 с.</p> <p>3. Куерда Х. Атлас ботаніки / Хосе Куерда ; [пер. з ісп. В. Й. Шовкун]. – Х. : Ранок, 2005. – 96 с.</p>
Законодавчі та нормативні документи	<p>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).</p> <p>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).</p> <p>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).</p>

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. Горницкая И. П. Каталог растений для работ по фитодизайну / Горницкая 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. Моїсеєнко, 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 : (нариси 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. Кириш 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. Чуєв. – 80 Мпб / 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>

Наукове видання

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***
№ 20'2015

Збірник наукових праць



Підписано до друку 22.04.2014 р. Обл.-вид. арк. 8.

Тираж 100 прим.

Віддруковано у секторі РВР ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.