



Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

№19'2015

***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. – № 19. – 136 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 *Заїка 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

<i>Абдиева-Алиева Г. А.</i> Разработка системы поддержки принятия решений для выбора методов ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах	4
<i>Абрамов Ю. А., Тищенко Е. А.</i> Частотные характеристики объекта управления системы тушения пожара класса В распыленной водой.....	7
<i>Баланюк В. М., Мельник К. В., Копистинський Ю. О.</i> Комбінований метод гасіння сумішшю вогнегасного аерозолу та водяними сольовими розчинами.....	13
<i>Биченко А. О.</i> Моделювання впливу зовнішніх факторів на роботу систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій	18
<i>Гуліда Е. М., Коваль О. М.</i> Моделювання тактики локалізації та гасіння пожеж в закритих приміщеннях деревообробних підприємств	25
<i>Землянський О. М.</i> Розробка засобів попередження ураження електричним струмом під час пожежогасіння	36
<i>Ковалишин В. В., Грушвінчук О. В.</i> Дослідження з визначення вогнегасної ефективності піни різної кратності, генерованої з 6% розчину піноутворювача «Альпен»	42
<i>Ковалишин В. В., Ковальчик В. М., Гончаренко С. І.</i> Обґрунтування та розрахунок параметрів гасіння пожеж інертними газами з наступною їх рециркуляцією в кабельних тунелях.....	49
<i>Консуров М. О., Виноградов С. А.</i> Моделювання руху імпульсного водного струменя високої швидкості в повітрі та його взаємодії з будівельною конструкцією	55
<i>Кропива М.О.</i> Дослідження поведінки сталі залізобетонної плити при пожежі за допомогою метода кінцевих елементів	62
<i>Кучер П. П., Лагно Д. В.</i> Методи рішення комплектовання спеціальної техніки ГСЧС.....	69
<i>Лазаренко О. В.</i> Дослідження захисних водяних завіс, генерованих насадками РВ-12 та НРТ-5	76
<i>Ларін О. М., Калиновський А. Я., Коваленко Р. І., Титаренко А. В.</i> Аналіз існуючих методів обґрунтування чисельності сил та засобів пожежно-рятувальних підрозділів, а також місць їх розміщення	81
<i>Ларін О. М., Чернобай Г. О., Назаренко С. Ю.</i> До визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм при поздовжніх деформаціях	86
<i>Магльована Т. В.</i> Інгібітори корозії пожежно-технічного обладнання на основі комплексів металів із солями полігексаметиленгуанідину	95
<i>Мосов С. П.</i> Застосування безпілотних літальних апаратів для дистанційного зондування пожеж і місць їх імовірного виникнення	100
<i>Сідней С. О.</i> Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість несучих стін у вогневих печах різної конфігурації	106
<i>Соколенко О. І.</i> Добровільна пожежна охорона як складова забезпечення пожежної безпеки в Україні.....	112
ABSTRACTS / АННОТАЦІИ	116
Автори (алфавітний покажчик)	125
Вимоги до оформлення статей.....	126

УДК 681.3.01

Г. А. Абдиева-Алиева, Институт кибернетики НАН Азербайджана

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДОВ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

В статье исследуются разработка и внедрение специальной системы поддержки принятия решений при ликвидации газовых фонтанов (СППР-ГФ), пути снижения возможностей возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) или сведения к минимуму отрицательных последствий от них. Вначале уточняются предупреждения ЧС, а потом заблаговременной подготовки к действиям во время ЧС и к ликвидации последствий ЧС. Оба направления одинаково значимы.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, система поддержки принятия решений, локальная вычислительная сеть, лица, принимающие решения (ЛПР).

Крупные аварии на потенциально опасных объектах происходят как у нас в стране, так и за рубежом. Полностью предотвратить возникновение аварий на таких объектах не возможно. Это заставляет искать пути снижения возможностей возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) или сведения к минимуму их последствий. Первое касается предупреждения ЧС, второе - заблаговременной подготовки к действиям во время ЧС и к ликвидации последствий ЧС. Оба направления одинаково значимы.

Газовые фонтаны - весьма сложные аварии, ввиду высокого энергетического потенциала и горючести газового потока такие аварии приводят к разрушениям оборудования и человеческим жертвам, а при наличии ядовитых компонентов в фонтанирующем продукте возникает опасность для жизнедеятельности производственной и транспортной инфраструктуры на прилегающих к фонтану территориях.

При газовом фонтане с целью снижения интенсивности электризации и накопления зарядов статического электричества должны по возможности приниматься меры по исключению разбрызгивания распыления жидкости, рассекания и разделения фонтанирующего потока.

Работы по ликвидации газовых фонтанов относятся к категории особо опасных для народного хозяйства страны.

В виду того, что возникновения газовых фонтанов бывают разными, этот фактор выявляет сложность выбора способа для ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). По этому надо пользоваться помощью эксперта при выборе метода ликвидации. Ошибочное решение во время ЧС может привести к более тяжелым потерям.

Ныне действующие наработки для ликвидации этих аварий не отвечают требованиям практики сегодняшнего дня. Все частные крупные аварии заставляют нас работать над тем, как найти все новые способы для предотвращения или же уменьшения ущерба.

Для этого требуется специальная программа для предотвращения этого вида ЧС.

Нельзя гарантировать полной защиты от ЧС, можно спрогнозировать ее, снизив риск возможного ущерба. Чтобы предотвратить все это, нужно эффективно использовать систему поддержки принятия решений газовых фонтанов (СППР ГФ). Первоочередной целью СППР должно быть спасение людей и второстепенной – снижение материального ущерба от ЧС.

Для разработки СППР-ГФ надо использовать общую методологию построения СППР, методологию построения информационных и экспертных систем, методы информационного моделирования, методы прикладного программирования.

Данная система должна обеспечивать следующие функции:

- Централизованный сбор и накопление информации об аварийных фонтанах;

- На основе полученной об аварии информации автоматически выбирать применимые в данном случае методы глушения аварий, а так же осуществлять поиск данных об аналогичных авариях в базе данных;
- Осуществлять проведение модельных расчетов для различных методов глушения;
- Представлять информацию о результатах расчетов в удобной для анализа и сравнения форме;
- Хранить в электронном архиве проведенные расчеты и отчеты о работах по глушению фонтанов.

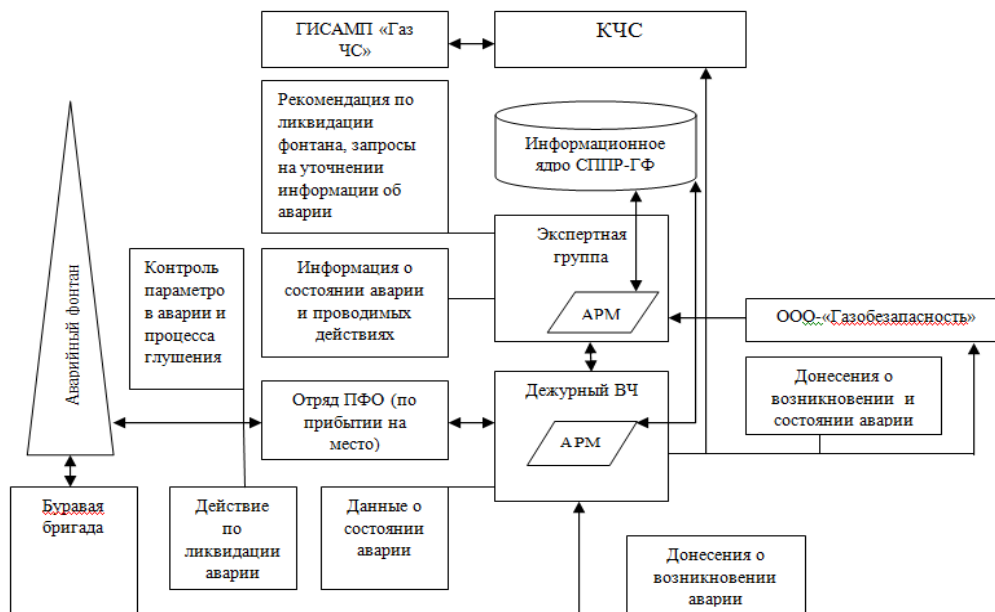


Рисунок 1 – Структурная схема СППР-ГФ

Для обеспечения работы системы требуются эксперт, администрирующий базу данных, и ЛПР–диспетчер. Целесообразным представляется использовать гибридный алгоритм нечетких нейронных сетей для повышения оптимальности и эффективности принимаемых решений. Математический аппарат нейронных сетей уравнивает нечеткость информации, компенсирует неопределенность входных данных. Это делает систему гибкой, позволяет использовать обозначенные аппараты в концепциях вывода по прецедентам и ситуационном анализе. Точность принимаемых решений будет обеспечиваться подстройкой весов нейронной сети, представляющей модель принятия решения. Кроме того, данный математический аппарат будет использоваться для прогнозирования развития ЧС с учетом новых факторов опасности и скрытых угроз.

Для предотвращения ЧС от различных агентов создан блок сбора и интеграции данных. А также для управления и анализа этих данных используются матрицы состояний, которые образуют единый формат.

Определив степень угрозы ЧС, данный блок должен передать матрицу состояний для моделирования или отработки по прецеденту. Эту информацию предполагается получать по Локальной вычислительной сети (ЛВС) от агентов сетей, которые одновременно обрабатывают информацию с датчиков.

В случае возникновения прецедента во время ЧС, создается блок анализа и моделирования, который осуществляет подготовку и выдачу готовых решений.

В журнале прецедентов сохраняется выработанное решение, в том случае если оно новое. А также в блоке «А4» происходит кластеризация, классификация значимости и актуальности.

Стоит обратить внимание на то, что информация, которая передается в блок принятия решений, должна быть как актуальной, так и достаточной для принятия решений для лица, принимающего решения (ЛПР).

Предполагается использование:

- графического метода;
- текстового метода;
- звукового метода.

Все выдаваемые решения ложатся на программный интерфейс автоматизированной СППР-ГФ для ЛПР.

Данные функции системы направлены на осуществление вычислительно-информационной поддержки работы экспертов в процессе выработки решений при ликвидации аварийных фонтанов. При этом за счет сокращения рутинной работы у экспертов появится возможность рассчитывать и сопоставлять показатели эффективности различных вариантов глушения. Кроме того, система позволяет решить сохранение частично формализованного практического опыта, накопленного при ликвидации аварийных фонтанов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садыхов А. Б. Оценка эффективности создания и использования автоматизированной системы управления в чрезвычайных ситуациях. // Материалы II международной конференции «Смягчение последствий чрезвычайных ситуаций», Баку, 2003, с. 126-133.
2. Малеванский В. Д. Открытые газовые фонтаны и борьба с ними. – М.: Гостоптехиздат, 1963. - 91 с.
3. Оджагов Г. О. Проблемы управления чрезвычайными ситуациями. – Баку, Чашыюглу, 1999, 372 с.
4. Ямалов И. У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций/ - М.: Лаборатория базовых знаний, 2007. – 273 с.
5. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управление риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004 г. – 352 с.
6. Шеберстов Е. В. Научные основы эффективных методов ликвидации аварийных и газовых фонтанов: Дисс. на соискание ученой степени д-ра тех. наук. -М., ВНИИГАЗ, 1989.

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

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА КЛАССА В РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Применительно к процессу тушения пожара класса В с помощью распыленной воды получены выражения для частотных характеристик объекта управления системы тушения.

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

Постановка проблемы. Использование распыленной воды для тушения пожара класса В является перспективным направлением на пути повышения эффективности систем автоматического пожаротушения. Совершенствование таких систем неразрывно связано с совершенствованием методов их проектирования. Одной из проблем при этом является создание адекватного математического описания процессов, протекающих в первую очередь в объекте управления систем пожаротушения.

Анализ последних исследований и публикаций. Математическое описание процессов, имеющих место при тушении пожаров класса В распыленной водой, в подавляющем числе случаев является эмпирическим и, как правило, сводится к получению функциональной зависимости между показателем, отражающим эффект от использования системы пожаротушения, и показателем, который характеризует управляющее воздействие на очаг горения [1, 2]. В качестве таких показателей обычно используются время тушения и интенсивность подачи распыленной воды. Автоматизация процесса тушения пожаров, в частности, с использованием распыленной воды, обуславливает распространение методов анализа и синтеза систем автоматического управления на системы автоматического пожаротушения. Удачным примером такого подхода следует отметить синтез системы автоматического газового пожаротушения, оптимальной по быстродействию [3]. Дальнейшее развитие такого подхода получило в монографии [4] применительно к системам автоматического пожаротушения с использованием распыленной воды. Однако в этих работах решение задач синтеза систем автоматического пожаротушения не предполагает использование частотных методов, что обусловлено, в первую очередь, отсутствием частотных характеристик объекта управления таких систем.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение математических моделей процесса тушения пожара класса В распыленной водой как процесса функционирования объекта управления системы автоматического тушения пожара в частотной области.

Процесс тушения пожара класса В распыленной водой как процесс функционирования объекта управления системы автоматического пожаротушения в переменных вход-выход может быть формализован с помощью передаточной функции вида [5]:

$$W_1(p) = \frac{arK}{\lambda v(T_k - T_0)} \left[0,5 + (0,25 + p)^{0,5} \right]^{-1} = \frac{arK}{\lambda v(T_k - T_0)} W(p), \quad (1)$$

где T_k , T_0 – температура кипения горючей жидкости и температура окружающей среды соответственно; a , v , λ – коэффициент температуропроводности, линейная скорость горения и теплопроводность горючей жидкости соответственно; Γ – теплота испарения воды; K – коэффициент использования воды; $W(p)$ – приведенная передаточная функция объекта управления.

Выражение для амплитудно-фазовой характеристики (АФХ) объекта управления системы автоматического пожаротушения формально имеет вид:

$$W(j\omega) = W(p)|_{p=j\omega} = [0,5 + (0,25 + j\omega)^{0,5}]^{-1}, \quad (2)$$

однако его использование для решения инженерных задач не представляется возможным.

Преобразуем выражение (2). С этой целью введем в рассмотрение равенство

$$(0,25 + j\omega)^{0,5} = \alpha(\omega) + j\beta(\omega), \quad (3)$$

где $\alpha(\omega)$, $\beta(\omega)$ – вещественная и мнимая части комплексной функции, подлежащие определению.

Тогда выражение (2) с учетом соотношения (3) принимает вид:

$$W(j\omega) = [0,5 + \alpha(\omega) + j\beta(\omega)]^{-1}, \quad (4)$$

где $\omega = v^{-2}a\Omega$; Ω – размерная круговая частота.

Умножив числитель и знаменатель выражения (4) на комплексно-сопряженное число $0,5 + \alpha(\omega) - j\beta(\omega)$, получим выражение для АФХ объекта управления системы автоматического пожаротушения:

$$W(j\omega) = \frac{[0,5 + \alpha(\omega) - j\beta(\omega)]}{[[0,5 + \alpha(\omega)]^2 + \beta^2(\omega)]} = P(\omega) + jQ(\omega) \quad (5)$$

где $P(\omega) = \frac{[0,5 + \alpha(\omega)]}{[[0,5 + \alpha(\omega)]^2 + \beta^2(\omega)]}$ – вещественная частотная характеристика (ВЧХ) объекта управления;

$Q(\omega) = \frac{-\beta(\omega)}{[[0,5 + \alpha(\omega)]^2 + \beta^2(\omega)]}$ – мнимая частотная характеристика (МЧХ) объекта управления.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) объекта управления определяется выражением [6]:

$$A(\omega) = [P^2(\omega) + Q^2(\omega)]^{0,5}, \quad (6)$$

а фазо-частотная характеристика (ФЧХ) – выражением:

$$\varphi(\omega) = \arctan[Q(\omega)[P(\omega)]^{-1}]. \quad (7)$$

Для окончательного определения частотных характеристик объекта управления системы автоматического пожаротушения необходимо получить выражения для $\alpha(\omega)$ и $\beta(\omega)$ и учесть их в выражениях для АФХ, ВЧХ, МЧХ, АЧХ и ФЧХ. С этой целью возведем в квадрат левую и правую части равенства (3), в результате чего получим систему уравнений относительно искомых функций $\alpha(\omega)$ и $\beta(\omega)$:

$$\begin{aligned}\alpha^2(\omega) - \beta^2(\omega) &= 0,25, \\ 2\alpha(\omega)\beta(\omega) &= \omega.\end{aligned}\quad (8)$$

Из первого уравнения системы (8) следует, что

$$\alpha = [0,25 + \beta^2(\omega)]^{0,5}.\quad (9)$$

Тогда после подстановки (9) во второе уравнение системы (8) и возведения в квадрат левой и правой частей получим биквадратное алгебраическое уравнение:

$$4\beta^4(\omega) + \beta^2(\omega) - \omega^2 = 0.\quad (10)$$

Одним из решений этого биквадратного уравнения является:

$$\beta(\omega) = 0,5 \left[0,5 \left[(1 + 16\omega^2)^{0,5} - 1 \right] \right]^{0,5}.\quad (11)$$

Из (9) с учетом (11) следует:

$$\alpha(\omega) = 0,5 \left[0,5 \left[(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 1 \right] \right]^{0,5}.\quad (12)$$

Подставляя (11) и (12) в (5)÷(7), получаем окончательные выражения для частотных характеристик объекта управления:

$$\begin{aligned}W(j\omega) &= \left[1 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} + (1 + 16\omega^2)^{0,5} \right]^{-1} \times \\ &\times \left[2 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} - j \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} - 2 \right]^{0,5} \right];\end{aligned}\quad (13)$$

$$\begin{aligned}P(\omega) &= \left[1 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} + (1 + 16\omega^2)^{0,5} \right]^{-1} \times \\ &\times \left[2 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right] \right];\end{aligned}\quad (14)$$

$$Q(\omega) = - \left[1 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} + (1 + 16\omega^2)^{0,5} \right]^{-1} \times \\ \times \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} - 2 \right]; \quad (15)$$

$$A(\omega) = 2 \left[1 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} + (1 + 16\omega^2)^{0,5} \right]^{-1}; \quad (16)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctan \left[\left[2(1 + 16\omega^2) - 2 \right]^{0,5} \left[2 + \left[2(1 + 16\omega^2)^{0,5} + 2 \right]^{0,5} \right]^{-1} \right]. \quad (17)$$

На рис. 1 приведен график АФХ объекта управления, построенный в соответствии с (13) на комплексной плоскости, а на рис. 2 – фрагмент этой характеристики в области больших значений круговой частоты ω .

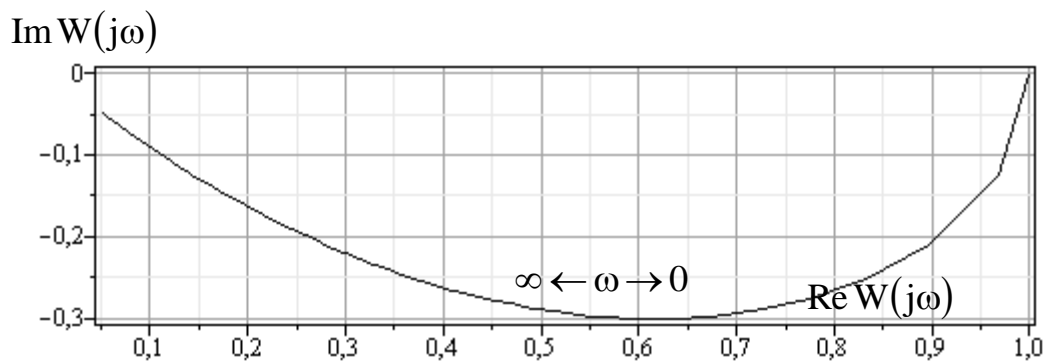


Рисунок 1 – АФХ объекта управления.

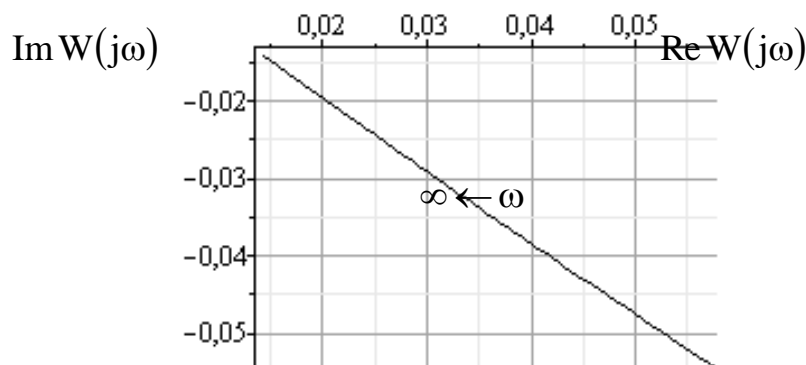


Рисунок 2 – Фрагмент АФХ объекта управления.

На рис. 3 приведены графики $P(\omega)$ и $Q(\omega)$, а на рис. 4 и рис. 5 – графики АЧХ и ФЧХ объекта управления системы автоматического пожаротушения с использованием распыленной воды.

Следует отметить, что

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \varphi(\omega) \cong -0,75, \quad (18)$$

т.е. угол сдвига фаз между температурой поверхности горячей жидкости и интенсивностью подачи распыленной воды не превышает 41° .

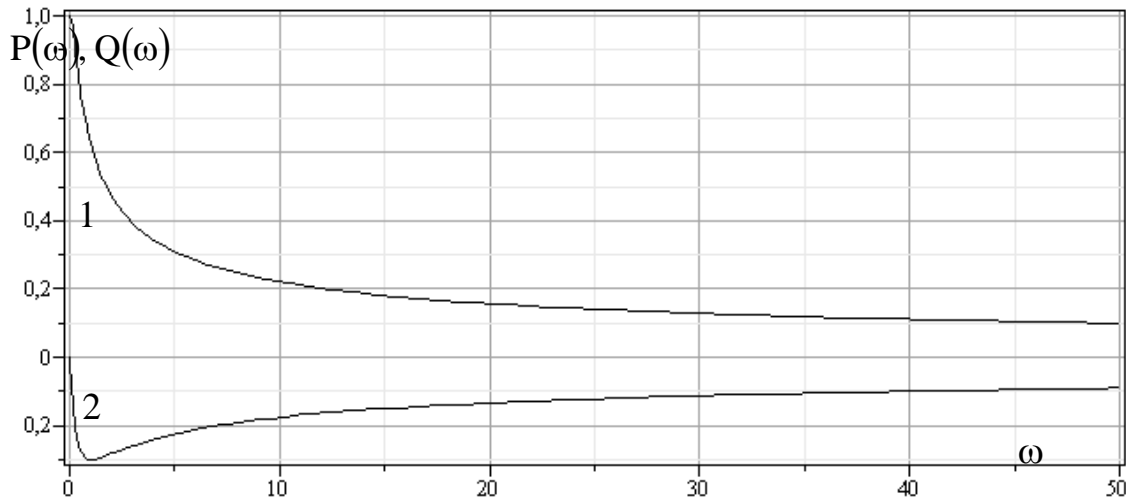


Рисунок 3 – ВЧХ и МЧХ объекта управления: 1 – $P(\omega)$; 2 – $Q(\omega)$.

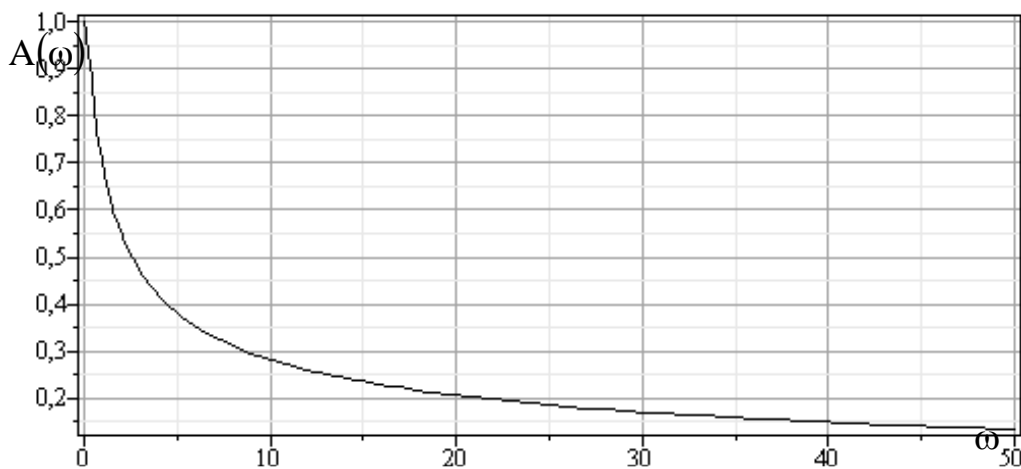


Рисунок 4 – АЧХ объекта управления.

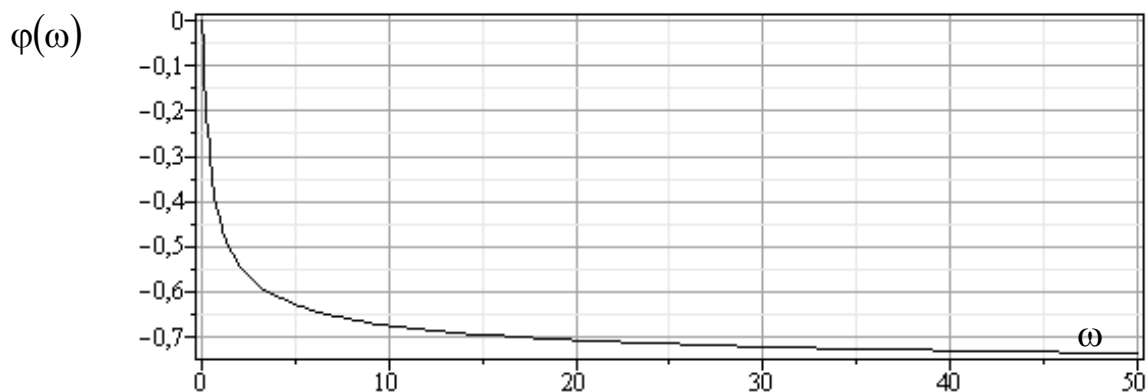


Рисунок 5 – ФЧХ объекта управления.

Необходимо также отметить, что частотные характеристики, описываемые выражениями (13)–(18), являются универсальными, т.е. справедливы применительно к любой горючей жидкости. Адаптация частотных характеристик к конкретной горючей жидкости производится путем учета коэффициента передачи:

$$\text{arK}[\lambda v(T_k - T_0)]^{-1} \quad (19)$$

и перехода к размерной круговой частоте Ω .

Выводы. Применительно к процессу тушения пожара класса В с помощью распыленной воды получены выражения для частотных характеристик объекта управления системы автоматического пожаротушения, которые представлены в безразмерной форме, что обеспечивает удобство их использования для любых горючих жидкостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 253 с.
3. 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.
4. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко. – Х.: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
5. 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.
6. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХАПТУ, 1993. – 288 с.

УДК 614.841

В. М. Баланюк, к. т. н., доц., К. В. Мельник,
Ю. О. Копистинський, к. т. н.,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ГАСІННЯ СУМІШШЮ ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ ТА ВОДЯНИМИ СОЛЬОВИМИ РОЗЧИНАМИ

В роботі розглянуто особливості комбінованого методу гасіння сумішшю вогнегасного аерозолю та водяними сольовими розчинами на основі карбонату калію та фосфату амонію. Наведено методику та результати експериментальних досліджень ефективності запропонованого способу гасіння.

Ключові слова: вогнегасний ефект, аерозолеутворюючі суміші, водяні розчини солей.

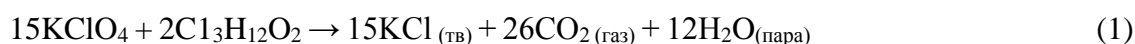
Постановка проблеми. Проблема забезпечення пожежної безпеки на об'єктах приватної та державної власності є важливим державним завданням, а її актуальність постійно зростає у зв'язку із зростанням обсягів виробництва, їх автоматизацією, інтенсифікацією та застосуванням все більш широкого спектру різноманітних речовин, більшість з яких є хімічно- і пожежо-вибухонебезпечними.

Це спонукає до створення сучасних засобів пожежогасіння, які б ефективно ліквідували горіння речовин у різних агрегатних станах. У роботі [1] зосереджено увагу, що ефективних засобів, котрі забезпечують швидкість, економічність та надійність пожежогасіння, не багато. Одними з таких засобів є аерозолеутворюючі суміші, які завдяки своїм властивостям значно зменшують час гасіння осередків пожежі. При використанні АУС знижується собівартість речовини порівняно з існуючими речовинами, але в той же час залишаючи ті ж параметри, які впливають на ефективність гасіння пожежі. Також можна сказати, що підвищення вогнегасної ефективності АУС водяними розчинами солей пояснюється тим, що при проходженні крапель через зону горіння починається випаровування водяних розчинів солей, вода, потрапляючи в осередок пожежі, випаровується, а сольовий розчин конденсується та взаємодіє з активними центрами в осередку пожежі. Під дією газоаерозольної суміші відбувається сповільнення реакції горіння. У результаті цього ланцюгова реакція горіння розривається, що сприяє придушенню горіння в осередку пожежі.

Тож застосування аерозолю разом із водними розчинами солей дозволить значно підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів з одночасною наявністю твердих, рідких і газоподібних речовин, з подовженим періодом об'ємного захисту та можливістю гасіння гетерогенного горіння.

Виклад основного матеріалу. Вогнегасні аерозолі отримують здебільшого шляхом згорання твердопаливних аерозольгенерувальних матеріалів аерозольних вогнегасних речовин. Ці речовини являють собою спеціальні структурні композиції, основою яких є гетерогенні конденсовані суміші горючих (базових) компонентів та окисників з добавками (або без них) цільових і технологічних компонентів. За нормальних умов твердопаливні композиції характеризуються високою хімічною стабільністю, але під час нагрівання (від електричної спіралі, піропатрона, вогнища пожежі) здатні інтенсивно реагувати (згоряти) та забезпечувати бажаний ефект утворення вогнегасних аерозолів з прийнятними для практики пожежогасіння властивостями [2].

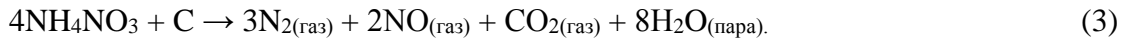
У результаті горіння аерозолеутворювальної сполуки можуть утворюватися такі продукти:
– суміші твердих і газоподібних речовин (наприклад, під час горіння сумішей фенолоформальдегідної смоли з перхлоратом калію):



– тверді речовини (наприклад, під час горіння терміту):



– газоподібні речовини (наприклад, під час горіння сумішей нітрату амонію з вуглецем або органічними речовинами):



Горіння різних за складом і хімічною природою компонентів твердопаливних композицій — складний процес. Існуючі АУС містять горючі зв'язувальні, окислювальні та газифікуючі добавки. Основними зв'язками, які одночасно використовуються як паливо, є: декстрин, ідітол, шелак, каніфоль та нітроцелюлоза. Усі сполуки, що входять до складу вогнегасних аерозолів, мають бути безпечними для довкілля, але деякі з них можуть являти небезпеку для людей, які перебувають у приміщенні, що підлягає захисту. Тому забороняється застосування автоматичних установок аерозольного пожежогасіння у приміщеннях, які не можуть бути залишені людьми до початку роботи генераторів вогнегасного аерозолу (ГВА), з масовим перебуванням людей (більше 50 осіб), а допуск персоналу в приміщення, яке захищається, дозволяється після провітрювання та зниження концентрації аерозолу, коли видимість становить не менше 5—6 метрів [4].

При гасінні водою, здебільшого, не реалізуються її унікальні фізичні властивості внаслідок ряду причин. Широке використання води для цілей пожежогасіння і при цьому досить низький коефіцієнт її використання - усе це давно спонукало фахівців шукати способи підвищення вогнегасної ефективності води.

Значне підвищення ефективності використання води при гасінні пожеж може буде досягнуто в результаті комплексного дослідження технічних та теоретичних проблем. До них слід віднести розробку пристроїв, які розпилюють і забезпечують рівномірний розподіл води по площі горіння при заданому ступені дисперсності, визначення оптимальної дисперсності води для кожної характерної групи речовин і матеріалів, вибір відповідного типу домішки до води (змочувач, згущувач, інгібітор, антипірен або їх композиція), визначення оптимальних концентрацій цих домішок і способу їх введення в струмінь розпиленої рідини, розробка тактичних заходів оптимального застосування струменю розпиленої води, визначення нормативних показників для проектування систем пожежогасіння водою та водними розчинами.

Для визначення оптимальних значень аерозольно-водяної суміші (далі – АВС), концентрацій аерозолеутворюючої речовини та вибір оптимального елементу у водяному розчині солей необхідно провести ряд експериментів зі змінними значеннями концентрацій аерозолу, його складу та відсотковим вмістом солі у розчині. Для пошуку подальших шляхів підвищення вогнегасної ефективності аерозолу при підсиленні гасіння водяними розчинами солей [5], необхідно було виконати експериментальні дослідження взаємодії вогнегасної аерозолеутворювальної речовини, утвореної при спалюванні АУС, із полум'ям при різних концентраціях аерозолу та різних водяних розчинах солей. Для створення ефективної аерозольно-водяної суміші необхідно підібрати таку рецептуру складників, яка могла б забезпечувати оптимальну дисперсність водного розчину солей та газоподібних частинок АУС і водяних сольових розчинів і в результаті їх синергетичність один до одного. Частково цього можна досягнути, збільшивши ступінь газифікації аерозолеутворювальної сполуки при її згорянні. На підставі цих припущень розраховані рецептурні склади АУС, які теоретично мали б забезпечувати більшу ступінь газифікації. Також на характер перебігу процесу горіння АУС суттєвий вплив має хімічна природа палива. Зробити висновок про вплив природи палива та продуктів його перетворення на вогнегасну ефективність одержуваних аерозолів можна провівши експериментальні дослідження.

При проведенні досліджень в першу чергу ми досліджували вогнегасну ефективності аерозольно-водяної суміші, яку одержано із АУС, та дрібнодисперсної водяної суміші солей, рецептури яких містили KNO_3 (табл.1.). Мінімальна кількість експериментів для отримання середнього значення досліджуваної величини повинна становити не менше трьох. При поганій відтворюваності результатів число експериментів було збільшено до 6.

Усереднені результати залежності тривалості горіння дизельного палива від маси АУС та дрібнодисперсного водяного розчину солей наведені в таблиці 3.

Дослідження проводилося у камері розмірами 0,39*0,58*0,71 м, загальним об'ємом $V=0,161 \text{ м}^3$. Вона виготовлена у вигляді паралелепіпеда із листової сталі товщиною $\delta=1 \text{ мм}$. Одна сторона камери була виготовлена із термостійкого скла (виготовленого у вигляді оглядового вікна).

У середині камери знаходився металевий тигель, в якому проводилося спалювання вибраної речовини. У верхній частині камери знаходився отвір діаметром 20 см, до якого підключена витяжна вентиляція, для видалення токсичних продуктів горіння після закінчення досліду. Права вертикальна стінка знаходилася в рухомому стані. Джерелом запалювання АУС був газовий пальник. Як модельний осередок вогню використовували полум'я бензину з дизельним паливом. Суміш підпалювалася в тиглі діаметром 65 мм. Підпалювання суміші здійснювали ззовні, після чого його вносили всередину камери. Наважку АУС зважували з точністю до 0,01 г на електронній аналітичній вазі Axis BTU 210. Зразки АУС приготували завчасно у вигляді циліндриків і витримували до їх повного затвердіння.

Експериментальні дослідження виконували в такій послідовності. У камері підпалювали дизельне паливо в металевому тиглі та зразок попередньо запаленої тліючої деревини (бук). Час вільного горіння становив 30 секунд. Через зазначений час електричним джерелом запалювання підпалювали наважку аерозолеутворюючого заряду. Через 5 секунд відкривали клапан і створювали надлишковий тиск у середині посудини із водяним розчином солей. Клапан перекривали після припинення горіння макету полум'я. Під час цього від початку запалювання АУС вмикали секундомір і вимірювали час гасіння. Цей дослід повторювали декілька разів із різними видами добавок солей до водного розчину та різними видами горючого та окисника в АУС. Похибка результатів визначення не перевищувала значення $\pm 5\%$.

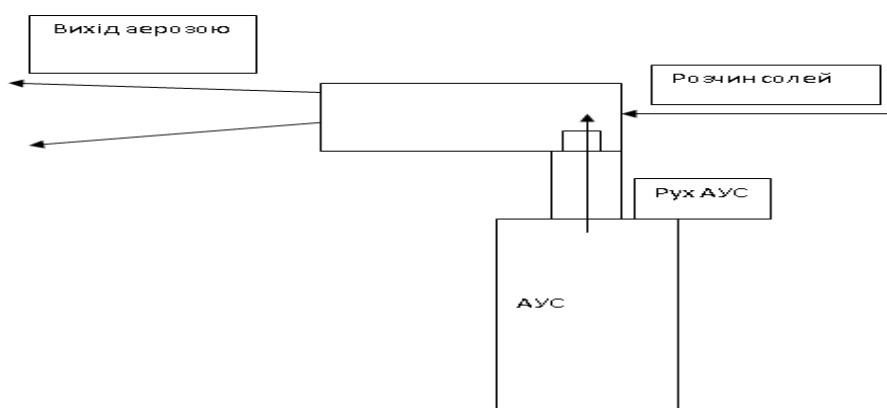


Рисунок 1 - Установка для подачі комбінованим способом на гасіння аерозолу та водяних сольових розчинів.

Перший етап експерименту проводився з АУС на основі декстрину, а у якості окисників використовували нітрат калію та перхлорат калію. Водяний розчин солей був створений на основі 5-20% розчину карбонату калію. Карбонат калію K_2CO_3 — безбарвна кристалічна речовина, яка добре розчиняється у воді [6].

Дані першого експерименту при різних масах АУС та водного розчину солей ВРС на основі карбонату калію показані в таблиці 1.

Таблиця 1 - Час гасіння при різних концентраціях K_2CO_3

№	Маса АУС, г	Концентрація K_2CO_3 у ВРС, %	Час гасіння, с деревини	Час гасіння, с горючої рідини
1.	4,12	5	18,4	2,3
2.	4,12	10	16,3	2,4
3.	4,12	15	14,5	2,2
4.	4,12	20	15,3	2,3

Залежність часу гасіння від концентрації водяного розчину солі показано на графіку рис.2

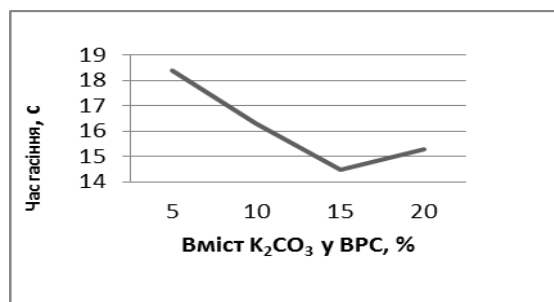


Рисунок 2 - Залежність часу гасіння від концентрації K_2CO_3 у ВРС

Провівши експериментальні дослідження, можна зробити висновок, що найбільша вогнегасна ефективність досягається при концентрації карбонату калію 15%. Це пояснюється тим, що при більшому вмісті в ВРС солі, ймовірно, зменшується дисперсність частинок, що в свою чергу призводить до зменшення ефективності гасіння, оскільки в результаті цього не досягається оптимальна взаємодія між газоподібними частинками АУС та дрібнодисперсними частинками водяного розчину солей.

В наступному етапі експерименту в якості солі у водяному розчині використовувався 5-20% фосфат амонію. В якості АУС використовувалася та ж рецептура, що й в першому досліді.

Таблиця 2 - Час гасіння при різних концентраціях $NH_4H_2PO_3$

№	Маса АУС, г	Концентрація $NH_4H_2PO_3$ у ВРС, %	Час гасіння, с деревини	Час гасіння, с горючої рідини
1.	4,12	5	13,3	2,8
2.	4,12	10	14,1	2,5
3.	4,12	15	13,8	2,4
4.	4,12	20	14,5	2,6

Встановивши, що оптимальна кількість солі у водяному розчині становить 15%, можна визначити скільки мінімально потрібно АУС для ефективного гасіння обраного нами осередку пожежі. При гасінні осередку пожежі АУС без додаткового впливу інших систем, у нашому випадку водяного розчину солі, потрібно взяти 4,12 г суміші, час гасіння якого становить 13,8 с. При проведенні досліджень щодо визначення мінімальної кількості АУС будемо зменшувати масу суміші до тих пір, поки аерозольно-водяна суміш не зможе погасити осередок пожежі.

Композиція АУС буде така ж, що й при проведенні попереднього досліді.

Таблиця 3 - Час гасіння при різній масі АУС з добавкою $NH_4H_2PO_3$.

№ досліді	Маса АУС, г	Концентрація ВРС, %	Час гасіння, с	Час гасіння, с горючої рідини
1	3,4	15	14,4	2,4
2	3	15	16,2	2,2
3	2,7	15	17,6	2,6
4	2,3	15	18,3	2,2

Відношення часу гасіння та маси АУС при сталій концентрації фосфату амонію у водяному розчині показане на графіку (рис.3)

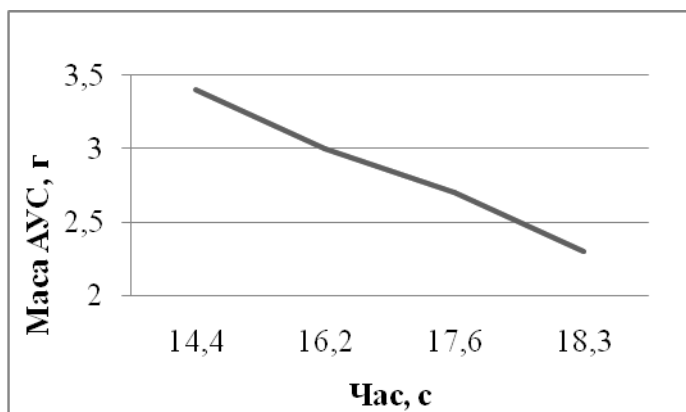


Рисунок 3 - Залежність часу гасіння та маси АУС.

При меншій кількості АУС гасіння даного осередку пожежі не відбувається, тобто приймаємо, що для гасіння дизельного палива та тліючої деревини потрібно взяти 2,3 г АУС та 15% водяний розчин солі на основі фосфату амонію.

Експеримент показав практично достатньо хорошу відтворюваність одержаних експериментальних значень M_m , визначених за вищеописаною методикою. Результати цих дослідів показали, що на вогнегасну ефективність при гасінні полум'я в першу чергу, суттєво впливає співвідношення компонентів АУС та ВРС.

Отже, змінюючи природу і склад вихідних компонентів аерозолі та ВРС можна впливати на вогнегасну ефективність аерозольно-водяної суміші.

Все це свідчить про те, що в рецептурах АУС, у яких наявні KNO_3 або (і) $KClO_4$, підвищується ступінь перетворення вихідних компонентів. Результати дослідів також показують, що природа палива та відповідно кількість продуктів його можливого перетворення впливають на утворення ефективних частинок аерозолі.

Висновок: Виходячи із аналізу теоретичних міркувань та експериментальних досліджень, можна стверджувати, що вогнегасний ефект гасіння комбінованими аерозольними сумішами та водяними сольовими розчинами буде залежати від природи добавки до водяного сольового розчину. Також експериментально було встановлено, що відсотковий вміст солі у водяному сольовому розчині впливає на вогнегасну ефективність. На підставі результатів досліджень можна зробити висновок, що найкращу ефективність при гасінні гетерогенного горіння проявляють аерозолі в суміші з дисперсним водяним сольовим розчином на основі фосфату амонію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баланюк В.М., Мельник К.В. Полуменевогасні добавки до аерозольотворювальних сумішей для придушення полум'я: збірник наукових праць ЛДУБЖД/ В.М. Баланюк.-Львів.:ЛДУБЖД, 2014.
2. Тарадайко В. Особенности аэрозольного пожаротушения // Бюлетень пожежної безпеки. – 1999. – №1. – С. 24-30.
3. Баланюк В.М., Левуш С.С., Грималюк Б.Т. Особливості пожежогасіння аерозольними сумішами, переваги та недоліки методу // Пожежна безпека. – 2002. – №2. – С 59-61.
4. Агафонов В.В., Копылов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения. Основные характеристики: Учебно-методическое пособие. – М.: ВНИИПО, 2001. – 91 с.
5. Антонов А.В., Турчин А.І. Експериментальні дослідження властивостей та вогнегасної здатності тонкорозпилених водних розчинів неорганічних солей // Пожежна безпека. – 2001. – С. 237-238.
6. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. изд. – М.: Химия, 1987. – 269 с.

УДК 004.89:654.948

А. О. Биченко, к.т.н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ СИСТЕМ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Запропоновані моделі визначення впливу зовнішніх факторів на роботу систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій на основі експертних висновків.

Ключові слова: системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій, фактори зовнішнього впливу, експертні висновки.

Постановка проблеми. Розвиток технологій виробництва, транспорту, енергетичної сфери зумовлює існування та появу нових об'єктів, які можна віднести до об'єктів підвищеної небезпеки та відповідно до потенційно небезпечних об'єктів. [1, 2]. Це можуть бути в одному випадку об'єкти, збудовані порівняно недавно, і які відповідають сучасним уявленням та вимогам до об'єктів такого роду, так і об'єкти, що використовуються доволі давно і на яких може використовуватись застаріле обладнання, що в цілому збільшує рівень небезпеки такого об'єкту. Отже, логічним є існування потреби в обладнанні об'єктів підвищеної небезпеки такими технічними системами та комплексами які б дозволили виявляти надзвичайні ситуації на таких об'єктах та оповіщати про них, як персонал об'єкту, так і при потребі населення, що проживає у прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комплекс систем виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій, а також виявлення таких ситуацій та оповіщення працюючого персоналу й населення, яке проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів, складається з таких складових частин [3]:

- система раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій;
- система виявлення надзвичайних ситуацій;
- система оповіщення керівного складу та працюючого персоналу
- потенційно-небезпечних об'єктів про загрозу чи виникнення надзвичайних ситуацій;
- система оповіщення відповідальних посадових осіб територіальних органів ДСНС, органів виконавчої влади;
- пульти централізованого моніторингу;
- пульти централізованого спостереження;
- система оповіщення населення, що проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів.

Серед основних систем таких комплексів необхідно виділити систему раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та систему виявлення надзвичайних ситуацій які складаються з різних технологічних датчиків, сигналізаторів тощо, які контролюють небезпечні параметри обладнання і навколишнього середовища, та приймально-контрольних приладів. Слід звернути увагу на те, що технологічні датчики та сигналізатори указаних систем устатковуються і використовуються окремо від аналогічних датчиків промислової автоматики [3].

Системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та виявлення надзвичайних ситуацій об'єднуються у єдиний комплекс за допомогою система централізованого моніторингу - це комплекс технічних засобів, розміщений у суб'єкта господарювання, котрий має відповідну ліцензію, призначений для приймання, обробки і

видачі в заданому вигляді повідомлень про стан систем виявлення загрози надзвичайних ситуацій, реєстрації цих повідомлень та передачі в автоматичному режимі на пульт централізованого спостереження сигналів про надзвичайні ситуації.

На сучасному етапі розвитку систем такого типу нормативними документами регламентується для виявлення передаварійних ситуацій та небезпечних чинників об'єктів у системах, комплексах допускається застосовувати автоматичні датчики будь-якого принципу дії. Вибір конкретних датчиків здійснюють на етапах розробки завдання на проектування та при проектуванні систем і комплексів на підставі вивчення технологічних карт, регламентів тощо потенційно небезпечних об'єктів. Це можуть бути [3]:

- системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей (газоаналізatori);
- системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо);
- системи контролю гранично допустимих рівнів легкозаймистих рідин у резервуарах, апаратах тощо;
- системи контролю гранично допустимого тиску рідин і газоподібних сумішей у трубопроводах, апаратах тощо;
- системи контролю гранично допустимих температур рідин, речовин та газоподібних сумішей в апаратах, посудинах тощо;
- системи контролю гранично допустимих рівнів радіації.

З огляду на високий рівень автоматизації робота більшості датчиків, що використовуються при створенні таких систем базується на тих чи інших електричних принципах. З урахуванням галузей виробництва найбільш поширеними системами раннього виявлення надзвичайних ситуацій є системи, які використовують системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей (газоаналізatori) та системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо). Відомо, що на результат вимірювань впливають декілька факторів, кожен з яких викликає свою систематичну похибку. В цьому випадку виявлення аналітичного вигляду залежності значно ускладнюється, тому доводиться проводити трудомісткі ґрунтовні дослідження, які іноді закінчуються невдачею. Тим не менш, систематична похибка, що не виявлена, є значно небезпечнішою за випадкову, так як остання може бути мінімізована відповідною методикою вимірювання, а систематична невиявлена похибка спотворить результат непередбачувано [4].

Серед декількох груп систематичних похибок, які відрізняються одна від одної причиною виникнення у нашому випадку варто виділити похибки зовнішніх впливів, серед яких найчастіше доводиться стикатись з впливом кліматичних умов [4], таких як тиск, температура, вологість, наявність чи відсутність атмосферних осадків, вплив електричних полів та зовнішніх випромінювань: рентгенівського, ультрафіолетового, іонізуючих випромінювань, гамма-випромінювання.

В теперішній час нормується перелік зовнішніх факторів, до яких повинні бути стійкими запроєктована система, комплекс та діапазон зміни цих факторів (температура, тиск, рівень перешкод тощо), повинен указуватися в технічному завданні на створення автоматизованої системи, комплексу. При цьому запроєктована система, комплекс повинні:

- бути стійкими до можливих деградаційних впливів зовнішніх факторів при експлуатації: механічних ушкоджень, кліматичних умов, впливу агресивних середовищ тощо;
- урахувати при функціонуванні можливий вплив перешкод виробничо-технологічних процесів, радіоелектронних, електронагрівальних і вентиляційних приладів, транспорту тощо.

Постановка задачі та її розв'язання. Але не дивлячись на розробку системи з урахуванням обраного діапазону зовнішніх факторів поза увагою залишаються ряд аспектів роботи датчиків безпосередньо під впливом зовнішніх факторів. Так, наприклад, для визначення гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей та

гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо) використовуються датчики-газоаналізатори, робота яких базується на електрохімічних принципах. Такі датчики проходять калібрування відповідно до [5] при визначеній температурі. Важливим є питання врахування впливу зовнішніх факторів на роботу систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та виявлення надзвичайних ситуацій. Доцільною є розробка системи централізованого моніторингу, як повноцінної інформаційно-аналітичної системи, однією з функцій якої було б врахування впливу зовнішніх факторів на роботу як окремих елементів системи, так і на роботу системи в цілому[6].

Системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та виявлення надзвичайних ситуацій, як правило, мають в своєму складі окрім системи контролю гранично допустимих концентрацій хімічних вибухонебезпечних сумішей (газоаналізатори) та систем контролю гранично допустимих концентрацій хімічнонебезпечних газоподібних речовин (хлор, аміак тощо) метеостанції, які здатні контролювати такі параметри, як температура повітря, вологість, тиск, швидкість та напрям вітру, наявність чи відсутність осадів тощо. Ці фактори можна віднести до факторів стану середовища об'єкта A . До факторів постійного впливу P відносяться параметри розташування об'єкту на місцевості, конфігурація об'єкту, вплив повторюваності напрямку вітрів, рельєф місцевості. Також на достовірність відображення інформації про концентрацію хімічних речовин може впливати технічний стан обладнання, технологічність процесів, якість виконання профілактичних робіт, присутність ініціаторів запалювання та інші фактори технічного характеру T .

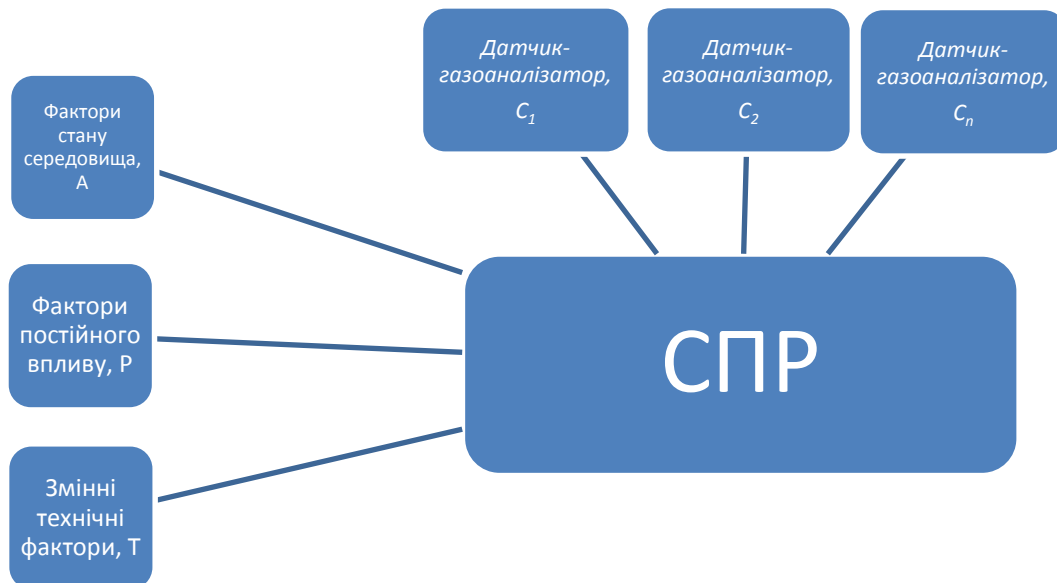
Таким чином, задача дослідження полягає у визначенні дійсної концентрації хімічної речовини C в залежності від показників датчиків-газоаналізаторів $C_{датч}$, факторів стану середовища A , факторів постійного впливу P , різноманітних технічних факторів T :

$$C = G(C_{датч}, A, P, T), \quad 1.1$$

де: $A = (a_1, a_1, a_1, \dots, a_n)$ - фактори стану середовища;

$P = (p_1, p_1, p_1, \dots, p_n)$ - фактори постійного впливу;

$T = (t_1, t_1, t_1, \dots, t_n)$ - технічні фактори.



Процес розв'язання задачі ідентифікації (1.1) має декілька етапів. На першому з них необхідно визначити вид залежності (1.1) або розв'язати задачу структурної ідентифікації. Зважаючи на значну кількість аргументів шуканої залежності та їх представлення, розв'яжемо її з використанням нейронних мереж. Враховуючи той факт, що висновки експертів задаються нечітко, а також є суперечливими, необхідно здійснювати оптимізацію параметрів моделі, або, що те ж саме, розв'язувати задачу параметричної оптимізації. Традиційними є дві відповідні технології: визначення оптимальних значень за допомогою градієнтних методів навчання нейромереж і еволюційних методів оптимізації.

Ідентифікація залежності (1.1) не може бути практично здійсненою з достатньою точністю, оскільки на результуючу характеристику впливають крім перерахованих аргументів ще і значна кількість додаткових та випадкових факторів.

Продукційна модель, або модель, що базується на правилах, є однією з моделей представлення знань. Вона дозволяє представити знання у вигляді висновків типу: «Якщо (умова), То (дія)». Умовою (антецедентом) є деяке речення-зразок, за яким здійснюється пошук в базі знань, а дією (консеквентом) — дії, що виконуються при успішних результатах пошуку. Умови, що описують поточний стан бази знань, розміщуються в робочій пам'яті. Виконувани дії можуть бути проміжними і визначати умови для наступних дій, які утворюють конфліктну множину продукційної системи. Виведення в такій базі знань може бути прямим (від даних), або зворотним (від цілі до даних). Даними є вихідні факти, що надходять в робочу пам'ять (базу фактів), на основі яких запускається машина виводу, що здійснює цикл «розпізнавання-дія», перебираючи правила з продукційної бази знань.

База знань у продукційній моделі – це сукупність бази фактів і бази правил. Кожне продукційне правило в базі знань втілює автономну частину експертних знань, одержаних безпосередньо від експерта або з використанням методів автоматичного „видобування” знань. Окреме продукційне правило може бути розроблене та модифіковане незалежно від інших правил. При спільному застосуванні правил та використанні машини виведення (частині експертної системи, яка відповідає за виведення нових знань з існуючих) правила синергетично продукують нові знання, визначаючи кращий результат, ніж результати застосування окремих правил. У дійсності правила бази знань не є незалежними, але і швидко стають взаємозалежні. Так, додавання нового правила може конфліктувати з існуючими правилами і вимагатиме перегляду атрибутів або правил.

Продукційні моделі найчастіше використовуються в промислових експертних системах. У медичній експертній системі правила „if...then” можуть використовуватися для встановлення взаємозв'язків між симптомами і діагнозами. Під час виведення реальний симптом зіставляється з тим, які є в лівих частинах правил, і в разі збігу права частина відповідного правила вважається можливим діагнозом. Якщо є інші правила, що містять у лівих частинах отриманий можливий діагноз, то він розглядається як проміжний симптом. У цьому випадку здійснюється подальше виведення, яке триває доти, доки не буде отримано результат, з якого вже нічого не можна вивести. Якщо більше немає правил, на основі яких можна зробити виведення з отриманого можливого діагнозу, то він розглядається як «остаточний». На будь-якому кроці такого виведення може виявитися кілька застосовних правил і тоді породжується дерево виведення, що визначає множину діагнозів.

Перевагами продукційних моделей є відносна простота, наочність, висока модульність, легкість до внесення змін та доповнень, простота схеми логічного висновку. Ім'я продукції — унікальний ідентифікатор, що визначається сукупністю букв або дозволених мовою представлення знань символів, та єдиним способом визначає продукцію у системі. Найчастіше продукція задається за допомогою ідентифікаційного номеру.

Умовою застосування ядра продукції є логічний вираз (як правило, предикат), за допомогою якого активізується ядро продукції: якщо він істинний, ядро активізується, у протилежному випадку – ні.

Ядро продукції – центральний компонент продукції. Як правило, ядро продукції має вигляд

речення-правила "Якщо A , то B ", де A і B – деякі логічні вирази. Знак логічної секвенції має зміст логічного виведення із істинного. У базах знань інтелектуальних систем умова ядра виступає також як деяке речення-зразок, логічний вираз, за яким здійснюється пошук у базі знань. Висновок ядра визначається як дія, процедура, яка виконується при успішному завершенні пошуку.

Післяумова продукції містить опис процедур, які необхідно виконати у разі реалізації ядра продукції (тобто, коли воно є істинним). У нечітких продукційних системах представлення знань кожне з правил продукцій може додатково мати параметризовану кількісну оцінку міри істинності правила, яка формально знаходиться в базі знань. Існує велика кількість програмних засобів, в яких реалізовано продукційні моделі.

З урахуванням вищевказаного, експертні висновки про концентрацію хімічних речовин загальному є такими:

$$\begin{aligned}
 & \text{Якщо } X_1 = a_{11} \& X_2 = a_{12} \& \dots \& X_n = a_{1n} \text{ з вагою } w_1, \text{ то } Y = y_1, \\
 & \text{інакше, якщо } X_1 = a_{21} \& X_2 = a_{22} \& \dots \& X_n = a_{2n} \text{ з вагою } w_2, \text{ то } Y = y_2, \qquad (1.2) \\
 & \dots \dots \dots \\
 & \text{інакше, якщо } X_1 = a_{m1} \& X_2 = a_{m2} \& \dots \& X_n = a_{mn} \text{ з вагою } w_m, \text{ то } Y = y_m.
 \end{aligned}$$

У продукційній моделі (1.2) (X_1, X_2, \dots, X_n) – параметри, що мають значення $(a_{ij})_{i=1}^m \quad n$, і які впливають на значення $y_k, k = 1, m$, результуючої характеристики Y . Такими параметрами можуть бути тип температура повітря, вологість, тиск, швидкість та напрям вітру, наявність чи відсутність осадів тощо, а результуючою характеристикою – концентрація хімічної речовини в повітрі. Очевидно, що продукційні моделі природно відображають висновки експертів, виходячи із ситуації, що склалася.

Експертні висновки об'єктивізують за допомогою інтервального представлення або визначення лінгвістичних змінних і побудови функцій належності. Якщо експерти впевнені в тому, що значення параметра знаходяться серед чисел інтервалу $[a, b]$ без переваг, то достатньо вибрати інтервальне представлення інформації. Використання трикутних функцій належності є раціональним у тому випадку, коли відсутня постійна значна впевненість у тому, що значення фактора належить деякому інтервалу. Для представлення таких функцій достатньо двох параметрів, оскільки значення фактора $X_i \in (c-a, c+a)$, де c – значення, впевненість в отриманні якого є найбільшою.

Експертні висновки для групових факторів впливу є такими:

Модель для факторів стану середовища:

$$\begin{aligned}
 & \text{Якщо } a_1 \in K_1 \& a_2 \in N_1 \& a_3 \in M_1 \& \dots \& a_n \in L_1, \text{ то } A \in R_1, \\
 & \text{інакше, якщо } a_1 \in K_2 \& a_2 \in N_2 \& a_3 \in M_2 \& \dots \& a_n \in L_2, \text{ то } A \in R_2, \\
 & \dots \dots \dots \\
 & \text{інакше, якщо } a_1 \in K_m \& a_2 \in N_m \& a_3 \in M_m \& \dots \& a_n \in L_m, \text{ то } A \in R_m,
 \end{aligned}$$

де K_i, N_i, M_i, L_i, R_i – нечіткі множини з функціями належності $\mu_{K_i}, \mu_{N_i}, \mu_{M_i}, \mu_{L_i}, \mu_{R_i}, i = 1, m, t$ – кількість припущень експерта про співвідношення факторів стану середовища.

Якщо певні варіанти співвідношень є більш або менш можливими, тоді:

Якщо $a_1 \in K_1 \& a_2 \in N_1 \& a_3 \in M_1 \& \dots \& a_n \in L_1$, то $A \in R_1$, з вагою ω_1 ,
інакше, якщо $a_1 \in K_2 \& a_2 \in N_2 \& a_3 \in M_2 \& \dots \& a_n \in L_2$, то $A \in R_2$, з вагою ω_2 ,
.....
інакше, якщо $a_1 \in K_m \& a_2 \in N_m \& a_3 \in M_m \& \dots \& a_n \in L_m$, то $A \in R_m$, з вагою ω_m ,

Модель для факторів постійного впливу:

Якщо $p_1 \in D_1 \& p_2 \in F_1 \& p_3 \in G_1 \& \dots \& p_n \in H_1$, то $P \in I_1$,
інакше, якщо $p_1 \in D_2 \& p_2 \in F_2 \& p_3 \in G_2 \& \dots \& p_n \in H_2$, то $P \in I_2$,
.....
інакше, якщо $p_1 \in D_m \& p_2 \in F_m \& p_3 \in G_m \& \dots \& p_n \in H_m$, то $P \in I_m$,

де D_i, F_i, G_i, H_i, I_i - нечіткі множини з функціями належності $\mu_{D_i}, \mu_{F_i}, \mu_{G_i}, \mu_{H_i}, \mu_{I_i}, i = \overline{1, m}$, m - кількість припущень експерта про співвідношення факторів стану середовища.

Якщо певні варіанти співвідношень є більш або менш можливими, тоді:

Якщо $p_1 \in D_1 \& p_2 \in F_1 \& p_3 \in G_1 \& \dots \& p_n \in H_1$, то $P \in I_1$, з вагою ω_1 ,
інакше, якщо $p_1 \in D_2 \& p_2 \in F_2 \& p_3 \in G_2 \& \dots \& p_n \in H_2$, то $P \in I_2$, з вагою ω_2 ,
.....
інакше, якщо $p_1 \in D_m \& p_2 \in F_m \& p_3 \in G_m \& \dots \& p_n \in H_m$, то $P \in I_m$, з вагою ω_m ,

Модель для технічних факторів впливу:

Якщо $t_1 \in O_1 \& t_2 \in Q_1 \& t_3 \in S_1 \& \dots \& t_n \in V_1$, то $T \in B_1$,
інакше, якщо $t_1 \in O_2 \& t_2 \in Q_2 \& t_3 \in S_2 \& \dots \& t_n \in V_2$, то $T \in B_2$,
.....
інакше, якщо $t_1 \in O_m \& t_2 \in Q_m \& t_3 \in S_m \& \dots \& t_n \in V_m$, то $T \in B_m$,

де O_i, Q_i, S_i, V_i, B_i - нечіткі множини з функціями належності $\mu_{O_i}, \mu_{Q_i}, \mu_{S_i}, \mu_{V_i}, \mu_{B_i}, i = \overline{1, m}$, m - кількість припущень експерта про співвідношення факторів стану середовища.

Якщо певні варіанти співвідношень є більш або менш можливими, тоді:

Якщо $t_1 \in O_1 \& t_2 \in Q_1 \& t_3 \in S_1 \& \dots \& t_n \in V_1$, то $T \in B_1$, з вагою ω_1 ,
інакше, якщо $t_1 \in O_2 \& t_2 \in Q_2 \& t_3 \in S_2 \& \dots \& t_n \in V_2$, то $T \in B_2$, з вагою ω_2 ,
.....
інакше, якщо $t_1 \in O_m \& t_2 \in Q_m \& t_3 \in S_m \& \dots \& t_n \in V_m$, то $T \in B_m$, з вагою ω_m ,

Таким чином, знаючи експертні висновки про величину впливу групових факторів можна визначити концентрацію хімічної речовини в залежності від значення групових факторів впливу та значення концентрації $C_{датч}$:

Якщо $A \in R_1 \& P \in I_1 \& T \in B_1 \& C_{датч} \in Z$, то $C \in Y_1$,
інакше, якщо $A \in R_2 \& P \in I_2 \& T \in B_2 \& C_{датч} \in Z$, то $C \in Y_2$,

.....
інакше, якщо $A \in R_m \& P \in I_m \& T \in B_m \& C_{датч} \in Z$, то $C \in Y_m$,

Розглядаючи продукційні правила та відповідні функції належності, робимо висновок про можливі дві ситуації, які виникатимуть при визначенні параметрів роботи системи. У першій з них параметри функцій належності відомі і результуючі дані будемо знаходити, виходячи із принципу узагальнення Заде та логічних висновків у формі Мамдані та Сугено [7 - 10]. Якщо є параметри є невідомими, то необхідно використовувати нейро-нечіткі мережі [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] та здійснювати оптимізацію їх параметрів з ціллю об'єктивізації суб'єктивних висновків.

Висновки. Безперечно актуальною є розробка такої системи раннього виявлення надзвичайних ситуації, яка б давала змогу виявляти можливість виникнення надзвичайної ситуації враховуючи значення початкових відхилень параметрів технологічних процесів, зовнішні фактори навколишнього середовища тощо. Подальшими перспективами досліджень вбачаються розробка структури та моделей роботи бази даних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» //Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, N 15, ст.73
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. N 956 «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки
3. Наказ 15.05.2006 N 288 Про затвердження Правил улаштування, експлуатації та технічного обслуговування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення.
4. Козлов М.Г. Метрология и стандартизация: Учебник М., СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. 372 с.
5. Сигнализатор-анализатор «Дозор - СМ». Руководство по эксплуатации. АГАТ.468514.004-143 РЭ.
6. Левченко А.Д., Левченко Д.Є., Король В.М., Кришталь В.М., Землянський О.М., Землянський О.М. Окремі аспекти комплексних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій. // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. - №5. с. 76-80
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун и др. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
8. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі, методи, алгоритми / В.Є. Снитюк. – К.: Маклаут, 2008. – 364 с.
9. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116-132.
10. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2008. – 344 с.
11. Колесников А.В. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков. – М.: ИПИ РАН, 2007. – 387 с.
12. Сетлак Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / Г. Сетлак. – К.: Логос, 2004. – 251 с.
13. Ярушкина Н.Г. Нечеткие нейронные сети / Н.Г. Ярушкина // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 3. – С. 47-51.
14. Buckley J.J. Fuzzy neural networks: A survey / J.J. Buckley, Y. Hayashi // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – Vol. 66. – P. 1-13.
15. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System / J.-S. R. Jang // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665-685.
16. Von Altrock C. Fuzzy Logic & Neuro-Fuzzy Applications Explained / C. von Altrock. – New Jersey: Prentice Hall PTR. – 1995. – 350 p.

УДК 614.843 (075.32)

Е. М. Гуліда, д. т. н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
О. М. Коваль, к. т. н., Національний університет цивільного захисту України

**МОДЕЛЮВАННЯ ТАКТИКИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ГАСІННЯ ПОЖЕЖ
В ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕННЯХ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Розроблена математична модель для оптимізації вибору тактики локалізації та гасіння пожеж в закритих приміщеннях деревообробних підприємств. Модель включає всі необхідні залежності для встановлення оптимального часу локалізації і гасіння пожежі з урахуванням наявності пожежних відсіків та впливом швидкості вітру на надлишковий тиск або розрядження в осередку закритого приміщення, що призводить до зміни швидкості розповсюдження полум'я пожежі. Крім цього, математична модель дозволяє обґрунтовано визначати оптимальний варіант тактики і тривалості локалізації і гасіння пожежі з необхідною при цьому кількістю сил і засобів та необхідними для ліквідації пожежі газодимозахисним спорядженням і термозахисним одягом. Наукова новизна полягає в тому, що вперше за допомогою оптимізаційної математичної моделі розглядаються та обґрунтовуються основні положення тактичних дій системи пожежогасіння.

Ключові слова: математична модель, тактика локалізації і гасіння пожежі, пожежний ствол, теплова радіація.

Постановка проблеми. В залежності від виду виготовляємої продукції закриті приміщення деревообробних підприємств поділяють на цехи для виробництва клеєних матеріалів і плит, виробів з деревини та спеціального виробництва [1]. Пожежне навантаження в таких цехах є різним і може бути в межах від 50 до 200 кг/м² в залежності від виду виробництва, а лінійна швидкість розповсюдження вогню при пожежі знаходиться в межах 2...5 м/хв. Тому виникнення пожежі та її несвоєчасна ліквідація призводять до значних збитків. В роботах [2-4] для визначення збитків від пожежі використовували загальні витрати у вигляді прямих збитків від пожежі та витрати пожежно-рятувальних частин на її ліквідацію. Зменшення таких збитків можливо тільки при оперативному та якісному виконанні оптимально необхідних тактичних прийомів підрозділами державної служби надзвичайних ситуацій для швидкої локалізації і гасіння пожежі.

Існують нормативні документи для орієнтовного визначення тривалості гасіння пожежі, які враховують багаточисельні статистичні дані [5]. Але в кожному конкретному випадку такий підхід не може бути обґрунтованим. Розв'язування такої проблеми можливо в першу чергу за рахунок розроблення і оперативного використання оптимальних тактичних прийомів для локалізації та гасіння пожеж в приміщеннях цехів деревообробних підприємств. Враховуючі той факт, що для локалізації та гасіння пожеж в приміщеннях цехів деревообробних підприємств математичні моделі тактичних прийомів відсутні, то розв'язування цієї проблеми є актуальною і своєчасною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші кроки по встановленню вимог до виконання максимального об'єму тактичних робіт на пожежі були розглянуті в роботі [5], що стало основою для прийняття відповідних обмежень в процесі розроблення математичних моделей для оптимального розміщення сил і засобів локалізації пожежі. При розробленні оптимізаційних моделей необхідно приймати відповідні критерії. Вибір обґрунтованих критеріїв прийняття відповідних рішень розглянуто в роботах [2, 3] при розгляді гасіння пожеж в резервуарних парках нафтопродуктів.

Вперше моделювання дій пожежних підрозділів по локалізації пожеж в резервуарних парках розглянуто в роботах [6, 7]. Автори розглядають питання про найкраще розміщення пожежних стволів в процесі локалізації пожежі. На їх оцінку впливають відповідні чинники, а саме: 1) ефективність охолодження резервуарів; 2) безпека можливого вибуху або розливу

нафтопродукту; 3) досяжність водним струменем пожежних стволів резервуара; 4) безпечний рівень теплового потоку від пожежі до пожежних; 5) відсутність перешкод між водним струменем ствола та резервуаром, який охолоджується; 6) обмеження, які пов'язані з тактико-технічними характеристиками стволів та правилами техніки безпеки. Перший з наведених чинників був прийнятий за критерій оптимального розміщення стволів для охолодження резервуарів, всі інші – були прийняті за обмеження. Розв'язок оптимізаційної математичної моделі дозволив в залежності від існуючих умов пожежі раціонально розміщувати пожежні стволи для локалізації пожежі в резервуарному парку і дало можливість зменшити втрати від пожежі на 40 % у порівнянні з загальноприйнятим підходом.

Стосовно закритих цехів деревообробних підприємств подібних математичних моделей, як показав аналіз публікацій, не розроблялося. Тому ставиться задача розробити математичну модель, яка б дозволяла виходячи з умов пожежі приймати оптимальний тактичний план розміщення сил і засобів для локалізації та гасіння пожежі в закритих цехах деревообробних підприємств.

Мета роботи. Розробити математичну модель для вибору оптимального тактичного плану локалізації та гасіння пожеж в закритих цехах деревообробних підприємств.

Постановка задачі та її розв'язання. Першочерговою задачею процесу гасіння пожежі є її локалізація, від успішного виконання якої залежить швидкість процесу гасіння. Відомо, що існує значна кількість позицій розміщення сил і засобів для проведення процесу локалізації. Тому виникає задача визначення найкращої (оптимальної) позиції їх розміщення, розв'язок якої залежить від багатьох чинників, а саме: 1) тривалість часу локалізації і гасіння пожежі; 2) матеріальні втрати від пожежі; 3) тривалість часу вільного розвитку пожежі; 4) форма площі пожежі та місце її розміщення в приміщенні; 5) наявність пожежних відсіків в приміщенні; 6) безпечний рівень теплового потоку від фронту пожежі; 7) мінімально необхідна кількість пожежних стволів для локалізації і гасіння пожежі; 8) швидкість вітру та його вплив на надлишковий тиск або розрядження в осередку закритого приміщення; 9) тактико-технічні характеристики пожежних стволів, які використовуються для локалізації і гасіння пожежі; 10) правила охорони праці при локалізації і гасінні пожежі.

Пояснимо кожний чинник, який впливає на розміщення сил і засобів для успішної локалізації пожежі. Під тривалістю часу локалізації пожежі будемо розуміти найменший час, який задовольняє всі умови 2...10. В цьому випадку матеріальні втрати від пожежі і пожежно-рятувальних підрозділів повинні бути найменшими.

Тривалість часу вільного розвитку пожежі в значній мірі впливає на розміри площі пожежі і тривалість часу локалізації. Цей час в першу чергу залежить від оперативності пожежно-рятувальних підрозділів, тобто від часу початку процесу локалізації першими стволами.

Форма площі пожежі та місце її розміщення в приміщенні впливають на розміщення сил і засобів локалізації пожежі. Крім цього, необхідно враховувати розміри приміщення і площу пожежі на час початку її локалізації. Пожежні відсіки затримують процес вільного розвитку пожежі, що сприяє зменшенню матеріальних втрат від пожежі за рахунок зменшення площі пожежі.

Тепловий потік від фронту пожежі може ускладнювати дію пожежних підрозділів і може вимагати їх додаткового захисту згідно із правилами охорони праці при локалізації і гасінні пожежі. Тому необхідно вибирати позицію з меншим тепловим потоком. В процесі локалізації фронт пожежі може бути розміщений за певними перешкодами (колони, пожежні перегородки відсіків тощо). В практичній ситуації кожний засіб для локалізації пожежі повинен знаходитися на вільному просторі.

На переміщення фронту пожежі в закритому приміщенні під час вільного горіння впливає вітер, який призводить до надлишкового тиску або розрядження. Тому цей чинник необхідно враховувати при розміщенні сил і засобів в процесі локалізації пожежі. При

розміщені пожежних стволів необхідно враховувати їх місця розташування, які б дозволяли подавати струмінь на необхідну глибину від фронту пожежі. Крім цього, треба також враховувати можливу довжину рукавної лінії. Необхідно також враховувати правила охорони праці в процесі локалізації і гасіння пожежі

Математична постановка задачі оптимізації. *Перший чинник* приймаємо за функцію мети, яка в нашому випадку повинна мати при розв'язанні задачі найменше значення, тобто

$$\tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{г}} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\tau_{\text{лок}}$ – час локалізації пожежі, хв; $\tau_{\text{г}}$ – час гасіння пожежі, хв.

Другий чинник за умови проведення оптимізації приймаємо за критерій оцінки отриманого результату. Для поставленої задачі матеріальні втрати B від пожежі повинні бути мінімальними, а саме

$$B \Rightarrow \min. \quad (2)$$

Чинники 3...10 є обмеженнями при розв'язку оптимізаційної задачі. В цьому випадку ставиться задача отримання найменшого часу локалізації і гасіння пожежі і найменших матеріальних втрат виходячи з наявних сил і засобів таким чином, щоб виконати обмеження 3...10.

Третій чинник. Тривалість часу вільного розвитку пожежі залежить від багатьох чинників роботи пожежно-рятувальних підрозділів. Визначимо прогнозований час з моменту виникнення пожежі до початку її локалізації силами пожежно-рятувальних підрозділів, тобто прогнозований час вільного горіння $\tau_{\text{в.г}}$:

$$\tau_{\text{в.г}} = \tau_{\text{в.в}} + \tau_{\text{сп}} + \tau_{\text{о.о}} + \tau_{\text{з.с}} + \tau_{\text{зб}} + \tau_{\text{сл}} + \tau_{\text{роз}}, \quad (3)$$

де: $\tau_{\text{в.в}}$ – час з моменту виникнення до моменту виявлення пожежі (на практиці цей час коливається в межах 5...8 хв [8]); середнє значення $\tau_{\text{в.в}} = 6,5$ хв; $\tau_{\text{сп}}$ – час з моменту виявлення пожежі до моменту сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ 3...4 хв [8] (середнє значення $\tau_{\text{сп}} = 3,5$ хв); $\tau_{\text{о.о}}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу; $\tau_{\text{о.о}} = 1$ хв [9]; $\tau_{\text{з.с}}$ – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі; $\tau_{\text{з.с}} = 3$ хв (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993); $\tau_{\text{зб}}$ – час збору особового складу; $\tau_{\text{зб}} = 1$ хв [9]; $\tau_{\text{сл}}$ – середній час слідування на пожежу; $\tau_{\text{сл}} = 13,9$ хв (після статистичної обробки результатів робіт [10, 11]); $\tau_{\text{роз}}$ – час оперативного розгортання; $\tau_{\text{роз}} = 7$ хв [8].

На підставі наведених нормативних і статистичних даних можна за залежністю (3) визначити середнє значення тривалості вільного розвитку пожежі:

$$\tau_{\text{в.г}} = 6,5 + 3,5 + 1 + 3 + 1 + 13,9 + 7 = 35,9 \text{ хв.}$$

Четвертий чинник. Деревообробні цехи в більшості випадків розміщують в закритих приміщеннях шириною $B = 72$ м, довжиною $L = 144...192$ м і висотою $H = 6$ м до залізобетонної ферми. Пожежне навантаження в цеху знаходиться в межах 150...200 кг/м². Результати аналізу виникнення пожеж в приміщеннях цехів деревообробних підприємств показали, що існує велика кількість можливих пожежних ситуацій, але в більшості випадків (73%) вони відповідають семи пожежним ситуаціям, які зображені на рис. 1 [12].

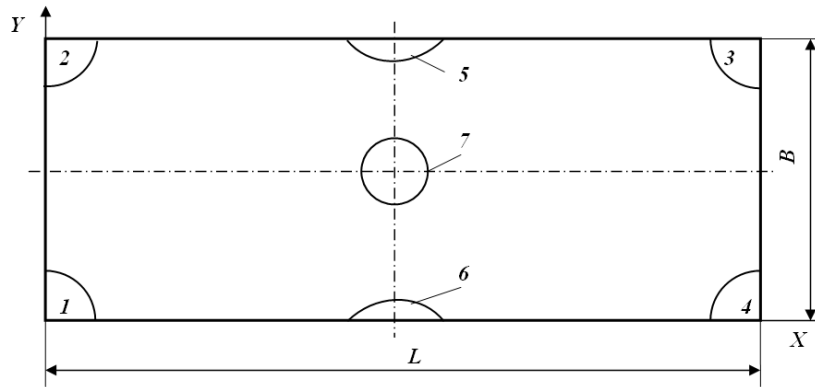


Рисунок 1 – Схема приміщення цеху деревообробного підприємства з можливими пожежними ситуаціями і формами площі пожежі: 1, 2, 3, 4 – кутова форма (90°); 5, 6 – кутова форма (180°); 7 – кругова.

Розмістивши приміщення цеху в системі координат XU (рис. 1), визначимо координати розміщення кожної пожежної ситуації: 1(0; 0); 2(0; B); 3(L ; B); 4(L ; 0); 5(0,5 L ; B); 6(0,5 L ; 0); 7(0,5 L ; 0,5 B).

П'ятий чинник. Наявність пожежних відсіків в приміщенні цеху значно зменшує швидкість розповсюдження полум'я пожежі. Для врахування цього зменшення розглянемо це питання на прикладі цеху, дільниці якого відокремлені перегородками з цегли, клас вогнестійкості яких дорівнює REI60. Кожна дільниця має вільний вихід на центральний проїзд цеху. Розглянемо випадок, коли на одній ділянці виникла кутова пожежа (90°; $\alpha = 0,785$) пожежної ситуації 2(0; B) (рис. 1). Загальна площа цієї дільниці (ширина 30 м; довжина до центрального проїзду 34 м) складає 1020 м², лінійна швидкість розповсюдження полум'я $V_n = 0,022$ м/с [13].

У випадку, коли локалізація і гасіння пожежі безпосередньо на цій дільниці (позначимо умовно цю дільницю цифрою 1) не відбудуться, то імовірність виходу пожежі з цієї дільниці на центральний проїзд буде дорівнювати $P_{1u} = 1$. Імовірність розповсюдження пожежі по центральному проїзду при відсутності її локалізації і гасіння буде також дорівнювати $P_u = 1$. Далі пожежа може перейти з центрального проїзду на рядом розміщену сусідню дільницю і протилежно розміщену (позначимо їх відповідно цифрами 2 і 11) з імовірностями $P_{u2} = 1$ і $P_{u11} = 1$. Але у випадку початку локалізації пожежі на дільниці 1 на той час, коли вона ще не вийшла за її межі, можливий тільки один варіант переходу пожежі на дільницю 2, а саме через протипожежну перегородку, яка має клас вогнестійкості REI60. Для визначення імовірності можливого переходу пожежі з дільниці 1 на дільницю 2 через протипожежну перегородку скористуємося основними положеннями теорії надійності [14]. В цьому випадку маємо, наприклад, за $\tau_{в.г} = 35,9$ хв згідно із залежністю (3) з використанням експоненціального розподілу

$$P_{12} = 1 - \exp(-\lambda \tau_{в.г}), \quad (4)$$

де λ – інтенсивність відмов, хв⁻¹;

$$\lambda = \frac{1}{\bar{O}_A}; \quad (5)$$

T_B – тривалість вогнестійкості, хв.

Тоді

$$P_{12} = 1 - e^{-\frac{\tau_{d,a}}{\dot{Q}_A}} = 1 - 2,718^{-\frac{35,9}{60}} = 0,45.$$

Визначимо сумарну імовірність P_{Σ} розповсюдження пожежі між дільницями цеху з використанням протипожежних перегородок за залежністю

$$P_{\Sigma} = P_{1\dot{\sigma}} \dot{D}_{\dot{\sigma}} \dot{D}_{\dot{\sigma}2} \dot{D}_{\dot{\sigma}11} (1 - \dot{D}_{12}) = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 (1 - 0,45) = 0,55.$$

В цьому випадку використання протипожежних перегородок зменшує швидкість розповсюдження пожежі по приміщенню цеху приблизно в

$$\xi = \frac{1}{P_{\Sigma}} = \frac{1}{0,55} = 1,8 \text{ рази.}$$

Шостий чинник. Безпечний рівень теплового потоку від фронту пожежі впливає на відстань від пожежного зі стволем до фронту пожежі. Для вибору критичного значення густини теплового потоку для пожежного скористуємося рекомендаціями, які наведені в роботі [5] (табл. 1). Визначимо густину теплового потоку q (Вт/м²) від полум'я пожежі в навколишнє середовище закритого приміщення цеху. Для цього скористуємося рекомендаціями, які наведені в роботі [15]

$$q = \frac{\sigma(T_{\dot{\sigma}}^4 - T_0^4)}{\frac{1}{\dot{A}_{\dot{\sigma}}} + \frac{1}{\dot{A}_n} - 1 + \frac{3\alpha\bar{\alpha}}{4}}, \quad (6)$$

де $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴) – стала Стефана – Больцмана; $T_{\dot{\sigma}}$ – температура факела полум'я осередка пожежі, К; T_0 – температура навколишнього середовища, К; $A_{\dot{\sigma}} = 0,9$ – поглинальна здатність факела полум'я [16]; $A_{\dot{\sigma}} = 0,6$ – поглинальна здатність середовища [16]; $\bar{\alpha}$ – осереднений за спектром коефіцієнт поглинання середовища $\bar{\alpha} = 0,89$ м⁻¹ [13]; x – дійсна відстань між пожежним зі стволем і центром факела осередку пожежі, м.

Таблиця 1 – Потрібний захист і допустимий час перебування людей в зоні теплової радіації

Густина теплового потоку q , кВт/м ²	Допустимий час перебування людей, хв	Потрібний захист людей	Ступінь теплової дії на шкіру людини
3,0	Не обмежується	Без захисту	Больові відчуття відсутні
4,2	Не обмежується	В захисному одязі та в касці із захищеним склом	Не переносимі больові відчуття через 20 с
7,0	5	Те ж	Не переносимі больові відчуття, які виникають миттєво

Температуру $T_{\dot{\sigma}}$ (К) факела визначаємо за залежністю [17]

$$T_{\delta} = \frac{Q_{\min} \psi_n \tau_{a.a}}{\tilde{n}_{\delta} G}, \quad (7)$$

де Q_{\min} – значення найнижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження, кДж/кг; ψ_n – питома швидкість вигорання, кг/м²с; $\tau_{a.z}$ – тривалість вільного розвитку пожежі, с; c_p – питома теплоємність матеріалу, для якого розглядається пожежа, кДж/кг·К; G – пожежне навантаження маси оброблювальних матеріалів і обладнання, яке знаходиться в осередку пожежі, кг/м².

Для визначення дійсної відстані x між пожежним зі стволом і центром факела осередку пожежі на першому етапі визначимо відстань l_{ϕ} в м між центром факела та фронтом пожежі з урахуванням площі пожежі S_{Π} в м²:

$$\text{- кутова пожежа (90°) } l_{\delta} = 0,5R_f = 0,56\sqrt{S_f}; \quad (8)$$

$$\text{- кутова пожежа (180°) } l_{\delta} = 0,5R_f = 0,4\sqrt{S_f}; \quad (9)$$

$$\text{- кругова пожежа (360°) } l_{\delta} = R_f = 0,56\sqrt{S_f}. \quad (10)$$

Тоді дійсна відстань між пожежним зі стволом і центром факела осередку пожежі

$$x = l_{\delta} + l_q,$$

де l_q – відстань пожежного зі стволом від фронту пожежі, яка залежить від потрібного термозахисту і допустимого часу його перебування в зоні теплової радіації, м.

Для визначення відстані пожежного зі стволом від фронту пожежі l_q в м на підставі багаточисельних розрахунків за залежностями (6) – (10) з обробленням отриманих результатів методами математичної статистики

$$l_q = 23,2 \left(\frac{S_f^{0,27}}{[q]} \right)^{0,7}, \quad (11)$$

де $[q]$ – допустиме значення густини теплового потоку для заданих умов локалізації і гасіння пожежі, кВт/м².

Сьомий чинник. Мінімально необхідна кількість пожежних стволів для локалізації і гасіння пожежі може бути визначена на підставі рекомендацій робіт [5, 18-20]. Згідно із рекомендаціями визначаємо кількість стволів B на гасіння (N_B^A) і захист (N_B^C) та кількість стволів A (N_A) від загальної кількості стволів N_B^A на підставі рекомендацій [5]

$$N_A = 0,3N_B^A. \quad (12)$$

Восьмий чинник. Швидкість вітру впливає на надлишковий тиск або розрядження в осередку закритого приміщення, що призводить до зміни швидкості розповсюдження полум'я пожежі, яка виникла в цьому приміщенні. Для такого аналізу скористуємося рекомендаціями, які наведені в [5]. Аналіз проведемо на підставі розгляду тиску або розрядження на висоті від підлоги до площини рівних тисків у відділеннях прямокутного приміщення деревообробного цеху (рис. 2), на які впливає кут дії α_v вітру, тобто від напрямку дії якого залежить значення аеродинамічного коефіцієнту k_e (табл. 2).

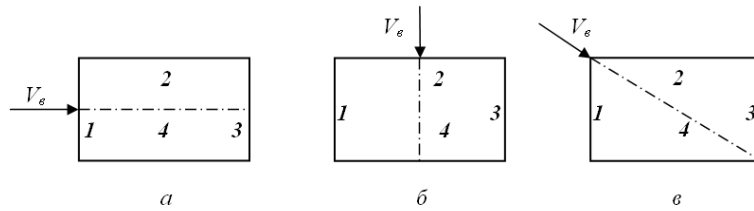


Рисунок 2 – Схеми приміщень та їх відділень з напрямом дії на них вітру

Таблиця 2 – Значення аеродинамічних коефіцієнтів для приміщень прямокутної форми

Кут дії вітру $\alpha_в$, град	0° рис. 3, а				90° рис. 3, б				45° рис. 3, в			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Значення аеродинамічного коефіцієнта $k_в$	0,65	-0,37	-0,15	-0,37	-0,52	0,66	-0,52	-0,24	0,36	0,36	-0,38	-0,48

Абсолютне значення надлишкового тиску або розрядження $\Delta P_в$ в Па від дії вітру визначаємо за залежністю

$$|\Delta P_в| = \frac{177,2 V_в^2 k_в}{\rho_в g}, \quad (13)$$

де $V_в$ – швидкість вітру, м/с; $k_в$ – аеродинамічний коефіцієнт (табл. 2); T_c – середньооб’ємна температура середовища для розглядаємої ділянки цеху, К; g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²).

З урахуванням рівняння Бернуллі та результатами досліджень по впливу швидкості переміщення газів на швидкість розповсюдження полум’я пожежі була отримана залежність для врахування цієї швидкості на зміну швидкості розповсюдження пожежі

$$\Delta v_в = 5,35 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{2|\Delta P_в|}{\rho_в}}, \quad (14)$$

де $\rho_в$ – середньооб’ємна густина середовища для розглядаємої ділянки цеху, яка залежить від середньооб’ємної температури T_c в град К, кг/м³

$$\rho_в = 354,33/T_c. \quad (15)$$

Тоді дійсна швидкість V_{II} розповсюдження полум’я пожежі буде

$$V_{II} = v_в \pm \Delta v_в. \quad (16)$$

В залежності (16) знак «+» приймають при переході пожежі з ділянки цеху із надлишковим тиском на ділянку з розрядженням і знак «-» – у протилежному випадку.

Дев’ятий чинник. Тактико-технічні характеристики пожежних стволів приймаємо згідно із ДСТУ 2112-92, які використовуються для локалізації і гасіння пожеж класу А. Основною тактико-тактичною характеристикою ствола є дальність L_{max} подачі суцільного струменя. Значення L_{max} приймають в межах до 30 м.

Десятий чинник. Правила охорони праці при локалізації і гасінні пожежі зобов'язують кожного пожежного, у випадку виникнення у зоні ліквідації пожежі небезпечних чинників, використовувати згідно із наказом № 1342 від 16.12.2011 року МНС України газодимозахисне спорядження та захисний одяг. Для захисту органів дихання та зору під час роботи в непридатному для дихання середовищі необхідно використовувати апарат на стисненому повітрі SCBA ProffAir APS/4. Захист пожежного від теплової радіації необхідно виконувати за рахунок використання термозахисних костюмів «Індекс-1», «Індекс-3» та «Індекс-1200», які дозволяють працювати при температурі 200°C на протязі 15 хв, а термозахисний костюм «Індекс-1200» – при температурі 1200°C до 5 хв. Для обґрунтованого прийняття рішення про необхідність використання пожежним термозахисного костюма скористуємося залежністю (11), на підставі якої визначимо дійсне мінімальне значення теплової радіації q_{\min} в кВт/м² в залежності від максимально допустимої відстані пожежного $l_{q_{\max}}$ в м від фронту пожежі при її площі S_{II} в м²

$$q_{\min} = \frac{90^3 \sqrt{S_{II}}}{\sqrt{l_{q_{\max}}^3}}. \quad (17)$$

Для гасіння пожеж в цехах деревообробляючих виробництв головним чином використовують воду [18]. При **виникненні пожежі** черговий обслуговуючий персонал зупиняє роботу верстатів, відсмоктує вентиляції та силових електроустановок. Після цього виконується евакуація з приміщення цеху, в якому виникла пожежа, всіх працюючих згідно з евакуаційними планами.

По приїзду пожежно-рятувальних підрозділів на об'єкт, де виникла пожежа, в процесі їх оперативного розгортання, в першу чергу необхідно поставити пожежні автомобілі на найближчі вододжерела і розміщувати пожежних зі стволами по фронту розповсюдження пожежі. Крім цього, також треба розміщувати пожежних зі стволами B на захист обладнання і крівлі.

При виникненні пожежі в місцях цеху $I \dots 7$ (рис. 1) можливі наступні варіанти тактики локалізації пожежі:

Тактичний варіант 1. У випадку виникнення пожежних ситуацій $I \dots 4$ розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують по фронту пожежі з внутрішньої протилежної сторони середовища приміщення, в якому відсутня пожежа.

Тактичний варіант 2. У випадку виникнення пожежних ситуацій $5 \dots 6$ розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують по фронту пожежі з правої і лівої сторони середовища приміщення, в яких відсутня пожежа.

Тактичний варіант 3. У випадку виникнення пожежної ситуації 7 розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують за двома протилежно розміщеним фронтам пожежі, яка виникла в центральній частині цеху, з правої і лівої сторони середовища приміщення, в яких відсутня пожежа.

Після розгляду всіх питань, які пов'язані з математичною постановкою задачі оптимізації, переходимо до **розроблення оптимізаційної математичної моделі** тактики локалізації і гасіння пожежі.

Вхідні дані: 1) координата пожежі $I(x; y)$, де $I = 1, 2, \dots, 7$ – номер можливої пожежної ситуації; 2) наявність пожежних відсіків ξ (у випадку відсутності пожежних відсіків $\xi = 1$; при $\xi = 1,8$ – в цеху розміщені пожежні відсіки); 3) v_l – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/с; 4) швидкість вітру V_6 , м/с; кут дії вітру α_6 , град; номер ділянки цеху, на якій виникла пожежа, з надлишковим тиском від вітру або розрядженням; 5) тип ствола N_B та L_{\max} ; тип ствола N_A та L_{\max} ; 6) тип термозахисних костюмів і апаратів для захисту органів дихання та зору під час роботи в непридатному для дихання середовищі, вибір яких залежить від q_{\min} і часу тривалості вільного розвитку пожежі; 7) тактичні варіанти розміщення сил і

засобів локалізації і гасіння пожежі, кожен з яких вибирається в залежності від координати пожежі $I(x; y)$ в цеху; 8) значення обмежень a_i і b_i , які необхідно визначити заздалегідь; 9) $[p]$ – допустиме значення імовірності для прийняття оптимального значення функції мети.

Функція мети

$$\tau_{\bar{e}\bar{e}} + \tau_{\bar{a}} \Rightarrow \min; \quad (18)$$

за критерієм

$$B = B_o + B_n \Rightarrow \min; \quad (19)$$

за обмеженнями

$$a_1 \leq N_B^{\bar{A}} \leq b_1; \quad (20)$$

$$a_2 \leq N_B^{\bar{C}} \leq b_2; \quad (21)$$

$$a_3 \leq N_A \leq b_3; \quad (22)$$

$$a_4 \leq \tau_{\bar{a}\bar{a}} \leq b_4; \quad (23)$$

$$a_5 \leq l_q \leq b_5; \quad (24)$$

$$p \geq [p], \quad (25)$$

де $\tau_{лок}$ – час локалізації пожежі, хв; τ_e – час гасіння пожежі, хв; значення цих часів визначаємо за залежностями [20]

$$\tau_{\bar{e}\bar{e}} = \frac{6,39S_{\bar{e}\bar{e}}^{0,893}}{2N_A + N_A^{\bar{A}}} K_I K_d; \quad \tau_{\bar{a}} = \tau_{\bar{e}\bar{e}} \left(\frac{S_I}{S_{\bar{e}\bar{e}}} - 1 \right); \quad (26)$$

$S_{лок}$ – площа локалізації, м²; K_I – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання $I_I^{\bar{A}}$ (л/м²с) в осередок пожежі вогнегасної речовини; K_d – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра насадки d (мм) ствола (рекомендоване значення діаметра насадки для ручних стволів $N_B d = 13$ мм; для стволів $N_A d = 19$ мм; для розрахунку приймають середнє значення $d = 16$ мм); для

кругової і кутової пожеж $S_{\bar{e}\bar{e}} = [2 \frac{V_I}{\xi} (\tau_{\bar{a}\bar{a}} - 5)h - h^2] \alpha$; h – глибина подачі вогнегасної

речовини в осередок пожежі ($h = 5$ м для ручних стволів [5]); $S_I = [25 + (\tau_{\bar{a}\bar{a}} - 10)^2] \frac{V_I^2}{\xi^2} \alpha$ при

$\tau_{в.г} > 10$ хв; $K_I = 1,62 - 3,04I_I^{\bar{A}}$; $K_d = 1,4983 - 0,0262d$; α – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова $360^\circ \alpha = 3,14$ рад; кутова $180^\circ \alpha = 1,57$ рад; кутова $90^\circ \alpha = 0,785$ рад; B_o – прямі збитки на об'єкті від пожежі, грн; $B_o = C_o S_I$; C_o – середня вартість 1м² площі об'єкта, на якому виникла пожежа, грн/м²; B_n – витратами пожежно-рятувальних частин, які брали участь в її ліквідації пожежі, грн.; $\hat{A}_I = C_{\hat{A}} \tau_{\bar{e}\bar{e}}^{-0,8725}$; $C_B = 1,68 \cdot 10^5$ – коефіцієнт пропорційності; $\tau_{л.н} = \tau_{лок} + \tau_e$ – сумарна тривалість локалізації і гасіння пожежі, хв; $a_1, a_2, \dots a_5$ – мінімальні значення обмежень; $b_1, b_2, \dots b_5$ – максимальні значення обмежень; p – імовірність попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків ($p = k/N$, де k – кількість циклів роботи програми, при яких досліджувальні точки попали в область допустимих розв'язків; N – загальна кількість циклів роботи програми); $[p]$ – допустиме значення імовірності, від значення якого залежить кількість досліджень для прийняття оптимального значення.

Значення обмежень a_1, a_2, a_3 можна приймати однаковими і такими, що дорівнюють одиниці. Такий підхід можна обґрунтувати тим, що при приїзді першої пожежної автомашини, на якій знаходиться одна ланка, яка може після оперативного розгортання

залучити до локалізації пожежі тільки таку кількість засобів пожежогасіння. Значення обмежень b_1, b_2, b_3 визначають згідно із рекомендаціями робіт [5, 18-20] і за залежністю (12) відповідно. Мінімальне значення обмеження a_4 можна визначити за залежністю

$$a_4 = \frac{60Lk_i}{V_{\tilde{n}\tilde{e}}} + 20,5, \text{ хв} \quad (27)$$

де L – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км; k_n – коефіцієнт, який враховує непрямолінійність вуличної мережі (в містобудівельній практиці його максимальне значення приймають $k_n = 1,4$); V_{cl} – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год (в денний час $V_{cl} = 32$ км/год; вночі – до 60 км/год [20]).

Максимальне значення обмеження b_4 приймаємо як середньостатистичне значення часу вільного горіння

$$b_4 = \frac{60Lk_i}{V_{\tilde{n}\tilde{e}}} + 29, \text{ хв.} \quad (28)$$

Мінімальне значення обмеження a_5 приймаємо 10 м, а максимальне значення $b_5 = L_{\max} - h$.

Для розв'язування оптимізаційної моделі скористуємося методом Монте-Карло [21]. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями (20)...(24), оточують m -мірним паралелепіпедом, в якому проводимо дослідження. Поставлену задачу краще всього розв'язувати з використанням ПЕОМ. За допомогою давача комп'ютера утворюють послідовність псевдовипадкових чисел μ_{ji} в інтервалі $0...1$. Для перетворення псевдовипадкових чисел μ_{ji} , які рівномірно розподілені в інтервалі $0...1$, до значень $N_B^A, N_B^C, N_A, \tau_{в.г}$ та l_q використовуємо залежності виду, наприклад, для l_q

$$l_{qi} = a_5 + \mu_{5i}(b_5 - a_5)$$

де: μ_{5i} – псевдовипадкове число для визначення чинника l_{qi} на певному i -тому циклі розрахунку.

В процесі розрахунку на кожному циклі роботи програми визначаються значення $\tau_{лок}$ і τ_2 за залежностями (26) та критеріїв B_o і B_n , які перевіряються зі значеннями попереднього циклу. Ці процедури виконуються до тих пір, поки буде виконана умова (25). Після завершення роботи програми на друк видаються такі дані: S_{Π} на час початку локалізації; $\tau_{сл}$, V_{Π} , $\tau_{лок}$ і τ_2 , $N_B^A, N_B^C, N_A, l_q, p$; тип апарату для захисту органів дихання та зору; тип термозахисного одягу; тривалість роботи в осередку пожежі, хв; тактичний варіант локалізації і гасіння пожежі; місця та ділянки для захисту об'єкта і обладнання від полум'я пожежі та температури.

Для реалізації оптимізаційної моделі був розроблений для ПЕОМ пакет прикладних програм на мові C++ для роботи в середовищі Windows XP. Час роботи ПЕОМ становив 5-7 с для 5 тисяч випробувань (N_i – циклів) при імовірності попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків $p = 0,94...0,96$.

Висновки. 1. Розроблена математична модель оптимізації тактики локалізації і гасіння пожеж в приміщеннях цехів деревообробних підприємств, яка дає можливість оперативно і обґрунтовано з імовірністю 0,94...0,96 визначати оптимальний варіант тактики і тривалості локалізації і гасіння пожежі з необхідною при цьому кількістю сил і засобів та необхідними для ліквідації пожежі газодимозахисним спорядженням і термозахисним одягом.

2. Впровадження в пожежно-рятувальних підрозділах Державної служби надзвичайних ситуацій математичної моделі оптимізації тактики локалізації і гасіння пожеж в приміщеннях цехів деревообробних підприємств дає можливість, як показали попередні розрахунки, зменшити тривалість ліквідації пожежі на 38% і відповідно зменшити збитки від пожежі на 26%.

3. Необхідна подальша робота з метою удосконалення оптимізаційної моделі з урахуванням впровадження в пожежну практику новітніх тактичних прийомів ліквідації пожеж в приміщеннях деревообробних підприємств з використанням удосконаленого пожежного спорядження та засобів вогнегасіння і вогнезахисту підвищеної ефективності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ференц О.Б. Технологія столярних виробів / О.Б. Ференц, В.М. Максимів, Навчальний посібник. – Львів: НЛТУ України, 2011. – 400 с.
2. Кудин А.И. Обзор критериев принятия решения для целей создания оперативного плана тушения пожаров в резервуарных парках / А.И. Кудин, В.И. Пермяков // Тез. докл. 51-й НТК. – Харьков: ХГТУСА, 1996. – с. 73.
3. Кудин А.И. Организация базы знаний для экспертной системы принятия решения при тушении пожаров с нефтепродуктами / А.И. Кудин, В.И. Пермяков // Проблемы пожежної безпеки. – К.: МВС України, 1995. – С. 244-245.
4. Пермяков В.И. Перспективы разработки и применения экспертных систем при тушении пожаров / В.И. Пермяков, А.И. Кудин // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: МВД Украины, 1993. – С. 293-296.
5. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
6. Абрамов Ю.А. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 251 с.
7. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Алгоритм оптимального расположения сил и средств для тушения пожара в резервуарном парке / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. – Харків: Фоліо, 2006. – Вип. 3. – С. 26-32.
8. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики / В.П. Бут, Л.Б. Куціщій, Б.В. Болібрех. – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.
9. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.: УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
10. Огляд стану організації пожежогасіння, пожежно-рятувальних робіт, застосування пожежної та спеціальної техніки ПРП МНС України у 2005 році. – К.: Департамент ЦЗ МНС України, 2005. – 31 с.
11. Крайнюк О.І. Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони. / О.І. Крайнюк // Науковий вісник УкрНДІПБ, 2008, № 2 (18). – С. 180-185.
12. Климась Р. Статистика пожеж на деревообробних підприємствах за 2011 і 2012 роки / Р. Климась. – К.: УкрНДІЦЗ, 2013. – 5 с.
13. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
14. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
15. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
16. Копылов Н.П. Моделирование пожаров на складах лесоматериалов / Н.П. Копылов // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – С. 189-197.

17. Гуліда Е.М. Метод статистичного моделювання пожежі в приміщенні / Е.М. Гуліда, О.В. Меньшикова // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: НУГЗУ, 2010. – Вып.28. – С. 65-73.

18. Повзик Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик, П.П. Ключ, А.М. Матвейкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 335с.

УДК 614.8

О. М. Землянський, к. т. н.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ УРАЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ ПІД ЧАС ПОЖЕЖОГАСІННЯ

У статті розглянуто питання попередження ураження електричним струмом під час пожежогасіння. Розкрито спосіб виявлення небезпечного струму на об'єкті. Та запропоновано і обґрунтовано конструкцію пожежного ствола із світлозвуковим сигналізатором напруги.

Ключові слова: сигналізатор напруги, пожежний ствол, електричний струм.

Постановка проблеми. У 1862 році француз Леура де Меркюр вперше описав випадок ураження людини електричним струмом при випадковому дотику до провідника в мережі постійного струму (миттєве настання смерті) [1].

Згідно зі статистичними даними, в Україні щороку в середньому травмується 80 пожежників, у тому числі 6 осіб з летальним результатом [2]. Серед основних травмуючих факторів, які призвели до летальних випадків, є і ураження електричним електричним струмом. Причини такої ситуації допущені тактичні помилки і прорахунки в організації пожежогасіння. Крім того необхідно враховувати умови, за яких проводяться аварійно – рятувальні роботи силами підрозділів ДСНС, зокрема те, що за останні роки значно збільшилася кількість різноманітних електричних приладів у житловому секторі, на підприємствах та установах, а звичних діелектричних засобів, які знаходяться на озброєнні у підрозділах, замало для повноцінного виконання завдань служби цивільного захисту. Крім того, під час гасіння пожеж на об'єктах з електрообладнанням виникає небезпека ураження пожежника електричним струмом навіть після знеструмлення, оскільки можуть бути допущені помилки при виконанні введів, присутні прихований ввід чи автономне джерело живлення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. З метою захисту пожежних під час виконання тактичних завдань, аварійно – рятувальних робіт, розбирання конструкцій та ін. підрозділи ДСНС використовують такі засоби захисту, як діелектричний комплект, який складається з ножиць з діелектричними ручками і електрозахисних засобів [3]. Використання таких засобів спрямоване на захист від можливого ураження електричним струмом у тому випадку коли відомо про загрозу, тому у випадку наявності непередбачених джерел електричної енергії або через необережність можливі травмування, а в гіршому випадку і загибель особового складу підрозділів. Саме тому рівень захисту пожежного від впливу електричного струму необхідно підвищувати, зокрема шляхом вчасного інформування про наявність електричного струму.

При роботі з електрообладнанням для захисту від ураження електричним струмом використовують різного роду сигналізатори, які призначені для попередження персоналу про наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що перебувають під напругою. Сигналізатори небезпечної напруги здійснюють контроль напруженості електричного поля. При перевищенні її встановленого рівня, спрацьовує звукова або світлова сигналізація. Проте такі сигналізатори призначені для виявлення ліній електропередач з напругою від 6 кВ і тому непридатні для використання в підрозділах ДСНС.

Водночас існують сигналізатори небезпечної напруги для оповіщення працівників про наближення до зони небезпечної змінної напруги 220, 380 В. Прилад закріплюється на нагрудній кишені або на іншій частині верхнього одягу працівника. Про те звукова й світлова сигналізація пристрою спрацьовує лише при наближенні до джерела небезпечної змінної напруги на відстань менше 0,8 метра [4]. Таким чином виникає питання щодо

придатності при виконанні оперативних дій, з урахування віддаленості пристрою від кінцівок та часу необхідного на сприйняття звукової чи світлової сигналізації.

Постановка задачі та її розв'язання. Електричне коло, що виникає при подачі вогнегасної речовини на електрообладнання під напругою, залежить від відстані між людиною зі стволом та самим електрообладнанням (рис. 1).

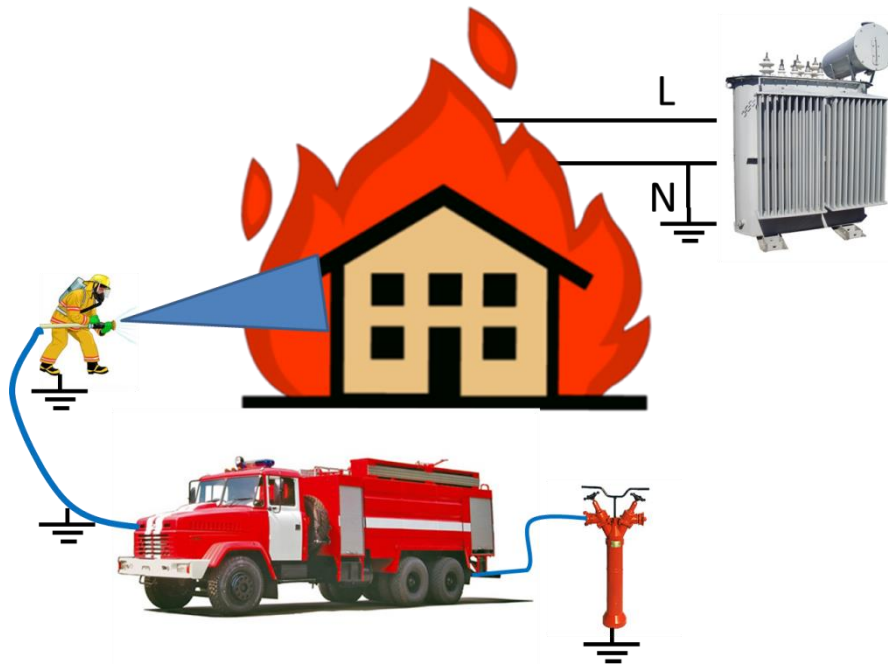


Рисунок 1 - Електричне коло, що виникає при подачі вогнегасної речовини на об'єкт з наявністю електричного струму.

Вплив струму на людину залежить від сили струму. Так безпечним струм вважається при 50-75 мкА перемінного струму і 100-125 мкА постійного струму. Граничний (відчутний) струм — до 1,6 мА при перемінному струмі і до 6 мА при постійному струмі. Небезпека для життя виникає при досягненні фібриляційного струму — понад 50 мА при перемінному струмі, при якому відбувається зупинка серця через 1-3 с після замикання ланцюга. І вже при перевищенні 5 А виникає смертельний струм, який викликає негайну зупинку серця [1].

При подачі вогнегасної речовини на значному віддаленні сила струму може бути невідчутною для людини, а ураження можливе при виконанні інших дій, зокрема при евакуації матеріальних цінностей чи розборі конструкцій.

Поставлена задача вирішується тим, що попередження про небезпеку ураження електричним струмом при гасінні пожеж здійснюється у спосіб, який полягає в тому, що задають граничне безпечне значення електричного струму, вимірюють електричний струм, який проходить по потоку вогнегасної рідини, за різницею потенціалів, виміряне значення порівнюють із заданим граничним безпечним значенням електричного струму та, при перевищенні заданого значення, видають попередження про небезпеку ураження електричним струмом. Різницю потенціалів вимірюють між кінцями ділянки потоку вогнегасної рідини обмеженої провідниками, які розташовані на пожежному стволі або пожежному рукаві, що виконаний з діелектричного матеріалу, та контактують з вогнегасною рідиною, а попередження про небезпеку ураження електричним струмом здійснюють шляхом подачі світлового та/або звукового сигналу.

Крім того, сигнал подають різної потужності, відповідно до перевищення заданого значенням електричного струму.

Вимірювання різниці потенціалів на ділянці обмеженій пожежним стволом або пожежним рукавом, що виготовлений з діелектричного матеріалу та провідниками, дозволяє

вимірювати різницю потенціалів в неперервному потоці рідини незалежно від ступеня розпилення води при виході з насадку. Запропонований підхід забезпечує вимір різниці потенціалів в рідині та не впливає на параметри струменя, що формується пожежним стволом. Крім того, чутливість способу може регулюватися довжиною ділянки потоку обмеженої провідниками. Такий спосіб дозволяє виявити небезпечний струм як на ділянці трубопроводу, так і на виході струменя.

Здійснення попередження про небезпеку враження електричним струмом світловим, звуковим або світлозвуковим сигналом забезпечує ефективне інформування пожежників про наявність електричного струму на об'єктах гасіння, а подача сигналу різної потужності забезпечує інформування про ступінь небезпеки, що дозволяє уникнути особовому складу ураження електричним струмом.

За допомогою пристрою, наприклад вольтметру, вимірюють різницю потенціалів між двома провідниками, які розташовані на пожежному стволі (або на пожежному рукаві) на визначеній відстані, наприклад на початку та в кінці ствола, та безпосередньо контактують з вогнегасною рідиною, що проходить через ствол (або пожежний рукав). Вимірні значення автоматично порівнюється з попередньо заданим значенням електричного струму, який є гранично безпечним. Вимірювання та порівняння відбувається безперервно при включенні пожежного ствола. При перевищенні гранично безпечного електричного струму автоматично вмикається сигнал сповіщення про небезпеку ураження електричним струмом. Сигнал може бути світловим, звуковим, а також світлозвуковим. Сигнал може мати різну потужність, залежно від ступеню небезпеки ураження електричним струмом, який визначається за рівнем перевищення заданого значенням електричного струму.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. З метою попередження ураження електричним струмом шляхом інформування про існуючу небезпеку запропоновано світлозвуковий сигналізатор напруги встановлений на ствол РСП-50 [5]. Частина пожежного ствола виконана з діелектричного матеріалу, і містить з обох боків вставки з електропровідного матеріалу (рис.2).

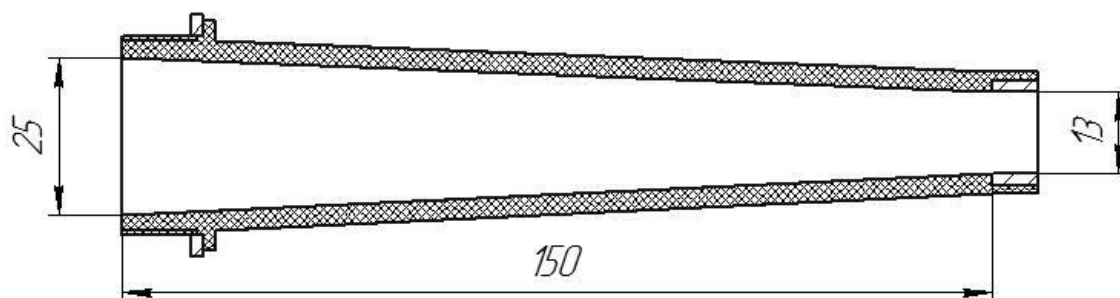


Рисунок 2 - Насадок ствола РСП-50

Вода в діелектричній частині має певний опір, який можна розрахувати виходячи з геометричних розмірів діелектричної вставки та питомого опору води:

$$dR = \rho \frac{dl}{S} = \rho \frac{dl}{\pi r^2} \quad (1)$$

де R – електричний опір ділянки, Ом; ρ - питомий електричний опір Ом·м; l - довжина ділянки, м; S - площа перерізу ділянки, м²; r - радіус ділянки, м.

Для дослідження використовувався конічний насадок ствола, тому:

$$R = \frac{\rho}{\pi} \int_0^l \frac{dl}{r^2} = \frac{\rho}{\pi} \int_0^l \frac{dl}{(r_1 - l \operatorname{tg} \alpha)^2} \quad (2)$$

де $\operatorname{tg} \alpha = \frac{r_1 - r_2}{l}$, α - кут конуса.

Тоді для визначення опору води в ємності конічної форми отримаємо таку залежність:

$$R = \frac{\rho l}{\pi(r_1 - r_2)} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \quad (3)$$

При визначенні наявності електричного струму контролюється спад напруги між двома електропровідними вставками. Виявлення електричного струму залежить від чутливості пристрою, що вимірює спад напруги.

Водопровідна вода є найбільш розповсюдженою вогнегасною речовиною. Отримати тяжке ураження електричним струмом безпосередньо під час подачі води на об'єкт, що знаходяться під напругою до 1000В майже неможливо, оскільки вона має досить високий питомий опір – 50-100 Ом·м (рис. 3).

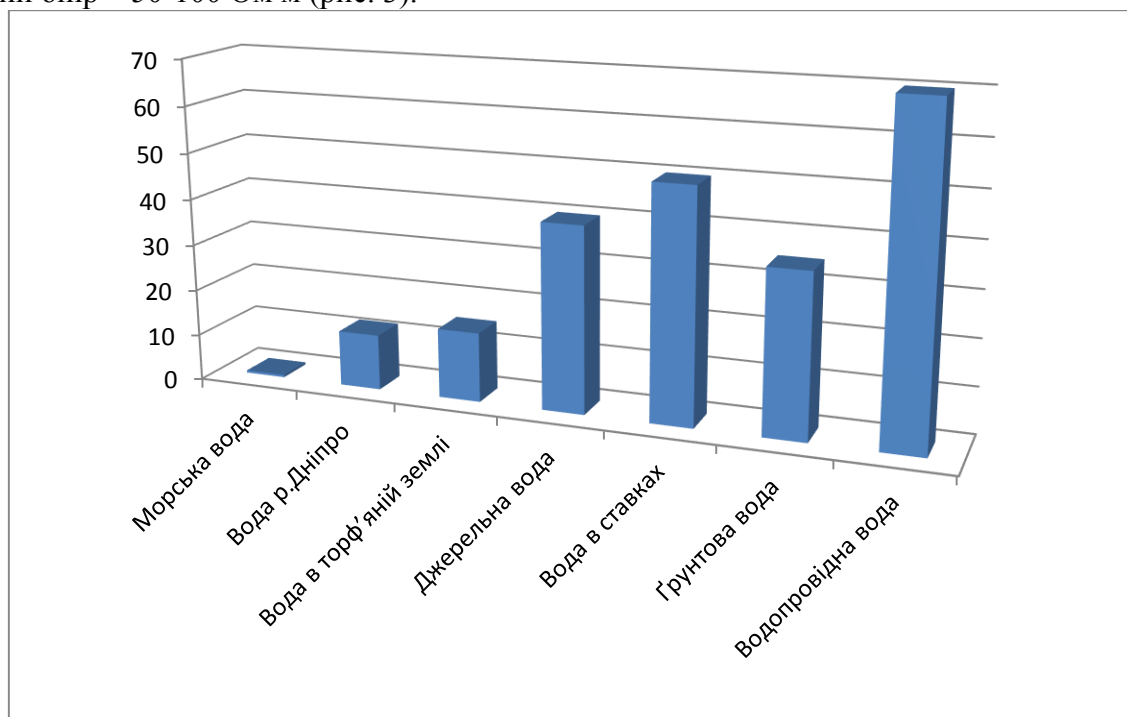


Рисунок 3 - Питомий опір води різного походження (Ом·м).

Ствол РСП-50 з полімерним насадком з радіусом вхідного отвору $r_1=25$ мм, вихідного - $r_2=13$ мм та довжиною насадка $l=150$ мм (дод.1). Розрахований опір водопровідної води за (3) складе 11,1 кОм.

Світлозвуковий сигналізатор виконаний на базі мікросхеми LM3915 дозволяє визначати змінний і постійний струм. [6]

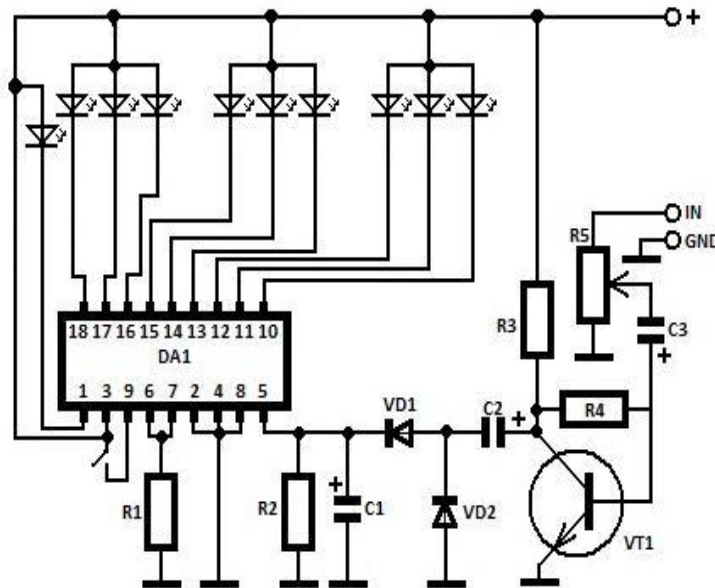


Рисунок 4 - Схема світлового сигналізатора напруги.

За законом Ома, при порозі спрацювання 50 мВ, сила струму в колі складе 4 мкА. Людина відчуває легке посіпування лише при 1600 мкА змінного струму і близько 6000 мкА постійного. Увімкнення звукового сигналу здійснюється при перевищенні граничного значення сили струму, що налаштовується в діапазоні 4 – 180 мкА, шляхом заміни одного з світлодіодів на оптотранзистор. Світловий сигнал відтворюється світлодіодним індикатором з десяти світлодіодів за логарифмічною шкалою в діапазоні 4 – 180 мкА. Зміна діапазону здійснюється потенціометром до максимального значення 2700 мкА. Для відтворення світлового сигналу також можливе використання мікросхеми LM3914 з тим же діапазоном роботи, але з лінійною шкалою. Зазначена вище технічна характеристика пожежного ствола із світлозвуковим сигналізатором напруги наведена для усереднених значень фізичних параметрів водопровідної води.

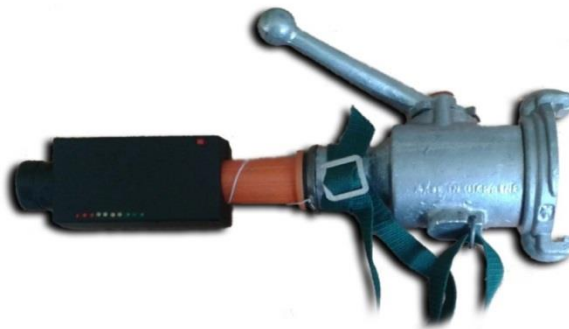


Рисунок 5 - Ствол РСП-50 із світлозвуковим сигналізатором напруги.

Пожежні стволи обладнані світлозвуковими сигналізаторами напруги дозволять попереджати рятувальника про небезпеку враження електричним струмом світловим, звуковим або світлозвуковим сигналом, забезпечують ефективне інформування про наявність електричного струму на об'єктах пожежогасіння, а подача сигналу різної потужності забезпечить інформування про ступінь небезпеки. Крім того, можливе подальше удосконалення запропонованої роботи шляхом обґрунтування можливості та тактики використання сигналізатора при гасінні електрообладнання під напругою з метою вибору безпечної відстані та перевірки надійності електрозахисних заходів. Також можливе обладнання сигналізатором напруги пожежного рукава. Зокрема, опір водопровідної води в звичайному 20-ти метровому пожежному рукаві діаметром 51-мм, при питомому опорі

50 Ом становить майже 120 кОм, що дозволить підвищити точність та чутливість виявлення небезпечної напруги.

Працездатність запропонованого ствола з сигналізатором напруги підтверджено експериментом. Під час якого пожежний ствол з сигналізатором напруги закріпили на підставці та приєднали 10-ти метровим пожежним рукавом до водопровідної мережі. Довжина струменя води сягали 3 метри. За допомогою ЛАТРа змінювали напругу. Спрацювання сигналізатора спостерігалось при напрузі 20 вольт.

Висновки. Запропонований спосіб підвищує точність та чутливість визначення наявності електричного струму під час гасіння пожежі, за рахунок визначення різниці потенціалів на певній ділянці потоку вогнегасної рідини та забезпечує ефективне та своєчасне попередження про наявність електричного струму на об'єкті під час гасіння пожежі для підготовки заходів щодо запобігання ураження електричним струмом особового складу оперативно-рятувальних підрозділів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці надійної конструкції сигналізатора та забезпечення його автономної роботи протягом тривалого часу, теоретичному та експериментальному обґрунтуванні тактичних прийомів роботи з пристроями, які працюють на запропонованому способі, створенні математичних моделей електропровідності кіл, що утворюється за участю потоків та струменів води під час пожежогасіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Запорожець О.І. Безпека життєдіяльності / О.І. Запорожець // Підручник. - К.: ЦУЛ, 2013. - 448 с.
2. Питання якості захисних характеристик одягу, який експлуатується підрозділами ОРСЦЗ МНС України [Електронний ресурс] / В. Присяжнюк, О. Жихарев, С. Кухарішин // Режим доступу: <http://undicz.mns.gov.ua/news/86.html>
3. Наказ МНС України від 07.05.2007 №312 „Про затвердження Правил безпеки праці в органах і підрозділах МНС України”.
4. Сигналізатор небезпечної напруги «СОН» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://belton.com.ua/drugie-pribory/signalizator-opasnogo-napryazheniya/>
5. Ствол РСП-50 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vizant.com.ua/p11058353-stvol-pozharnyj-guchnoj.html>
6. Светодиодный индикатор уровня сигнала на LM3915 [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://raelcom.com/store/index.php?route=product/product&product_id=145.

УДК 614.8

В. В. Ковалишин, д. т. н., проф., О. В. Грушовінчук,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІНИ РІЗНОЇ КРАТНОСТІ, ГЕНЕРОВАНОЇ З 6% РОЗЧИНУ ПІНОУТВОРЮВАЧА «АЛЬПЕН»

Експериментальним шляхом проведено дослідження вогнегасної ефективності та виявлено особливості припинення горіння модельних вогнищ класів А та В у разі застосування піни різної кратності. Виявлено ефект синергізму у разі застосування на гасіння модельного вогнища класу В комбінованої піни, генерованої одночасно генераторами середньої та низької кратності.

Ключові слова: комбінована піна, піногенератор, піноутворювач, модельне вогнище, вогнегасна ефективність.

Вступ. Вогнегасна ефективність піни, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів, залежить від багатьох факторів, зокрема, від природи поверхнево-активної основи піноутворювача, наявності та природи модифікуючих добавок, а також кратності і стійкості піни. Як відомо, піноутворювачі загального призначення можуть використовуватись для отримання піни низької, середньої та високої кратності. Під час гасіння пожеж найчастіше використовують піну середньої кратності, рідше - піну низької кратності. Піну високої кратності застосовують для гасіння пожеж об'ємним способом.

Постановка задачі. Вогнегасна ефективність піни низької кратності у 2-5 разів нижча за вогнегасну ефективність піни середньої кратності. Однак піна низької кратності може подаватися на більші відстані і має більш високу здатність до розтікання, ніж піна середньої кратності, у багатьох випадках доцільніше використовувати саме піну низької кратності. Нижча ефективність піни низької кратності зумовлює необхідність збільшення інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною низької кратності порівняно з випадком гасіння піною середньої кратності [2].

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень було розкриття особливостей припинення горіння модельних вогнищ пожеж класів А та В у разі застосування піни різної кратності.

Об'єкт дослідження. Об'єктом досліджень були процеси припинення горіння модельних вогнищ пожеж класів А та В у разі застосування піни різної кратності.

Предмет дослідження. Предметом дослідження був вплив кратності повітряно-механічної піни на ефективність процесів припинення горіння модельних вогнищ пожеж класів А та В.

Методика проведення випробувань. В дослідах застосовувалися піногенератори, що забезпечують однакову витрату розчину піноутворювача, чим забезпечувалась однакове значення інтенсивності подавання водного розчину піноутворювача, що забезпечує співставлення отриманих результатів. При комбінації двох піногенераторів середньої кратності, вони з'єднувалися між собою в горизонтальній площині. Аналогічно при використанні двох піногенераторів низької кратності. При комбінації піногенераторів середньої та низької кратності, піна середньої кратності подавалась поверх піни низької кратності (в вертикальній площині піногенератор низької кратності знаходився під піногенератором середньої кратності).

Піногенератор середньої кратності з витратою розчину піноутворювача $(0,064 \pm 0,002)$ л/с за тиску $(0,60 \pm 0,02)$ МПа. Піногенератор низької кратності виготовлений по аналогії піногенераторів для водопіних вогнегасників ВВП-9(з) Дніпропетровського СП (Пожтехніка). Вихідний отвір був виготовлений діаметром 1,8мм, що забезпечило витрату

піноутворювача ($0,064 \pm 0,002$) л/с за тиску ($0,6 \pm 0,02$) МПа. Модельне вогнище пожежі 55В стандартизоване за ДСТУ 3789-98, модельне вогнище пожежі 1А стандартизоване згідно ДСТУ 3675-98. Площа горіння $1,73 \text{ м}^2$. Застосовувався 6% розчин піноутворювача на питній воді. Зразок піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж "Альпен" виробництва ТОВ "Альхім" (Україна), ідентифіковано на відповідність вимогам ТУ У 24.6-32740136-001:2006 і ДСТУ 3789-98.

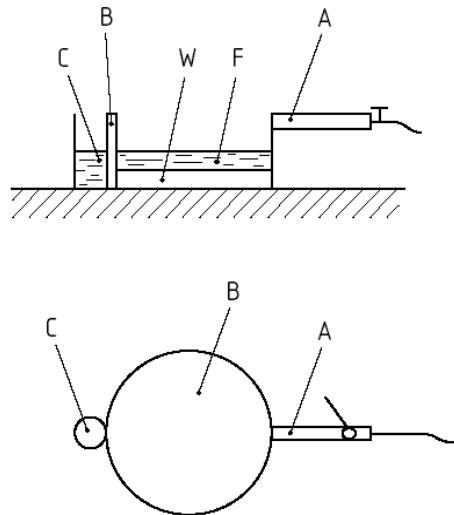


Рисунок 1 – Схематичне зображення дослідження для визначення вогнегасної ефективності гасіння модельного вогнища пожежі 55В та визначення тривалості до повторного займання: А – генератор піни; В – дека модельного вогнища пожежі; С – тигель для повторного запалювання, підвішений ззовні дека; F – пальне; W – вода.

Вогнегасна ефективність піни для модельного вогнища пожежі 55В полягає у визначенні тривалості гасіння піною середньої кратності за витрати ($0,064 \pm 0,002$) л/с і маси робочого розчину піноутворювача, що витрачається на гасіння одиниці поверхні модельного вогнища пожежі 55В за умови позитивних результатів його гасіння.

Маса піни на одиницю поверхні горіння Q_B , кг/м^2 за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності розраховують за формулою:

$$Q_B = \frac{m_1 - m_2}{S},$$

де m_1 - маса корпусу випробувального пристрою типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача до гасіння, кг;

m_2 - маса корпусу випробувального пристрою типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача після гасіння, кг;

S - площа вільної поверхні модельного вогнища пожежі 55В, яка дорівнює $1,73 \text{ м}^2$.

Схематичне зображення дослідження для визначення вогнегасної ефективності гасіння модельного вогнища пожежі 55В наведено на рис. 1.

У разі досліджень з виявлення особливостей припинення горіння за класом пожежі А у якості горючого матеріалу використовували бруски із звичайної сосни. Модельним вогнищем пожежі класу 1А є дерев'яний штабель з 72 брусків перерізом (40×40) мм та довжиною 500 мм, укладених у шести рядках. Штабель розміщували на двох сталевих кутниках згідно з ГОСТ 8510, які було встановлено на бетонних блоках таким чином, щоб відстань від основи штабеля до підлоги становила $250 \text{ мм} \pm 10 \text{ мм}$. Методи контролю вологості деревини - згідно з ГОСТ 16588. Металева дека з горючою рідиною для запалення

модельного вогнища розташовувалась під штабелем. Схематичне зображення модельного вогнища пожежі класу А наведено на рис. 2.

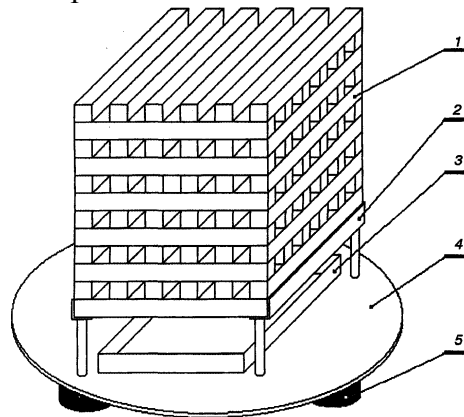


Рисунок 2 – Схематичне зображення модельного вогнища 1А.

Підпалювання бензину в деці модельного вогнища здійснювалось за допомогою факела. Тривалість горіння бензину становила $120 \text{ с} \pm 5 \text{ с}$, після чого деко забиралось з під штабеля. Вільне горіння штабеля продовжувалось до втрати 45% маси від початкової. Після цього здійснювалось гасіння модельного вогнища пожежі. Загальна тривалість гасіння не більше 180 с. Повторне заповнення дека модельного вогнища проводилось після його охолодження до температури, нижчої за температуру спалахування горючої рідини.

Випробування вважалось позитивним, якщо пристроєм проведено гасіння модельного вогнища, при цьому в ході його візуального огляду протягом перших 600 с зафіксована повна відсутність полум'яного горіння. Поява короткочасних спалахів протягом цього періоду не бралася до уваги.

Показник «маси піни на одиницю поверхні горіння» Q_A , $\text{кг}/\text{м}^2$ розраховувався за формулою:

$$Q_A = \frac{m_1 - m_2}{S},$$

де m_1 - маса корпусу випробувального пристрою типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача до гасіння, кг ;

m_2 - маса корпусу випробувального пристрою типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача після гасіння, кг ;

S - площа вільної поверхні модельного вогнища пожежі 1А, яка дорівнює $4,7 \text{ м}^2$.

За умов отримання перших двох позитивних результатів випробувань у ході проведення серії з трьох однакових випробувань третій дослід не проводився.

Результати випробувань. Для модельного вогнища пожежі 55В при вільному горінні пального 60 с результати випробувань наведені в таблицях 1-3.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни середньої кратності з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 55В 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,075 \pm 0,001$ кг/с·м²).

№ досліду	Тип генерованої піни	Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг		Результат гасіння, тривалість подавання піни, с		Маса піни на одиницю поверхні горіння, кг/м ²		Тривалість до повторного займання, с	Усереднене значення тривалості до повторного
		до гасіння	після гасіння	Роздільна з кожного ствола	Сумарна	фактичні значення	усереднене значення	фактичні значення	усереднене значення		
1	СК	15,76	12,23	3,43	6,92	Погашено, 53,6	Погашено, 55,0	4,0	4,1±0,1	28	29±1
	СК	15,84	12,35	3,49							
2	СК	15,82	12,13	3,69	7,27	Погашено, 55,9	Погашено, 55,0	4,2	4,1±0,1	30	29±1
	СК	15,80	12,22	3,58							
3	СК	15,73	12,32	3,41	7,09	Погашено, 55,6	Погашено, 55,0	4,1	4,1±0,1	29	29±1
	СК	15,81	12,13	3,68							

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни низької кратності з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 55В 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,075 \pm 0,001$ кг/с·м²).

№ досліду	Тип генероване піни	Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг			Результат гасіння, тривалість подавання піни, с		Питома маса поданої піни на одиницю поверхні горіння, кг/м ²	
		до гасіння	після гасіння	Роздільна	Сумарна	Усереднене значення	фактичні значення	усереднене значення	фактичні значення	усереднене значення
1	НК	15,81	7,09	8,72	17,71	17,73±0,02	Не погашено 147,6	Не погашено 147,7	10,24	10,25±0,01
		15,86	6,87	8,99						
2	НК	15,87	7,09	8,78	17,75	17,73±0,02	не погашено 147,8	Не погашено 147,7	10,26	10,25±0,01
		15,84	6,87	8,97						

У зв'язку із отриманням негативного результату у перших двох дослідях згідно з методикою третій дослід не проводився.

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни низької (НК) та середньої кратності (СК) з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 55В 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,075 \pm 0,001$ кг/с·м²)

№ досліду	Тип генероване піни	Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг		Результат гасіння, тривалість подавання піни, с		Питома маса поданої піни на одиницю поверхні горіння, кг/м ²		Тривалість до повторного займання, с	Усереднене значення тривалості до повторного займання, с
		до гасіння	після гасіння	Роздільна	Сумарна	фактичні значення	усереднене значення	фактичні значення	усереднене значення		
1	СК	15,78	13,06	2,72	5,71	44,6	45,8±1,2	3,3	3,4±0,1	64	
	НК	15,97	12,98	2,99							
2	СК	15,85	12,89	2,86	6,06	47,0	45,8±1,2	3,5	3,4±0,1	53	58,5±5,5
	НК	15,89	12,69	3,20							
3	СК	15,78	13,06	2,74	5,88	45,1	45,8±1,2	3,4	3,4±0,1	58	
	НК	15,97	12,98	3,14							

Як видно з результатів, наведених у таблицях, комбіноване застосування піни низької та середньої кратностей призводить до підвищення ефективності гасіння. Це пояснюється тим, що піна низької кратності покриває поверхню горіння, сприяє швидшому охолодженню стінок деко та поверхні горіння. Відповідно зменшується процес руйнування піни середньої кратності під дією високої температури та конвективних потоків, чим забезпечується недопущення кисню в зону горіння.

За запропонованою методикою проведено експериментальні дослідження з виявлення порівняльної ефективності застосування піни низької, середньої та комбінованої кратності у разі гасіння модельного вогнища 1А. Результати випробувань наведено у таблицях 4-6.

Таблиця 4 – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни середньої кратності з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 1А 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,014 \pm 0,001$ кг/с·м²)

№ досліду		Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг			Усереднений результат гасіння, с
		до гасіння	після гасіння	Роздільна	Сумарна	Усереднене значення	
1	СК	15,87	7,01	8,86	17,75	17,75±0,01	не погашено, 137,9±0,3
	СК	15,89	7,00	8,89			
2	СК	15,88	7,03	8,85	17,76	17,75±0,01	не погашено, 137,9±0,3
	СК	15,90	6,99	8,91			

У зв'язку із отриманням негативного результату у перших двох дослідах згідно з методикою третій дослід не проводився.

Таблиця 5. – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни низької кратності з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 1А 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,014 \pm 0,001$ кг/с·м²).

№ досліду	Тип генерованої піни	Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг			Усереднений результат гасіння, с	Усереднена маса поданої піни на одиницю поверхні горіння, кг/м ²
		до гасіння	після гасіння	Роздільна	Сумарна	Усереднене значення		
1	НК	15,83	14,12	1,71	3,52	3,53±0,01	погашено, 28,8±0,2	0,75
	НК	15,89	14,08	1,81				
2	НК	15,81	14,05	1,76	3,54			
	НК	15,80	14,02	1,78				
3	НК	15,88	14,12	1,76	3,53			
	НК	15,87	14,10	1,77				

Таблиця 6 – Результати експериментальних досліджень з визначення ефективності одночасного застосування двох експериментальних зразків генераторів піни середньої та низької кратності з витратою $0,064 \pm 0,002$ л/с кожний у разі гасіння модельного вогнища 1А 6% водним розчином піноутворювача загального призначення “Альпен” (інтенсивність подавання піни $0,014 \pm 0,001$ кг/с·м²).

№ досліду	Тип генерованої піни	Маси випробувальних пристроїв типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача, кг		Витрачені маси піноутворювача, кг			Усереднений результат гасіння, с	Усереднена маса поданої піни на одиницю поверхні горіння, кг/м ²
		до гасіння	після гасіння	Роздільна	Сумарна	Усереднене значення		
1	СК	15,87	13,22	2,65	4,88	4,72±0,16	погашено, 37,2±1,2	1,0
	НК	15,89	13,66	2,23				
2	СК	15,83	13,47	2,29	4,55			
	НК	15,80	13,49	2,26				
3	СК	15,86	13,49	2,37	4,64			
	НК	15,89	13,62	2,27				

З аналізу результатів наведених в табл. 4-6 видно, що при гасінні об'ємного модельного вогнища пожежі класу А, піна середньої кратності, для даних умов випробування, не ефективна. Основний внесок в позитивний результат гасіння вносить піна низької кратності, у той час, як піна середньої кратності має незначну кінетичну енергію, а тому не потрапляє в середину конструкції модельного вогнища, а з зовнішніх вертикальних площин та нижньої горизонтальної площини вона стікає, не забезпечуючи перекриття доступу кисню та охолодження поверхні, що горить.

Піна низької кратності містить більший відсоток води, порівняно з піною середньої кратності, їй притаманна більша охолоджувальна здатність. Струмінь піни низької кратності має значно більшу густину за струмінь піни середньої кратності, а значить струмінь має значно більшу кінетичну енергію для переборення конвективних потоків та проникнення всередину моделі, чим забезпечується змочування, а отже охолодження поверхні горіння. Піноутворювач збільшує змочувальну здатність води, що призводить до більш ефективного використання водопінної вогнегасної речовини, порівняно з чистою водою, збільшення охолоджуючого ефекту піни низької кратності та сприяє позитивному гасінню. При гасінні спостерігалось, як струмінь низької кратності транспортував в середину модельного вогнища піну середньої кратності, що сприяло заповненню простору модельного вогнища піною середньої кратності, а отже обмежує доступ кисню в зони горіння.

Висновки. За однакового значення ($0,075 \pm 0,001$ кг/с·м²) інтенсивності подавання 6% розчину піноутворювача загального призначення "Альпен" на гасіння модельного вогнища 55В виявлено, що:

- у разі застосування генераторів піни низької кратності в умовах випробувань позитивних результатів гасіння не досягнуто;
- застосування двох генераторів піни середньої кратності та комбінованої піни, генерованої одночасно генераторами середньої, а також низької кратності, призвело до позитивних результатів гасіння, при цьому усереднені значення мас поданої піни на одиницю поверхні модельного вогнища мали значення $4,1 \pm 0,1$ кг/м² та $3,4 \pm 0,1$ кг/м², що обумовлено ефектом синергізму.

За однакового значення ($0,014 \pm 0,001$ кг/с·м²) інтенсивності подавання 6% розчину піноутворювача загального призначення "Альпен" на гасіння модельного вогнища 1А виявлено, що:

- у разі застосування генераторів піни середньої кратності в умовах випробувань позитивних результатів гасіння не досягнуто;
- застосування двох генераторів піни низької кратності та комбінованої піни, генерованої одночасно генераторами середньої, а також низької кратності, призвело до позитивних результатів гасіння, при цьому усереднені значення мас поданої піни на одиницю поверхні модельного вогнища мали значення 1,0 та 0,75 кг/м² відповідно, при цьому ефекту синергізму не виявлено.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ковалишин В.В., Васільєва О.Е., Козяр Н.М. Пінне гасіння // Навч. посібник.– Львів: ЛДУ БЖД, 2007.– 168 с.
2. Ковалишин В.В., Грушовінчук О.В., Луц В.І. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2009. – № 16. – С. 54–58.
3. Ковалишин В.В., Улинець Е.М., Грушовінчук О.В., Кавецький В.В. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від геометричних параметрів піногенератора // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2011. – № 2 (24). – С. 74-79.
4. Луц В.І. Підвищення ефективності гасіння пожеж легкозаймистих та горючих речовин комбінованими пінними струменями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 2007. – 20 с.
5. Ковалишин В.В., Грушовінчук О.В. Дослідження з підвищення дальності подачі піни різної кратності // Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Міжнародна науково-практична конференція. – Львів: ЛДУ БЖД, 2008. – С. 292–294.
6. ДСТУ 3789-98. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
7. ДСТУ 3675-98. Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.

УДК 622 82: 614. 842

В. В. Ковалишин, д. т. н., проф., В. М. Ковальчик, С. І. Гончаренко,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ІНЕРТНИМИ ГАЗАМИ З НАСТУПНОЮ ЇХ РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ В КАБЕЛЬНИХ ТУНЕЛЯХ

Розроблено методику розрахунків параметрів гасіння пожеж на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та полігонних умовах динаміки інертних газів при їх поглинанні стінками каналу, динаміки температури та ефективності впливу на осередок горіння азотом та вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів.

Розроблено комп'ютерний метод обґрунтування параметрів ефективного гасіння пожеж азотом або вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів, що дозволяє в наглядному графічному вигляді спостерігати динаміку температури, як без подачі, так і при подачі інертного газу.

Визначено область застосування та тактико-технічні можливості впливу на осередок горіння азотом або вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів. Це ізолювані та напівізолювані протяжні об'єкти: кабельні тунелі, коридори та відсіки будівель різноманітного призначення, підземні горизонтальні або з нахилом до 10 градусів гірничі виробки та інші аналогічні об'єкти при виникненні та гасінні пожеж.

Встановлено, що подача інертних газів повинна проводитися на відстань не більше 40 м від зони горіння. Область застосування інертних газів значно розширюється при організації подальшої рециркуляції пожежних газів, що дозволяє економно подавати інертний газ.

Ключові слова: гасіння пожеж, інертні гази, рециркуляція, кабельні тунелі.

Постановка завдання. Найчастіше пожежі виникають на об'єктах електроенергетики в кабельних тунелях. Та, незважаючи на використання в теперішній час нових типів кабелів з важкогорючою оболонкою, кількість пожеж не знижується. При пожежах в кабельних тунелях, характерним є дуже швидкий їх розвиток. За 10-12 хвилин температура в зоні горіння може досягати 700-800 °С. Особливістю профілактики і гасіння пожеж на таких об'єктах є важкодоступність обслуговуючого персоналу для огляду стану кабельної системи.

Відомі установки газоводяного пожежогасіння типу, наприклад, АГВГ добре себе зарекомендували при гасінні газових фонтанів, але вони не придатні для створення інертного середовища в ізолюваних підземних об'єктах, віддалених від установки більше ніж на 15-25 м.

У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці нових вискоефективних способів та засобів пожежогасіння. Дослідження процесів інертизації пожежних об'єктів різноманітної протяжності азотом або діоксидом вуглецю, встановлення закономірності горіння твердого палива в умовах низьких концентрацій кисню є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприяє безпечному та ефективному гасінню пожеж та проведенню аварійно-рятувальних робіт на об'єктах з підвищеною небезпекою.

Основна частина. Дійсна методика розроблена на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та полігонних умовах динаміки інертних газів при їх поглинанні стінками каналу та ефективності впливу на осередок горіння азотом та вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів. При теоретичних дослідженнях використано систему диференціальних рівнянь переносу вздовж каналу та тепломасообміну з його стінками [1–3] з урахуванням стисненості та розширення пожежних газів при піролізі та горінні твердого палива. Задача розв'язана чисельним методом та описує динаміку концентрації інертного газу та температуру перед зоною та в зоні горіння [4,5].

Область застосування – ізолювані та напівізолювані протяжні об'єкти: кабельні тунелі, коридори та відсіки будівель різноманітного призначення, підземні горизонтальні або

похилі під кутом до 10 градусів гірничі виробки та інші аналогічні об'єкти при виникненні та гасінні пожеж.

Аварійний об'єкт для ефективного гасіння пожежі повинен мати площу поперечного перерізу каналу не більше 10-15 м². Протяжність об'єкту може бути різною та ефективність гасіння пожеж визначається відстанню зі сторони свіжого струменя повітря до осередку горіння.

В кабельних тунелях, які розділені на відсіки перемичками, останні автоматично або вручну зачиняються при виникненні пожежі. Кінець всмоктуючого трубопроводу розміщується в верхній частині каналу за перемичкою там, де температура пожежних газів, що направляються назустріч свіжому струменю повітря, знаходиться в межах 50 – 150 °С. Виконання цих заходів сприяє організації надійної рециркуляції пожежних газів у випадку її застосування перед подачею та після подачі інертного газу. Пожежні газі, що рециркулюють подаються за допомогою всмоктуючого вентилятора в отвір перемички.

Вплив на осередок пожежі в цьому випадку заключається в тому, що з однієї сторони пожежні газі, що відбираються з ізолюваної ділянки повертаються по трубопроводах в осередок горіння. Ефективність застосування інертного газу з наступною їх рециркуляцією в основному визначаються двома параметрами: відстанню до осередку пожежі та відстанню, починаючи з якої можливо провести захоплення продуктів горіння та подати їх до осередку пожежі.

Схема організації впливу інертних газів на осередок пожежі в ізолюваному об'ємі показана на рис. 1.

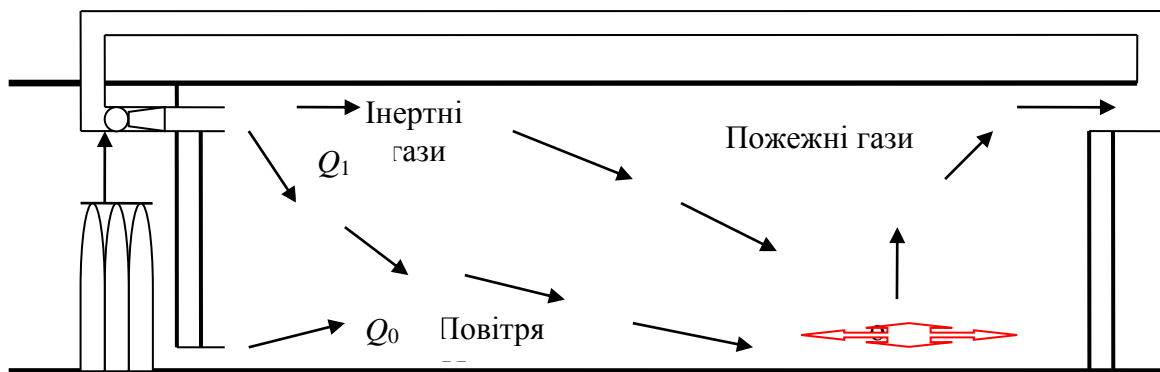


Рисунок 1 – Схема організації впливу інертних газів на осередок пожежі в ізолюваному об'ємі.

На рис. 1 видно, що з балонів або з установки мембранного отримання азоту інертні газі подаються в ізолювані відсіки кабельного тунелю та, змішуючись з повітрям, поступають на осередок горіння, а пожежні газі, подаються по трубопроводах знову в ізолюваний відсік.

Інтенсивність та тривалість подачі інертного газу, а також час рециркуляції пожежних газів в ізолюваному каналі визначаються розрахунковим шляхом та подальшим вивченням результатів гасіння пожежі. Витік повітря через ізолюваний об'єм необхідно зменшувати до 10-20 % від загального розходу суміші газів. Необхідна дальність подачі інертного газу з урахуванням його поглинання стінками каналу, його концентрація та концентрація кисню в осередку пожежі, а також тривалість гасіння пожежі до температури 100-200 °С та інші параметри повинні визначатися розрахунковим шляхом.

До проведення розрахунку потрібно вибрати завчасно інертний газ – азот або діоксид вуглецю, задати його розхід, а розхід іншого інертного газу приймаємо рівним нулю.

Далі, представляємо, що попередньо, хоча б приблизно, відомі витіки повітря та приймається їх розхід через ізолюваний об'єм з його геометричними параметрами (довжиною відсіку кабельного тунелю, відстанню від місця подачі інертного газу до зони горіння та його загальною довжиною).

Метою розрахунку є визначення:

- коефіцієнта поглинання вибраного інертного газу залежно від відстані до осередку пожежі;
- очікуваної концентрації кисню в зоні горіння;
- температури в зоні горіння без застосування інертних газів;
- очікуваної температури в осередку пожежі при заданому часі його гасіння;
- очікуваної максимальної температури при довготривалому гасінні пожежі;
- проміжку часу гасіння пожежі до температури 100200 °С з наступною рециркуляцією пожежних газів.

Вихідні дані для розрахунку:

Q_0 – розхід повітря в суміші газів, м³/хв; Q_1 – розхід азоту (при відсутності подачі приймається рівним «0»), м³/хв; Q_2 – розхід діоксиду вуглецю (при відсутності подачі приймається рівним «0»), м³/хв; L – довжина відсіку кабельного тунелю, м; S – площа поперечного перерізу каналу, м²; v_0 – швидкість горіння, приймається рівною 0,78 кг/(с·м²); q – пожежна навантага для кабелю, еквівалентна деревині і приймається рівною 35 кг/м²; τ_i – час з початку і до завершення впливу на осередок пожежі інертних газів та рециркуляції ($i = 1$ – початок подачі інертного газу, $i = 2$ – завершення подачі інертного газу, 3 – завершення рециркуляції), хв.

Порядок розрахунку

1. Знаходимо концентрацію кисню (%) в місці подачі інертного газу

$$C_0 = \frac{21Q_0}{Q_0 + Q_1 + Q_2}. \quad (1)$$

2. Визначаємо коефіцієнт поглинання інертного газу (азоту або діоксиду вуглецю) по шляху його руху до зони горіння

$$\bar{\gamma}_2 = 1,5 \cdot 10^{-5} L \left(\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} + 2 \frac{Q_2}{Q_2 + Q_1} \right). \quad (2)$$

3. Знаходимо очікувану концентрацію кисню (%) в зоні горіння

$$C_1 = \bar{\gamma}_2 C_0. \quad (3)$$

Якщо очікувана концентрація повітря інертного газу $C_1 > 10$ %, то необхідно або зменшити виток повітря Q_0 , або зменшити відстань x_0 від місця подачі до зони горіння.

4. Визначаємо з урахуванням теплової конвекції швидкість руху (м/с) суміші газів, що потрапляють в осередок горіння за формулою

$$u = 0,05 + \frac{Q_0 + Q_1 + Q_2}{60S}. \quad (4)$$

5. Знаходимо довжину (м) зони горіння за формулою

$$l = 0,5uq/v_0. \quad (5)$$

6. Визначаємо коефіцієнт швидкості розвитку пожежі (1/с)

$$k = 0,006/l. \quad (6)$$

7. Знаходимо крок за часом (хв) при чисельному розрахунку за програмним забезпеченням ПК

$$\Delta\tau = l / 60u . \quad (7)$$

8. Знаходимо номери вузлів, що відповідають часу початку (n_1) та завершення (n_2) гасіння пожежі інертним газом, а також часу завершення (n_3) рециркуляції пожежних газів за формулою

$$n_i = \tau_i / \Delta\tau . \quad (8)$$

9. Визначаємо на кожному новому періоді часу інтенсивність тепловиділення при горінні за формулою

$$\bar{q}^n = \bar{q}_0 kn\Delta\tau \exp(-kn\Delta\tau) . \quad (9)$$

10. Задаємо на вході в першу зону функцію зміни концентрації інертного газу при його подачі

$$\bar{\zeta}_0^{n+1} = 1 + 0,25 \left(1 + \frac{n - n_1}{|n - n_1|} \right) \left(1 + \frac{n_2 - n}{|n_2 - n|} \right) \{ (C_1/C_0 - 1) [1 - \exp(-un\Delta\tau)] \} . \quad (10)$$

11. Задаємо на вході в першу зону функцію зміни концентрації пожежних газів при їх рециркуляції

$$\bar{\zeta}_0^{n+1} = 1 + 0,25 \left(1 + \frac{n - n_2}{|n - n_2|} \right) \left(1 + \frac{n_3 - n}{|n_3 - n|} \right) (\bar{C}^n - 1) . \quad (11)$$

12. Проводимо на кожному новому періоді часу розрахунок параметрів гасіння пожежі - концентрації кисню до зони горіння

$$\bar{\zeta}^{n+1} = \frac{\bar{\zeta}^n + \bar{\zeta}_0^{n+1} l / (L - l) + \bar{\gamma}_2}{1 + l / (L - l) + \bar{\gamma}_2} ; \quad (12)$$

- концентрації кисню в зоні горіння

$$\bar{C}^{n+1} = \frac{\bar{C}^n + \bar{T}^n (\bar{\zeta}^{n+1} + \bar{\gamma}_2)}{1 + \bar{T}^n (1 + \bar{\gamma}_2 + 0,1\bar{q}^n)} ; \quad (13)$$

- температури в зоні горіння

$$\bar{T}^{n+1} = \bar{T}^n \frac{2 + 3\bar{\theta}^n + \bar{q}^n \bar{C}^n}{1 + 3\bar{T}^n} ; \quad (14)$$

- температури в оточуючому тунель середовищі

$$\bar{\theta}^{n+1} = \frac{\bar{\theta}^n + 0,015\bar{T}^n}{1,015} . \quad (15)$$

Для оперативних розрахунків усіх параметрів, а також часу гасіння пожежі розроблено комп'ютерний метод розрахунку.

Розрахунок параметрів гасіння пожежі (концентрації кисню та температури, як в зоні горіння, так і перед нею інертними газами з наступною їх рециркуляцією) виконується в Excel з використанням усіх вихідних даних та отриманих аналітичних залежностей, представлених в розробленій методиці. Покрокове представлення параметрів гасіння пожеж дає можливість наглядно в графічному вигляді прослідкувати, як змінюється з часом обстановка в зоні гасіння пожежі.

Розрахунок газодинамічних параметрів закінчується при досягненні кількості ітерацій $n = 500$, що відповідає часу з моменту виникнення пожежі, рівного 1-2 години та більше. Це залежить від величини розходу газоповітряної суміші, яка потрапляє в осередок пожежі при швидкості її руху не менше 0,1 м/с.

В результаті розробленого алгоритму та програми розрахунку газодинамічних параметрів горіння та гасіння пожежі у відсіках кабельного тунелю надається можливість спрогнозувати в програмному забезпеченні Excell ефективність застосування того або іншого інертного газу та визначити, як тривалість його застосування, так і кількість розхідного матеріалу та вибрати інший більш ефективний режим.

Результати розрахунку надаються у зручному графічному вигляді з представленням кривих змін за часом температури в зоні горіння як без застосування, так із застосуванням вибраного інертного газу з рециркуляцією пожежних газів та без неї. Це дозволяє наглядно аналізувати ефективність застосування того чи іншого інертного газу.

Нижче приведено різноманітні приклади розрахунку для програмного забезпечення гасіння пожежі азотом або діоксином вуглецю у відсіках кабельного тунелю.

Приклад. Визначити час гасіння пожежі азотом у відсіку кабельного тунелю довжиною $L = 40$ м та площею поперечного перерізу $S = 4$ м² при наступних вихідних даних: $Q_0 = 1$ м³/хв; ; $Q_1 = 10$ м³/хв; $Q_2 = 0$. Подача азоту продовжується протягом 10 хв, починаючи з $\tau_1 = 10$ хв, після чого починається рециркуляція пожежних газів також протягом 10 хв.

Як видно (рис. 2), подача азоту протягом 10 хв з розходом 10 м³/хв без рециркуляції призводить до зниження температури до 150 °С через 40 хв з моменту виникнення пожежі. Додаткова рециркуляція пожежних газів протягом 10 хв дозволяє вже на 30 хв добитися зниження температури до 150 °С. При цьому видно, що без рециркуляції після подачі інертного газу спостерігається різке збільшення температури з 250-300 °С майже до 350 °С, що викликає повторне горіння.

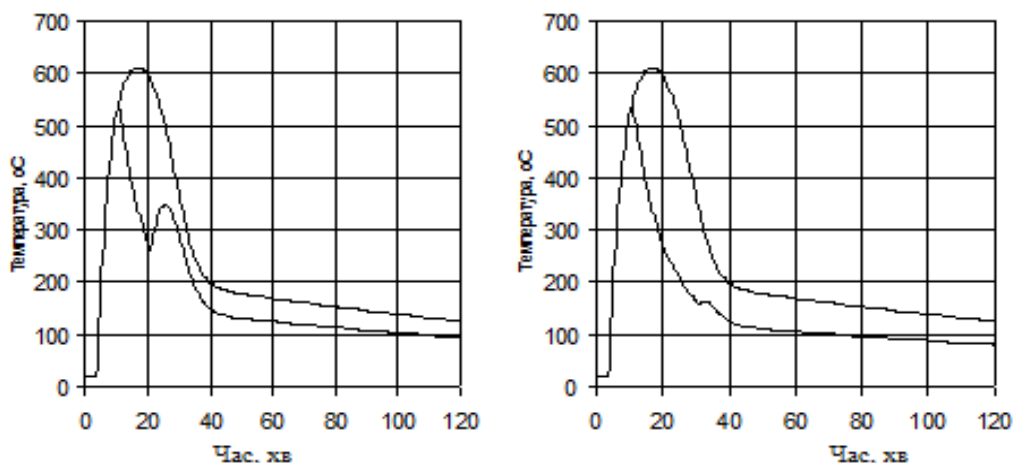


Рисунок 2 – Динаміка температури в ізолюваному відсіку довжиною 40 м при подачі азоту (ліворуч) та при його подачі з наступною рециркуляцією (праворуч, тонка лінія – вільне горіння).

Подальші розрахунки показали, якщо застосовується діоксид вуглецю з таким самим розходом $10 \text{ м}^3/\text{хв}$, то в цьому випадку отримуємо приблизно такі ж результати. Однозначно, що в цьому випадку зниження температури до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ досягається пізніше (всього на 2 хв).

Зовсім інша картина (рис. 3) спостерігається, якщо довжина відсіку збільшується та складає $L = 150 \text{ м}$.

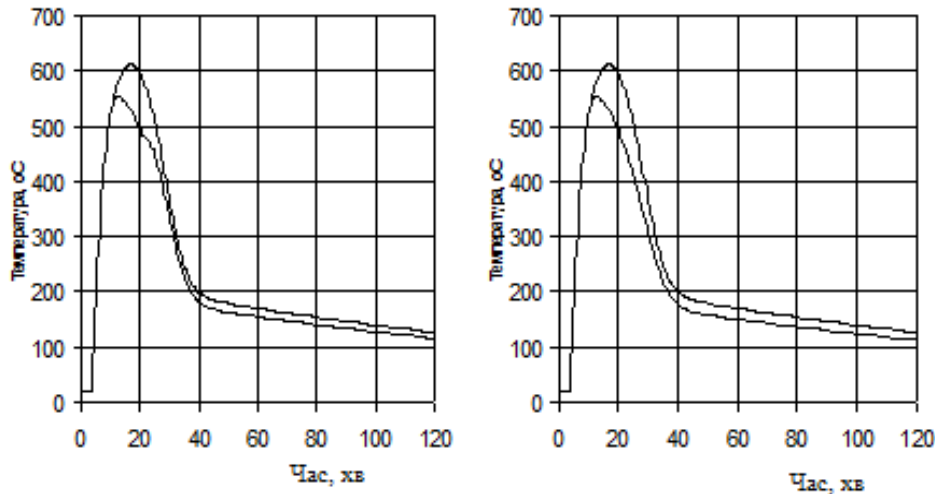


Рисунок 3 – Динаміка температури в ізолюваному відсіку довжиною 150 м при подачі азоту (ліворуч) та при його подачі з наступною рециркуляцією (праворуч, тонка лінія – вільне горіння).

З результатів розрахунку видно, якщо подача азоту на великі відстані призводить до деякого пришвидшення зниження температури (рис. 3), то подача діоксиду вуглецю на таку саму відстань майже не відображається на динаміці температури навіть з наступною рециркуляцією пожежних газів.

Висновок. Таким чином, розроблений метод та методика комп'ютерного розрахунку гасіння пожежі інертними газами дозволяє наглядно спостерігати динаміку температури в зоні горіння без подачі та з подачею конкретного інертного газу, дозволяє робити оцінку ефективності гасіння пожежі та вибирати, як відстані для подачі інертного газу, так і його розхід, визначати загальну кількість та час інертизації атмосфери ізолюваного відсіку тунелю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тушение пожаров в кабельных шахтах / И. С. Молчадский, А. В. Гомозов, С. Н. Артюнов, Т.Н. Степанова // Автоматические установки пожаротушения. – М., 1985. – С. 41-46.
2. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
3. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
4. Ковалишин В. В. Аналитические исследования тепломассообменных процессов в закрытых объектах большой длины при возникновении пожаров / В. В. Ковалишин, Т. В. Бойко, С. Ю. Дмитриевский // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2006. – С. 157-159.
5. Ковалишин В. В. Математичне моделювання розвитку і гасіння пожеж різними засобами на об'єктах значної протяжності / В. В. Ковалишин. – Київ: Науковий вісник НДПБ, 2013, №1 (27). – С. 153-160.

УДК 614.8

М. О. Консуров, С. А. Виноградов, к. т. н., доц.,
Національний університет цивільного захисту України

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ІМПУЛЬСНОГО ВОДНОГО СТРУМЕНЯ ВИСОКОЇ ШВИДКОСТІ В ПОВІТРІ ТА ЙОГО ВЗАЄМОДІЇ З БУДІВЕЛЬНОЮ КОНСТРУКЦІЄЮ

У роботі представлено результати теоретичних досліджень з моделювання руху імпульсного водного струменя високої швидкості в повітрі та результати теоретичних досліджень з моделювання його взаємодії з будівельною конструкцією з метою обґрунтування можливості застосування таких струменів для гасіння пожеж з обмеженим повітрообміном.

Ключові слова: пожежогасіння, руйнування, імпульсний водний струмінь, моделювання, будівельна конструкція.

Постановка проблеми. Пожежі у закритих об'ємах вимагають введення сил та засобів таким чином, що виключає потрапляння нової порції повітря до приміщення. Для цього, як правило, застосовується спеціальні стволи-пробійники. Крім цього, з цією метою можуть бути використані високонапірні струмені, які пробивають огороження та подають в середину приміщення розпилену вогнегасну речовину.

Найбільшу питому енергією серед інших мають імпульсні водні струмені високої швидкості. Їх особливістю є те, що вони набувають максимальної швидкості на деякій відстані від пристрою [1]. Знаходження цієї відстані є принциповим завданням для раціонального використання енергії таких струменів.

Відповідно до цього, актуальним також стає питання взаємодії струменя з конструкцією, отвір в якій потрібно зробити для подавання води на гасіння пожежі без додаткового повітрообміну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує два основних підходи до моделювання руху струменів в повітрі. У першому випадку одночасно розглядається рух усіх частин струменя. Другий підхід базується на вивченні руху окремої (довільної) краплі струменя. При цьому, як правило, не враховують вплив інших частинок на процес руху.

В [2] доведено, що математичні моделі, що базуються на другому підході, дають дуже хороше збігу результатів розрахунку з експериментом. Так, в [3] запропонована математична модель руху одиночної краплі рідини. У кінцевому рахунку, рішення зводиться у вигляді ряду

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{g}{V_{k0}^2 \cos^2 \varphi_0} \sum_{n=2}^{\infty} \frac{K^{n-2} x^n}{n}, \quad (1)$$

де x і y - координати краплі на відповідній осі; φ_0 - кут нахилу вісі струменя до обр'ї; V_0^2 - початкова швидкість витікання краплі, $K = \frac{3}{4} \frac{\rho_g c}{\rho_k d_k}$ - коефіцієнт опору; ρ_g і ρ_k - щільність повітря і краплі, відповідно; c - коефіцієнт аеродинамічного опору; d_k - діаметр краплі.

Гарне узгодження з експериментом показала модель, що враховує випаровування краплі в процесі польоту [2]

$$\ddot{x} + \frac{k\dot{x}}{\Theta} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = 0, \quad \ddot{y} + \frac{k\dot{y}}{\Theta} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = g, \quad (2)$$

де $x = x(t)$, $y = y(t)$ – координати краплі на траєкторії руху; k – зведений коефіцієнт аеродинамічного опору руху; Θ – закон випаровування краплі, g – прискорення вільного падіння, точка над символом – похідна за часом.

Існує два основних закони випаровування краплі в потоці газу: лінійний закон та закон Срезневського [2].

За лінійним законом випаровування зменшення радіуса краплі за рахунок випаровування пропорційне часу її польоту, а аеродинамічна сила, що діє на краплю, пропорційна швидкості обтікання краплі газом. Тобто виконується залежність [4]

$$r(t) = r_0 - \gamma t, \quad (3)$$

де $r(t)$ та r_0 – відповідно поточний і початковий радіуси краплі, яку вважають умовно сферичним тілом; γ – параметр, що характеризує швидкість випаровування; t – час польоту.

Використання закону Срезневського дозволяє отримати більшу точність розрахунку зміни розміру краплі [5, 6]:

$$r(t) = r_0 \sqrt{1 - \varepsilon t}, \quad (4)$$

де $r(t)$ та r_0 – відповідно поточний і початковий радіуси краплі, яку вважають умовно сферичним тілом; ε – коефіцієнт, що характеризує швидкість випаровування [7]; t – час польоту.

Але щодо струменів рідини надвисокої швидкості наведені залежності не можуть бути застосовані через інтенсивне руйнування струменя внаслідок взаємодії з повітрям [8].

Питання взаємодії водних струменів з конструкцією частково розкриті в роботах [1, 9-10].

Постановка задачі та її розв'язання. Характер витіканні струменя високої швидкості наступний. На початковій стадії швидкість витікання струменя зростає. Спочатку витікають більш повільні частинки, а потім більш швидкі, які наздоганяють повільні, що витекли раніше, стикаються з ними і прискорюють їх. Тому швидкість голови струменя у міру її поширення буде збільшуватися на початковій стадії закінчення. Збільшення швидкості голови струменя припиниться, коли найшвидші частки, що витекла з сопла, досягнуть голови струменя. Надалі, якщо б не було опору повітря, швидкість голови струменя залишалася б незмінною, рівній максимальній. Взаємодія струменя з повітрям призводить до зменшення швидкості голови струменя і розпилювання струменя.

Надзвуковий характер руху струменя обумовлює той факт, що перед нею в повітрі виникає ударна хвиля, що відійшла, в результаті чого тиск перед струменем різко зростає. На рис. 1 наведена тіньова фотографія голови струменя високої швидкості.

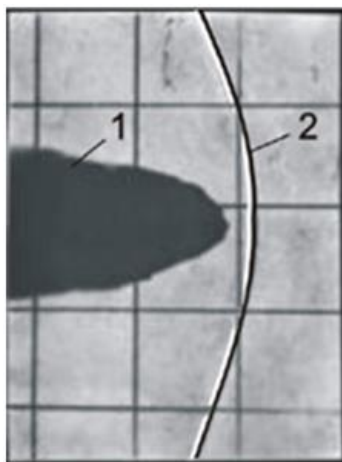


Рисунок 1 – Тіньова фотографія ультраструменя: 1 – голова струменя; 2 – ударна хвиля.

У свою чергу, підвищення тиску перед струменем за рахунок ударної хвилі призводить до розтікання струменя в сторони поблизу її голови. Поток повітря ця частина струменя, що виступає, зноситься в сторону і голова струменя набуває грибоподібної форми (рис. 2) [11]. Така форма струменя характерна і для струменів, що випущені зі ствола гідроприсстрою, частково заповненого водою, і для струменів з заповнених стволів.



Рисунок 2 – Візуалізація форми голови струменя.

Навколо струменя утворюється пелена бризок, у яку постійно виноситься вода з струменя. Прийнято говорити, що струмінь «обдирається» повітрям. А так як по довжині струменя на цій стадії швидкість зменшується від голови до хвоста, то в головну частину приходять більш повільні частинки води і швидкість голови струменя зменшується.

Через нестійкість струменя її головна частина має неправильну форму, як видно на рис. 3 при тіньовому фотографуванні струменя, випущеного з установки, повністю заповненою водою [11]. У голові струменя з'являються нерегулярні викиди в сторони, які сприяють більш швидкому руйнуванню струменя і перетворення його в високошвидкісну пелену бризок. Цей фактор зменшує далькобійність струменя, але сприяє утворенню високошвидкісного хмари крапель великого поперечного перерізу, що набагато перевищує діаметр сопла. Ця особливість струменя дозволило застосувати його для гасіння пожеж, зокрема, пожеж газових фонтанів [12].

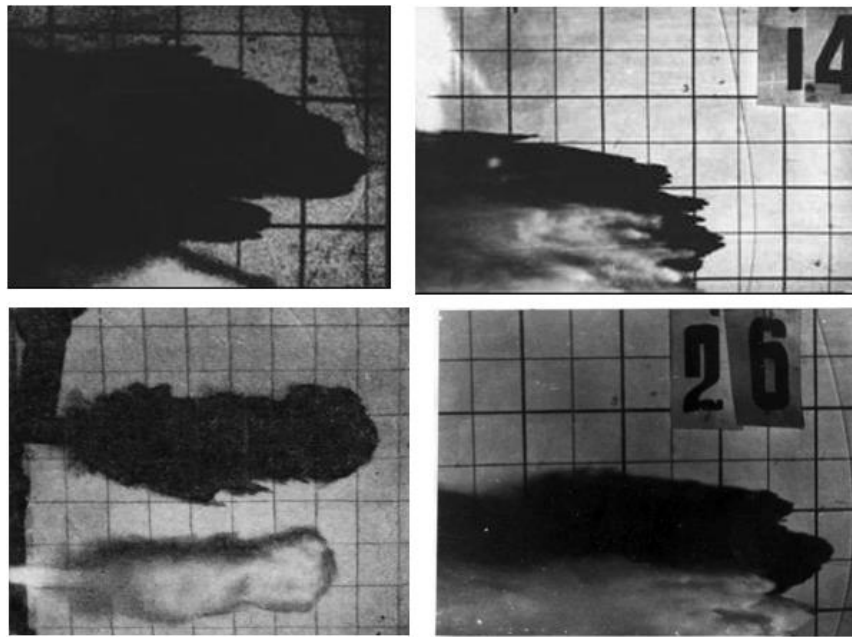


Рисунок 3 – Тіньові фотографії струменя імпульсного водомету.

На рис. 4 показано високошвидкісне фотографування струменя високої швидкості, що випущений з установки, повністю заповненої водою. Швидкість на виході з сопла зростає в початковому періоді, тому наступна порція води наздоганяє попередню і стикається з нею. Зіткнення різних ділянок струменя є причиною її радіального розширення і утворення пелени крапель і радіальних дисків.

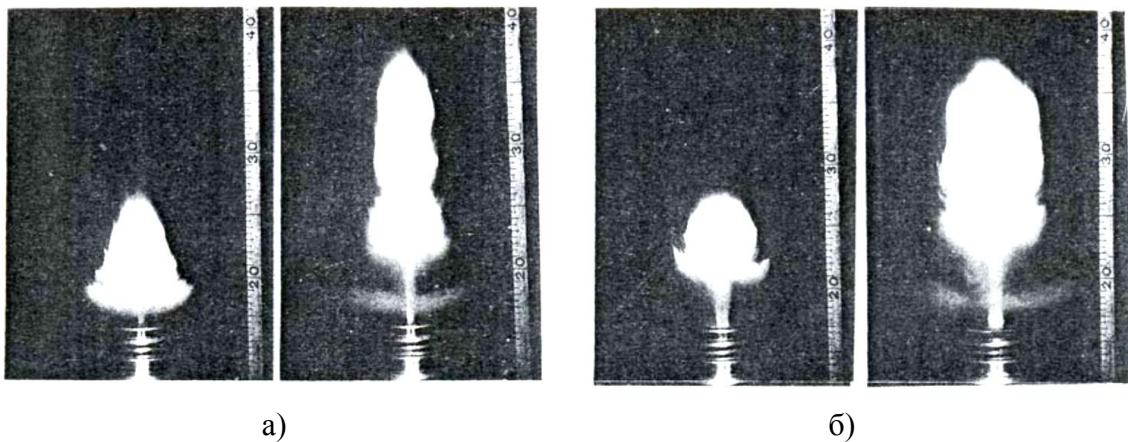


Рисунок 4 – Фотографія струменя високої швидкості: а – $d_s/d_c=1/16$; б - $d_s/d_c=1/4$.

Ураховуючи особливості розповсюдження водного струменя високої швидкості, математичним шляхом описати його складно. Потрібно вводити багато припущень, які будуть впливати на точність розрахунків. Тому рух струменя можна описати емпіричними залежностями, встановленими за результатами експериментальних досліджень.

Так, встановлено [13], що струмінь набуває грибоподібної форми, зображеної на рис. 4, на швидкості, яка залежить від радіуса сопла. Зокрема, при радіусі сопла $r_s=5$ мм, грибоподібна форма спостерігалась при досягненні струменем швидкості $u_s=300$ м/с. Для сопла з радіусом $r_s=5$ мм така форма струменя спостерігалась при швидкості $u_s=500$ м/с. Ураховуючи таку тенденцію, справедливо буде записати

$$u_s^{exp} = (0,5 \div 0,6)d_s. \quad (5)$$

Аналогічним шляхом на основі експериментальних досліджень, проведених Українським Ю.Д. [11] визначимо, що повний распад струменя відбувається на відстані, що дорівнює близько 150 калібрів від зрізу сопла:

$$L(u_s^{руїн}) = 150d_s. \quad (6)$$

Для руйнування будівельних конструкцій водним струменем високої швидкості визначальною є відстань, з якої відбувається руйнування. Ця відстань повинна відповідати найбільшій швидкості руху струменя. Адже імпульс сили струменя при взаємодії з матеріалом, що руйнується, тим більший, чим більша швидкість в точці контакту.

Експериментальним шляхом встановлено [1, 11, 13, 14], що струмінь пристроїв, дія яких базується на принципі імпульсного водомету (ІВ) (повне заповнення ствола водою) відрізняється від струменів пристроїв типу гідрогармати (ГГ) (часткове заповнення ствола водою). Для струменя ІВ характерне більше вирівнювання швидкості по довжині ствола, у порівнянні з струменем ГГ. Проте це впливає на саму швидкість: у ГГ швидкість струменя в 1,5-2 рази вище, ніж у ІВ. Емпірично відстані, при яких спостерігається максимальне значення швидкості при повному та частковому заповненні ствола гідропристрою, відповідно, можна описати залежностями:

$$L(u_{max}^{IB}) = (90 \div 110)d_s; \quad (7)$$

$$L(u_{max}^{ГГ}) = (20 \div 40)d_s. \quad (8)$$

Залежності (7) та (8) є узагальненою для усіх пристроїв з відповідними принципами роботи та можуть бути застосовані для оцінки відстані, з якої необхідно здійснювати руйнування. Для більш точних даних необхідно провести відповідні експериментальні дослідження.

Схематично процес взаємодії водяного струменя з будівельною конструкцією можна представити у спосіб, наведений на рис. 5.

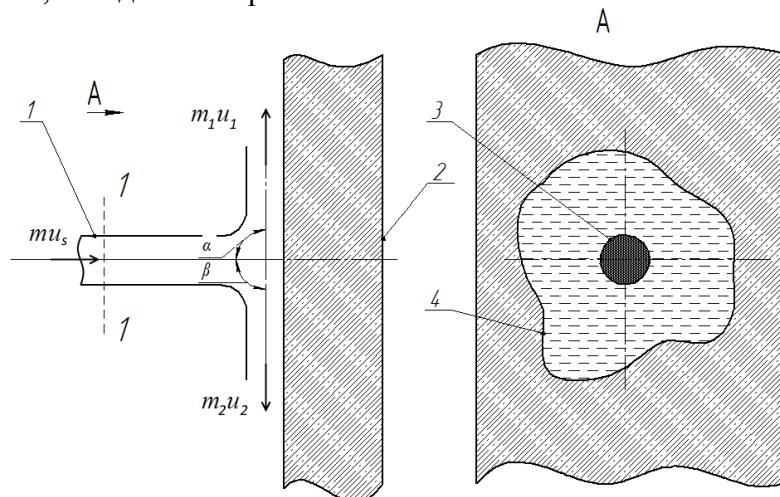


Рисунок 5 – Взаємодія водяного струменя з конструкцією: 1 – водяний струмінь; 2 – будівельна конструкція; 3 – зона впливу; 4 – зона розтікання.

Нехай в перетині 1-1 на рис. 5 струмінь має поперечний переріз $\frac{\pi d_{cmp}^2}{4}$, де d_{cmp} - діаметр струменя в точці контакту, та швидкість потоку u_{cmp} . Під час удару о конструкцію, струмінь руйнується та утворюється зона розтікання. Припустимо, що струмінь був розділений на два потоки (див. рис. 5).

Теорема кількості руху говорить, що [15]

$$d(mu) = Pdt. \quad (9)$$

Враховуючи це,

$$mu_s - (m_1u_1 \cos \alpha + m_2u_2 \cos \beta) = Pdt. \quad (10)$$

У випадку, коли $\alpha=\beta=90^\circ$, рівняння (10) можна записати

$$mu_s = Pdt. \quad (11)$$

Тоді тиск P , що чинить струмінь на конструкцію, можна визначити з рівняння

$$P = \rho Qu_{cmp}, \quad (12)$$

де ρ – щільність рідини, Q – витрата рідини.

Якщо відомий діаметр струменя d_{cmp} в точці контакту, то силу F , з якою струмінь діє на будівельну конструкцію, можна знайти з рівняння

$$F = \pi \rho u_{cmp}^2 \frac{d_{cmp}^2}{4}. \quad (13)$$

У випадку взаємодії струменя рідини високої швидкості з будівельною конструкцією, умовний діаметр зони розтікання більше за діаметр струменя в точці контакту в 3 та більше разів [1]. У такому випадку тиск, що чинить струмінь на конструкцію, може бути визначений за рівнянням Бернуллі [16]

$$P = \frac{\rho u_{cmp}^2}{2}. \quad (14)$$

Виходячи з цього, ефективність руйнування конструкції, в першу чергу, залежить від швидкості руху струменя u_{cmp} в точці контакту. Аналіз експериментальних досліджень різних авторів [1, 10, 13] показують, що ефективність силового тиску на конструкцію, що руйнується, підвищується з підвищенням швидкості струменя в точці контакту u_{cmp} . Відомо [17-18], що руйнування матеріалу, з якого виконана конструкція, відбувається за умови, що тиск струменя в точці контакту P перевищує межу міцності матеріалу на стискання у 10 разів: $P > 10\sigma_{mp}$.

Враховуючи наведене, для визначення швидкості u_{cmp} водного струменя струменя, необхідно використовувати рівність

$$u_{cmp} = \sqrt{\frac{10\sigma_m}{\rho}}. \quad (15)$$

Висновки. У роботі визначено, що математичні залежності, що застосовуються для моделювання руху низько- та середньонапірних пожежних струменів в повітрі, до імпульсних водних струменів високої швидкості не можуть бути застосовані. Такі струмені мають складний характер руху, який аналітично описати складно. Базуючись на експериментальних дослідженнях, показано, що відстань, на якій струмінь набуває максимальної швидкості, в першу чергу залежить

від діаметру сопла гідропристрою та може бути описана емпіричними залежностями. При чому для пристроїв, ствол яких повністю заповнений водою, ця відстань описується рівнянням (7), а для пристроїв з частково заповненим стволом – рівнянням (8).

Показано, що фективність руйнування конструкції, в першу чергу, залежить від швидкості руху струменя в точці контакту. Ця швидкість, в свою чергу, прямо пропорційна міцності матеріалу на стиск та обернено пропорційна щільності води та може бути визначена за допомогою рівняння (15).

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на експериментальну перевірку запропонованих залежностей для струменів різних параметрів та при руйнуванні різних будівельних конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Семко Александр Николаевич. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.
2. Балістика крапель розпилених рідин / [Ольшанський В.П., Ольшанський С.В., Ларін О.М., Фомін Є.М.] – Біла Церква: вид. Пшонківський, 2006. – 124 с.
3. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Абрамов Ю.А., Росоха В.Е., Шаповалова Е.А. – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с.
4. Ольшанский В.П. О динамике испаряющейся капли, как материальной точки переменной массы / Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. // Механика и машиностроение. – 2005. - №1. – С. 6-12.
5. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Грин Х., Лейн В. – Ленинград: Химия, 1969. – 428 с.
6. Тарахно О.В. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі / Тарахно О.В., Шаршанов А.Я. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 252 с.
7. Былинкин В.В. Анализ процесса тушения твердых горючих материалов распыленной водой / Былинкин В.В., Шароварников А.Ф. // Пожаротушение на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1991. – С. 66-73.
8. Виноградов С.А. Модели движения распыленных высокоскоростных струй жидкости / С.А. Виноградов, И.Н. Грицына // Актуальные проблемы пожарной безопасности: междунар. научн.-практ. конф., 19-20 мая 2010 г: сб. тезисов. – М.: ВНИИПО, 2010. – с. 153-155.
9. Применение мобильного комплекса «Гюрза» для проведения операций повышенной сложности на объектах энергетики / [Алешков М.В., Безбородько М.Д., Емельянов Р.А., Плосконосов А.В.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2012. - №2. – С. 4-9.
10. Cooley W. C. Rock breakage by pulsed high pressure water jets / Cooley W. C. // Proc. 1st International Symposium on Jet Cutting Technology.- Coventry (England), 1972. – Paper B7. - P. 101-112.
11. Украинский Ю.Д. Фотографическое исследование струи гидропушки / Ю. Д. Украинский // Изв. ВУЗов СССР, Энергетика. – 1978. – № 4. – С. 143 – 146.
12. Виноградов С.А. Підвищення ефективності гасіння газових фонтанів: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Виноградов Станіслав Андрійович. – Х., 2012. – 168 с.
13. Украинский Ю.Д. Экспериментальные исследования ультраструй: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.05 / Украинский Юрий Дмитриевич. – К., 1978. – 16 с.
14. Glenn L. A. The mechanics of the impulsive water cannon // Computers and Fluids.- 1975.- V. 3.- P. 197 – 215.
15. Аркуша А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике / Аркуша А.И. - М.: 2002. – 336 с.
16. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости). – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
17. Шехтман Н.В. Опыт разрушения бетона и железобетона импульсными водометами на Днепрогэс-II / Н.В. Шехтман, С.Д. Криворотько, В.П. Николаев // Гидротехн. стр-во. – 1976. – № 5. – С. 18–21.
18. Петраков А.И. Разрушение горных пород импульсными струями воды / А.И. Петраков, О.Д. Криворотько // Уголь. – 1982. – № 3. – С. 12–15.

УДК 624.012

М. О. Кропива,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПРИ ПОЖЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

В статті наведені відомості щодо параметрів напружено-деформованого стану та механізму руйнування сталезалізобетонної плити в умовах впливу пожежі із стандартним температурним режимом.

Ключові слова: вогнестійкість, «стандартна пожежа», сталезалізобетонна плита, метод кінцевих елементів.

Постановка проблеми. Для зменшення ризику значних соціально-економічних втрат під час пожеж в будівлях і спорудах існує необхідність забезпечення живучості сталезалізобетонних конструкцій за умов температурного впливу пожежі. Живучість конструкцій має відповідати існуючим нормативно-технічним нормам, які регламентують межі їх вогнестійкості [1]. При оцінці вогнестійкості будь-яких будівельних конструкцій вважається найбільш надійнішим і достовірним метод натурних вогневих випробувань [1]. Метод вогневих випробувань полягає в нагріві зразка елемента досліджуваної конструкції, розміри якого повністю або частково відповідають розмірам реальному елементу даної конструкції, в спеціальній вогневій печі при температурному режимі, який визначений в нормативах [1 - 3] і відповідає стандартній температурній кривій пожежі, з прикладенням відповідного механічного навантаження. Випробування сталезалізобетонних плит на вогнестійкість відбувається у відповідності до чинних стандартів України [2, 3]. Згідно із цими стандартами стале залізобетонна плита повинна бути піддана вогневій дії в умовах її навантаження і спирання у відповідності до розрахункової схеми конструкції будівлі. При реалізації таких умов виникають певні технічні складності, які полягають у невідповідності умов закріплення і навантаження цієї плити у конструкції, невідповідності габаритних розмірів зразка для випробувань і реальної плити і т.д. Крім цього метод вогневих випробувань є затратним і трудомістким.

Альтернативою експериментальним методам є застосування розрахункових методів. На даний час теоретична та методична база щодо такого підходу міститься у серії нормативних документів [4], чинних в Україні. Дані методи є гнучкими, дозволяють врахувати все розмаїття граничних умов, матеріалів, геометричних розмірів та ін. параметрів плит, а також вони є набагато менш трудомісткими та вартісними.

Багато цих методів засновані на гіпотезах опору матеріалів і добре працюють тоді, коли є чітке уявлення про поведінку елемента конструкції в умовах пожежі. Відсутність такої інформації накладає обмеження на застосування розрахункових методів, адже її отримання пов'язане з проведенням масштабних експериментів. Для рішення цих задач ефективним є застосування математичного моделювання зі залученням комп'ютерних систем автоматизованого інжиніринга, заснованих на методі кінцевих елементів, оскільки дозволяє отримати великий обсяг даних щодо поведінки стале залізобетонних плит під час пожежі. З огляду на викладене можна зазначити важливість та актуальність задач вивчення поведінки сталезалізобетонних плит під час пожежі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В роботі [5] запропонований підхід вивчення поведінки залізобетонних конструкцій під час пожежі, що полягає у проведенні математичного моделювання за методом кінцевих елементів (далі – МКЕ), доповненим математичними моделями пластичного деформування, теорії міцності, моделі зміни механічних властивостей матеріалу за наявності тріщини у точці інтегрування і т.п. Даний підхід відноситься до уточнених розрахункових методів і дозволяє дуже точно описати

поведінку елементів залізобетонних конструкцій в умовах пожежі. В даній роботі було багато уваги приділено поведінці залізобетонних плит. Робота стале залізобетонних плит детально розглянута у рекомендаціях [6]. Але досі залишаються відкритими питання розподілень параметрів напружено-деформованого стану (далі – НДС) у перерізі, деформаційні схеми, розподілення дефектів, а також відомості щодо механізму та причин руйнування сталезалізобетонних плит під час пожежі.

У зв'язку з цим сформульована мета дослідження.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи полягає у визначенні основних параметрів напружено-деформованого стану, схем деформування, розподілення дефектів, а також відомості щодо механізму та причин руйнування сталезалізобетонних плит під час пожежі при застосуванні методу кінцевих елементів.

На рис. 1 подана схема конструктивних елементів сталезалізобетонної плити, що розглядається.

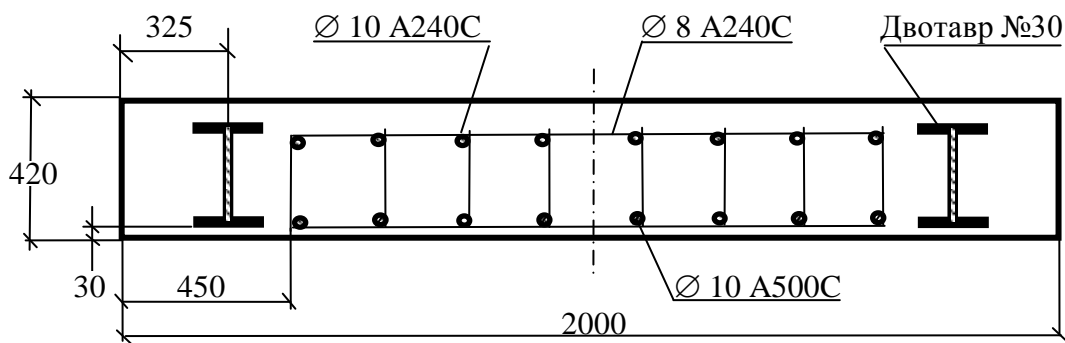


Рисунок 1 – Схема перерізу сталезалізобетонної плити.

Для вивчення поведінки залізобетонних несучих стін була розглянута залізобетонна стіна, основні технічні параметри якої наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Основні параметри сталезалізобетонної плити.

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Тип бетону	Важкий на гранітному заповнювачі	Клас С 40/45 (В40)	
Густина бетону	ρ_b	2300	кг/м ³
Гранична вологість	u	< 3	%
Робоча арматура нижня: • діаметр	d_1	Клас А500С 0,012	м
Робоча арматура верхня: • діаметр	d_2	Клас А240С 0,01	м
Каркасна арматура: • діаметр	d_3	Клас А240С 0,008	м

Для описання поведінки сталезалізобетонної плити під час пожежі були проаналізовані підходи до розв'язку подібних задач [4, 5]. Аналіз підходів у даних джерелах дозволив сформулювати основні передумови й допущення, які повністю відповідають положенням, сформульованим у роботі [6].

Для розв'язку поставленої задачі необхідне завдання комплексу початкових даних, до яких відносяться властивості компонентів матеріалу стале залізобетонної плити, параметри граничних умов, що враховують прикладенні навантаження, та теплову дію. На рис. 2 наведені теплофізичні характеристики бетону, з якого виготовлена плита, що описані у

чинному стандарті України [4] щодо розрахунку сталезалізобетонних конструкцій на вогнестійкість. Дані характеристики являють собою температурні залежності ефективних характеристик, які описують матеріал як однорідний та ізотропний, що є допустимим при таких розрахунках [4, 5].

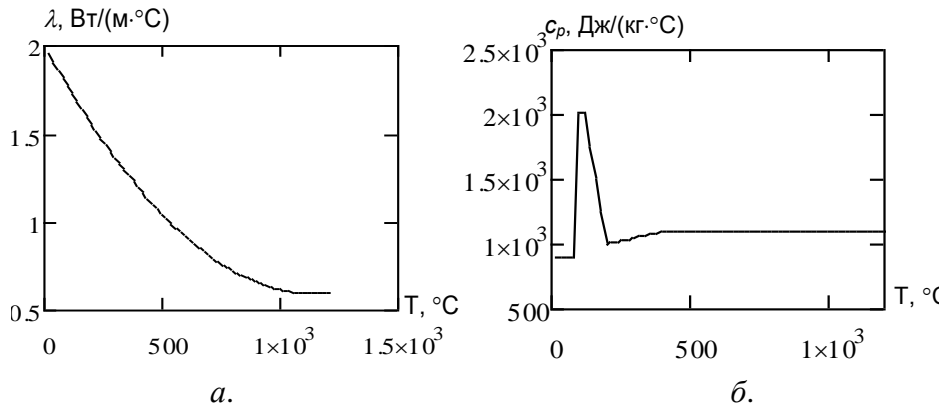


Рисунок 2 – Теплофізичні характеристики важкого бетону: коефіцієнт теплопровідності (а), питома теплоємність (б).

На рис.3 подані термомеханічні властивості бетону, що були використані для розрахунку.

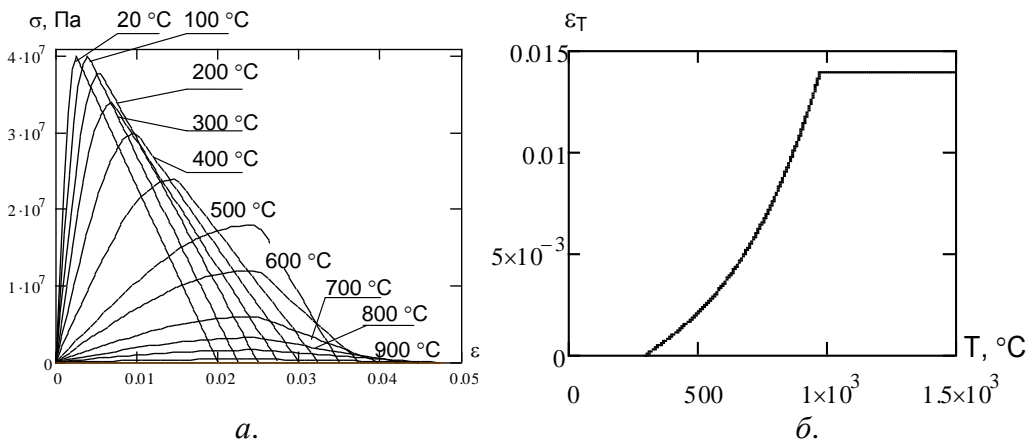


Рисунок 3 – Термомеханічні характеристики бетону: діаграми деформування (а), температурні деформації (б).

На рис.4 подані термомеханічні властивості арматурної сталі

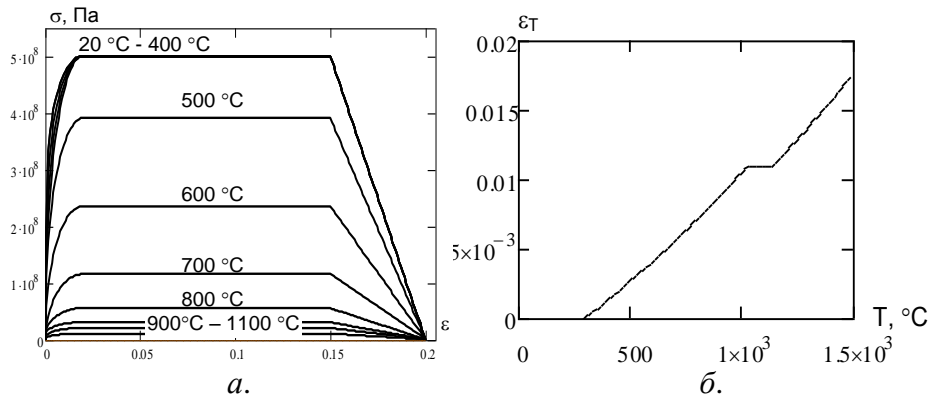


Рисунок 4 – Термомеханічні характеристики арматурної сталі А500С: діаграми деформування (а), температурні деформації (б).

Для проведення розрахунку були використані математичні моделі, параметри яких подані у табл. 2.

Таблиця 2 - Основні математичні моделі для розрахунків стіни на вогнестійкість.

Особливість поведінки матеріалу стіни	Використана математична модель (метод)	Дж-ло
Теплотехнічна задача		
Теплопровідність	Рівняння нестационарної теплопровідності разом з МКЕ	[5]
Граничні умови	III роду	
Фізична нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[5]
Статична задача		
НДС	МКЕ	[5]
Пластичне деформування	Асоціативна теорія пластичного деформування Бесселінга	[5]
Тріщиноутворення	Складений критерій міцності бетону Віллема і Варнке	[5]
Нелінійність	Ітеративний метод Ньютона-Рафсона	[5]

При проведенні розрахунку були прийняті розрахункові схеми до теплотехнічної та статичної задач, що наведені на рис. 5.

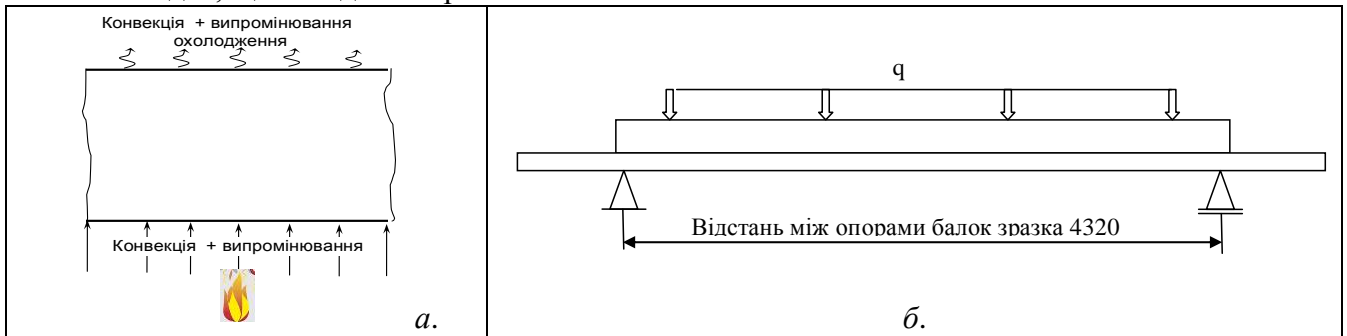


Рисунок 5 – Розрахункові схеми: до теплотехнічної задачі (а); до статичної задачі (б).

Використані характеристики відповідають вимогам стандарту України [5]. Міцнісні характеристики являють собою набір діаграм «напруження-деформація» із спадними гілками для певних значень температури нагріву матеріалу. Також на цьому рисунку подані температурні деформації бетону і арматурної сталі.

Для завдання граничних умов були використані параметри, спираючись на чинні стандарти України щодо розрахунку будівельних конструкцій на вогнестійкість. Величини вибраних параметрів наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Параметри граничних умов

Характеристика	Одиниці виміру	Величина	Джерело
Параметри граничних умов теплотехнічної задачі			
Номінальний тепловий вплив	Стандартний температурний режим пожежі		
Коефіцієнт конвекційного теплообміну на поверхні, що обігрівається	Вт/(м ² ·К)	25	[4]
Коефіцієнт конвекційного теплообмін на поверхні, що не обігрівається	Вт/(м ² ·К)	6	[4]
Ступінь чорноти	-	0.7	[4]
Постійна Стефана-Больцмана	Вт/(м ² ·К ⁴)	5.67·10 ⁻⁸	[6]
Параметри граничних умов статичної задачі			
Діюче навантаження	т/м ²	150	-
Коефіцієнт Пуасона	-	0,2	[4]

Для проведення розрахунку були побудовані сіткові моделі сталезалізобетонної плити, вигляд яких поданий на рис. 6.

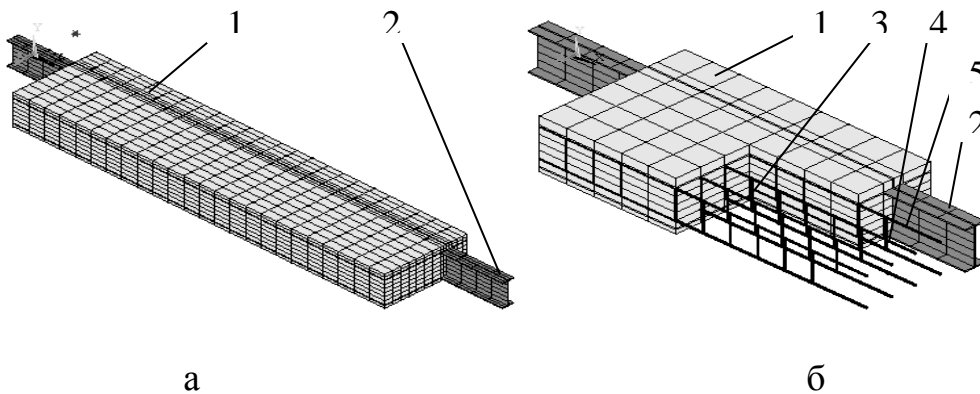


Рисунок 6 – Сіткові моделі: до теплотехнічної задачі (а); до статичної задачі (б): 1 – кінцевий елемент бетону, 2 – кінцевий елемент сталевий двотаврової балки, 3 – кінцевий елемент арматури $d=8$ мм, 4 – кінцевий елемент арматури $d=10$ мм, 5 – кінцевий елемент арматури $d=12$ мм.

При побудуванні сіткових моделей було враховано, що сітка для вирішення теплової задачі відповідно до розрахункової схеми (див. рис. 3) є одномірною і повинна бути набагато гущішою. Сітка для статичної задачі повинна бути більш грубою і враховувати місцеву особливість більшого нагрівання внутрішніх шарів, прилеглих до обігрівної поверхні. Для переносу температурних значень у вузлові точки міцнісної задачі була використана лінійна інтерполяція.

З метою зменшення обсягу розрахунків розглядається симетрична половина плити при розв'язку теплотехнічної задачі і симетрична її чверть при розгляді міцнісної задачі. Робота вибраних фрагментів у складі всієї конструкції враховується за допомогою встановлення граничних умов симетрії по її боковій площині симетрії у теплотехнічній задачі і боковій та торцевій площинах симетрії у міцнісній задачі. Такі умови забезпечуються встановленням відповідних односторонніх механічних в'язів. Накладання температур у вузлові точки відбувається шляхом лінійної інтерполяції.

В результаті вирішення теплотехнічної задачі були отримані температурні розподілення, які наведені на рис. 7.

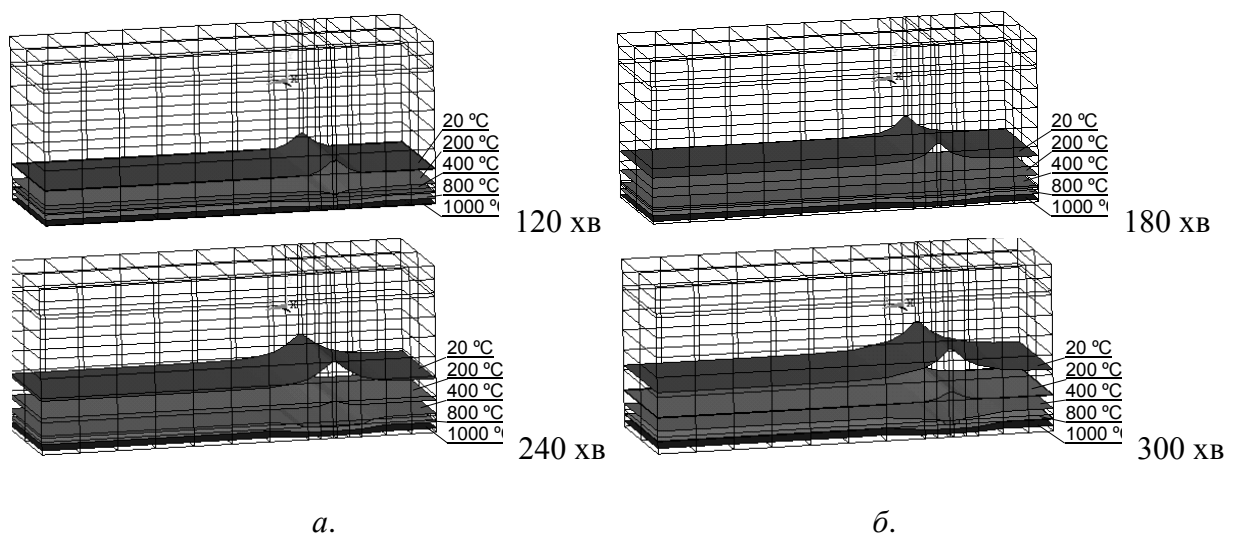


Рисунок 7 – Результати вирішення теплотехнічної задачі: температурні розподілення у перерізі сталі залізобетонної плити у різні моменти часу.

Після вирішення статичної задачі були отримані графіки максимального прогину сталезалізобетонної плити та його швидкості наростання у залежності від часу випробування. Отримані графіки наведені на рис. 8.

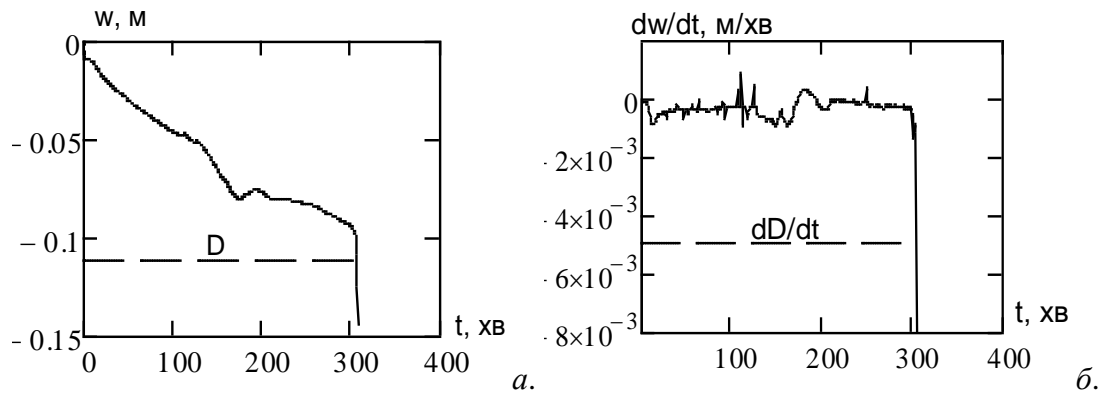


Рисунок 8 – Графік максимального прогину сталезалізобетонної плити (а) та його швидкості наростання (б) у залежності від часу випробування.

Згідно з отриманим графіком видно що його можна розділити на декілька ділянок. Перша ділянка відповідає початковому навантаженню плити. Це ділянка майже вертикального стрибка на початку кривої. Наступна ділянка до 140 хв випробування помірного наростання прогину коли нагрівання не спричиняє суттєвих деформацій арматури та сталевго двотавра. Після цього до 178 хвилини іде більш інтенсивне нарощення прогину. Наступна ділянка є дещо нетиповою для поведінки зігнутих елементів під впливом пожежі, оскільки на ній іде явне зменшення деформації, що продовжується протягом майже 17 хв. Після цього протягом майже 100 хв максимальний прогин зберігає своє значення. Після 300 хв випробування деформації суттєво наростають і приводять до швидкої деструкції плити в умовах стандартного випробування на вогнестійкість.

Отримані графіки дозволяють отримати дані про настання граничного стану втрати несучої здатності шляхом порівняння поточних значень переміщень і швидкостей з гранично допустимими, що відповідно визначаються за формулами [2, 3]:

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot b} = 111 \text{ мм}; \quad \frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000 \cdot b} = 5 \text{ мм/хв.} \quad (1)$$

де L – довжина плити між опорами, мм, а b – висота перерізу, мм.

Аналіз отриманих графіків показує, що за критеріями (1) граничний стан втрати несучої здатності настає на 311 хв. Аналіз рис. 7 показує, що стан втрати тепло ізолювальної здатності не настає. Це означає, що клас вогнестійкості досліджуваної сталезалізобетонної плити є не меншим за REI 300. Даний клас вогнестійкості є найбільшим з регламентованих стандартом [1]. Такий високий клас вогнестійкості може бути зумовлений напружено-деформованим станом сталевго двотавра під тепловим впливом під час випробування. Ділянка інтенсивного нарощування прогину графіку на рис. 8 а на 178 хв замінюється на ділянку зменшення прогину із подальшою стабілізацією його значення протягом майже півтори години. Це означає, що напружено-деформований стан двотавра внаслідок розширення його нижніх шарів при нагріванні спричиняє його вигин вверх. При стабілізації максимального прогину плити досягається баланс між вигином вверх двотаври подальшим розкриттям тріщин і зменшенням стиснутої зони бетону. Все вищевикладене дозволяє стверджувати, що наявність у залізобетонних плитах сталевих елементів у вигляді стержнів із стандартними профілями дозволяє істотно підвищити вогнестійкість даних плит за ознакою втрати несучої здатності.

Висновки. З огляду на проведені дослідження можна зробити такі висновки:

1. Виконане чисельне дослідження поведінки сталезалізобетонної плити під час дії пожежі із стандартним температурним режимом.
2. Показано, що сталезалізобетонна плита на певному часовому інтервалі зменшує свій максимальний прогин після чого його значення стабілізується протягом майже 100 хв.
3. Показано, що наявність зменшення максимального прогину сталезалізобетонної плити на певному часовому інтервалі і подальша його стабілізація зумовлена температурним розширенням нижніх шарів двотавра.
4. Виявлено, що наявність у залізобетонних плитах сталевих елементів у вигляді стержнів із стандартними профілями, дозволяє істотно підвищити вогнестійкість даних плит за ознакою втрати несучої здатності до класу вогнестійкості REI 300.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002 [Чинний від 2003-05-01.]. – К.: Видавництво “Лібра”, 2003. – 87 с – (Національний стандарт України).
2. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. (ISO 834: 1975) ДСТУ Б В.1.1-4-98*. [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с – (Національний стандарт України).
3. ДСТУ Б В.1.1-13: 2007. Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2008. 7 с – (Національний стандарт України).
4. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
5. Поздеев С.В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздеев С.В., Левченко А.Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». - 2011. – С. 264 – 269.
6. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / Милованов А.Ф. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.

УДК 004.89:614.841.4

П. П. Кучер, Д. В. Лагно,

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобыля НУЦЗ України

МЕТОДИ РЕШЕННЯ КОМПЛЕКТОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ГСЧС

Выполнена постановка задачи комплектования аварийно-спасательной техники. Предложена технология ее решения как задачи нечеткой многокритериальной оптимизации с использованием элементов метода анализа иерархий и метода построения функций принадлежности на основе попарных сравнений приоритетности целевых функций. Определены ограничения, позволяющие на этапе предварительного анализа отсеять неперспективные варианты, и рассмотрены возможности применения других методов, относящихся к «мягким» вычислениям.

Ключевые слова: комплектование аварийно-спасательной техники, подразделения ГСЧС, динамическое программирование, оптимальное комплектование АСТ.

Введение. Современный мир живет в условиях непрекращающихся природных катаклизмов. Это цунами и ураганы, землетрясения, засухи, наводнения и пожары. К таким природным явлениям добавляются техногенные, экологические катастрофы, обусловленные ростом промышленного производства, а также угрозы, исходящие от отдельных субъектов, или вызванные другими, возможно случайными факторами. В развитых странах мира созданы специальные службы, оказывающие помощь людям, пострадавшим в вышеуказанных ситуациях. В Украине такие функции возложены на подразделения ГСЧС. Некий универсализм функций, выполняемых его сотрудниками, является причиной существования проблемы обеспечения и комплектования таких подразделений техническими средствами. В большинстве случаев их носителем является пожарный автомобиль, и в этом случае имеем противоречие между необходимостью обеспечения универсальности аварийно-спасательной техники (АСТ) и ограниченностью его носителя. Необходимо решать задачу оптимального комплектования АСТ.

Такая задача имеет общие черты с известными задачами, в частности, с задачей об упаковке в контейнеры по весу или по стоимости и задачей о ранце [1,2]. Известными методами их решения является динамическое программирование, метод ветвей и границ, метод полного перебора, генетические алгоритмы, алгоритмы муравьиной колонии, «жадные» алгоритмы и др.

Особенностями таких задач и соответствующих методов решения являются четко заданные параметры объектов и одно- или двокритериальность. В отличие от них задача комплектования АСТ является многокритериальной задачей с нечетко заданными предпочтениями на множестве целевых функций. Кроме того, она есть неким аналогом задачи упаковки в контейнеры, т.е. трехмерной. При этом количество контейнеров считается заданным, а количество элементов АСТ – переменным.

Постановка задачи. Постановка задачи комплектования аварийно-спасательной техники выполнена в [4]. Приведем ее основные элементы. Пусть множество $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляет ассортимент АСТ. Каждый элемент множества X принадлежит к одному из классов множества $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, где $k \ll n$. Предположим, что в комплект должно входить оборудование из каждого из $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ классов, $m < k$, т.е. необходимо выбрать по одному элементу из множеств $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_m}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Каждому элементу множества X поставим в соответствие совокупность значений: $X_q \rightarrow \langle F_{1q}, F_{2q}, \dots, F_{pq}, a_q, b_q, c_q \rangle$, где F_{iq} – значение i -го критерия оценки q -го элемента, $i = \overline{1, p}$, a_q, b_q, c_q – его габаритные размеры, $q = \overline{1, n}$.

Предположим, что один комплект АСТ K_i содержит элементы множества X , т.е. $K_i \subset X$. При этом могут существовать такие комплекты, количество элементов в которых не совпадают, т.е. $\exists i, j, i \neq j: |K_i| \neq |K_j|$. И еще одно требование, которое не является обязательным, но выполнение которого предпочтительно: в один комплект АСТ не входят два и больше элементов из одного класса, т.е. не существует таких $j, q, p: (X_{jq} \in K_i) \& (X_{jp} \in K_i)$.

Не ограничивая общность, предположим, что контейнер один, и он имеет форму прямоугольного параллелепипеда с габаритами a, b, c . Используя элементы метода последовательного анализа вариантов [3], исключим из рассмотрения те возможные решения, которые не удовлетворяют одному или нескольким условиям.

Очевидными являются такие ограничения:

$$1. \sum_i (a_i \cdot b_i \cdot c_i) \leq a \cdot b \cdot c, \text{ т.е. суммарный объем элементов комплекта не должен}$$

превышать общий объем контейнера.

2. $\forall i \max\{a_i, b_i, c_i\} < \max\{a, b, c\}$, указывающее на то, что если один элемент имеет хотя бы один габаритный размер, превышающий наибольший габарит контейнера, то такой комплект исключается.

Критериями, определяющими выбор того или иного комплекта АСТ, являются F_1 – функциональность, F_2 – мощность, F_3 – надежность, F_4 – цена. Имеем задачу многокритериальной оптимизации: найти комплект АСТ, соответствующий решению задачи

$$F_1 \rightarrow \max, F_2 \rightarrow \max, F_3 \rightarrow \max, F_4 \rightarrow \min, \quad (1)$$

при вышеуказанных ограничениях. Ее решение предваряет определение весовых коэффициентов критериальных функций.

Метод решения задачи комплектования АСТ при нечетких экспертных предпочтениях. В дальнейшем изложении будем использовать школу сравнений, предложенную проф. Т. Саати [5]. Так, значения элементов матрицы попарных сравнений будут такими:

- 1, если сущность А и сущность В имеет равную важность;
- 3, если сущность А умеренно превосходит сущность В;
- 5, если сущность А имеет существенное превосходство над сущностью В;
- 7, если сущность А значительно превосходит сущность В;
- 9, если сущность А имеет очень сильное превосходство над сущностью В;
- 2, 4, 6, 8 – соответствуют промежуточным утверждениям о важности.

Если при сравнении А и В имеем одно из вышеуказанных чисел, то при сравнении В с А получим обратную величину.

Определим приоритеты критериальных функций. Для этого выберем m экспертов, которые, используя шкалу, предложенную Т. Саати [5], осуществляют их сравнение. Получим матрицы

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & g_{12}^i & g_{13}^i & g_{14}^i \\ 1/g_{12}^i & 1 & g_{23}^i & g_{24}^i \\ 1/g_{13}^i & 1/g_{23}^i & 1 & g_{34}^i \\ 1/g_{14}^i & 1/g_{24}^i & 1/g_{34}^i & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Предположим, что компетентность w_i каждого из экспертов известна (если это не так, то компетентность можно определить, используя метод, предложенный в [6]) и $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

Очевидно, что суждения эксперта при решении задачи сравнения альтернатив зачастую бывают несогласованны. Для осуществления возможности учета этого фактора для каждой матрицы $G_i, i = \overline{1, m}$, вычисляем индекс согласованности, который равен абсолютной величине отклонения размерности матрицы G_i и ее максимального собственного числа, т.е. $\delta_i = |4 - q_i|, i = \overline{1, m}$. Меньшее значение δ_i соответствует лучшей согласованности сравнений эксперта. Если δ_i достаточно большое, то матрицу, соответствующую суждениям такого эксперта, необходимо исключить из рассмотрения или выполнить определенные уточняющие процедуры.

На следующем шаге осуществляем сложение элементов матриц $G_i, i = \overline{1, m}$, находящихся над главной диагональю, с соответствующими весовыми коэффициентами. Остальные элементы результирующей матрицы G найдем как обратные величины к уже вычисленным элементам. Имея матрицу G , определим приоритеты критериальных функций [5] по формуле

$$p_i = \frac{(\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1, 4}. \quad (3)$$

Таким образом, мы установили важность критериальных функций при определении того или иного варианта комплектования АСТ.

На следующем шаге необходимо оценить варианты комплектования АСТ по каждому из критериев $F_i, i = \overline{1, 4}$. Предположим, что после проведения предварительного анализа и проверки выполнения ограничений осталось p возможных вариантов. Аналогично предыдущему шагу необходимо получить четыре матрицы Q_i , элементы каждой из которых содержат значения парных сравнений вариантов комплектования по критериям $F_i, i = \overline{1, 4}$. Получить матрицы можно двумя способами. В первом из них элементы матрицы определяют традиционно, исходя из заключений экспертов для всех пар вариантов. Поскольку число таких вариантов даже в самых малоразмерных задачах довольно большое, то матрица попарных сравнений будет плохо согласованной и ее анализ и применение в дальнейших расчетах становится проблематичным. Рациональным представляется использовать другой способ получения матриц $Q_i, i = \overline{1, 4}$ [7,8]. Для этого необходимо определить только значения попарных сравнений для одного варианта комплектования АСТ, например, для первого. Все остальные элементы матриц рассчитываются по формуле: $q_{kl} = \frac{q_{ll}}{q_{lk}}, k, l = \overline{1, p}$. Получим такие матрицы:

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1 & q_{12}^i & q_{13}^i & \dots & q_{1p}^i \\ 1/q_{12}^i & 1 & q_{13}^i/q_{12}^i & \dots & q_{1p}^i/q_{12}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/q_{1p}^i & q_{12}^i/q_{1p}^i & q_{13}^i/q_{1p}^i & \dots & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1, 4}. \quad (4)$$

Матрицы $Q_i, i = \overline{1,4}$, являются хорошо согласованными. Далее вычисляем степени принадлежности каждого из вариантов комплектования соответствующим нечетким множествам (определяемых критериальными функциями):

$$\mu(K_j) = \frac{1}{wk_{1j} + wk_{2j} + \dots + wk_{pj}}, j = \overline{1,p}, \quad (5)$$

где wk_{ij} – элементы матриц $Q_i, i = \overline{1,4}$. Таким образом, получим нечеткие множества:

$$F_i = \left\{ \frac{\mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}, \quad (6)$$

или

$$F_i = \left\{ \frac{1 / (1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i})}{K_1}; \frac{1 / (1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{12}^i}{q_{1j}^i})}{K_2}; \dots; \frac{1 / (1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1p}^i}{q_{1j}^i})}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (7)$$

Значения, находящиеся в числителе, указывают на то, насколько функциональны, мощны, надежны и приемлемы по цене варианты комплектования (в знаменателе).

Учитывая, что наилучшим является тот вариант, который одновременно лучший по всем критериям, нечеткое решение F находим как пересечение критериев F_i :

$$F = F_1 \cap F_2 \cap F_3 \cap F_4 = \left\{ \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}. \quad (8)$$

Наилучшим вариантом является тот, который является решением задачи поиска

$$\arg \max_{j=1,p} \min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_j). \quad (9)$$

Если учитывать важность критериальных функций, то подход к определению оптимального варианта комплектования остается неизменным, а выражение (7) переписывается следующим образом:

$$F_i = \left\{ \frac{(1 / (1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_1}; \frac{(1 / (1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{12}^i}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_2}; \dots; \frac{(1 / (1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1p}^i}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (10)$$

Решение задачи (9) определяет оптимальный вариант комплектования и позволяет учитывать меру оптимальности его выбора, исходя из значения соответствующей функции принадлежности.

Практическая реализация метода комплектования АСТ. Пусть необходимо выбрать один из шести вариантов комплектования АСТ, исходя из суждений шести экспертов. На первом этапе осуществляем попарное сравнение критериальных функций. Получим такие матрицы:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 \\ 0,14 & 1 & 1 & 5 \\ 0,2 & 1 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 0,2 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 0,33 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_3 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 \\ 0,11 & 1 & 5 & 9 \\ 0,11 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,2 & 0,1 & 0,1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_4 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 5 & 7 \\ 0,1 & 1 & 5 & 7 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_5 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 5 \\ 0,3 & 1 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_6 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 & 1 \\ 0,2 & 1 & 9 & 5 \\ 0,14 & 0,1 & 1 & 9 \\ 1 & 0,2 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Компетентности экспертов определены лицом, принимающим решения, и они равны:

$$\gamma_1 = 0,34; \gamma_2 = 0,24; \gamma_3 = 0,2; \gamma_4 = 0,14; \gamma_5 = 0,05; \gamma_6 = 0,03.$$

Максимальные собственные числа матриц $G_i, i = \overline{1,6}$ такие:

$$\lambda_1 = 4,35; \lambda_2 = 4,77; \lambda_3 = 5,45; \lambda_4 = 5,13; \lambda_5 = 4,26; \lambda_6 = 6,99.$$

Таким образом, индексы согласованности равны:

$$\delta_1 = 0,35; \delta_2 = 0,77; \delta_3 = 1,45; \delta_4 = 1,13; \delta_5 = 0,26; \delta_6 = 2,99.$$

Наилучшим образом согласованы суждения первого и пятого экспертов, суждения шестого эксперта необходимо корректировать.

Складывая матрицы $G_i, i = \overline{1,6}$ по описанной выше процедуре, получим матрицу

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 6,94 & 4,7 & 6,32 \\ 0,14 & 1 & 3,08 & 6,36 \\ 0,21 & 0,32 & 1 & 7,64 \\ 0,15 & 0,15 & 0,13 & 1 \end{pmatrix}.$$

Используя (3), рассчитаем приоритеты критериальных функций:

$$p_1 = 0,61; p_2 = 0,21; p_3 = 0,14; p_4 = 0,04.$$

Вычислим значения матриц $Q_i, i = \overline{1,4}$:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 0,9 & 0,33 & 0,7 \\ 0,33 & 1 & 0,67 & 0,3 & 0,11 & 0,23 \\ 0,5 & 1,5 & 1 & 0,45 & 0,17 & 0,35 \\ 1,11 & 3,33 & 2,22 & 1 & 0,37 & 0,78 \\ 3 & 9 & 6 & 2,7 & 1 & 2,1 \\ 1,43 & 4,29 & 2,86 & 1,29 & 0,48 & 1 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 4 & 3 & 0,7 & 0,5 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \\ 0,25 & 0,13 & 1 & 0,75 & 0,18 & 0,13 \\ 0,33 & 0,17 & 1,33 & 1 & 0,23 & 0,17 \\ 1,43 & 0,71 & 5,71 & 4,29 & 1 & 0,71 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4 & 0,5 & 2 & 0,8 & 3 \\ 2,5 & 1 & 1,25 & 5 & 2 & 7,5 \\ 2 & 0,8 & 1 & 4 & 1,6 & 6 \\ 0,5 & 0,2 & 0,25 & 1 & 0,4 & 1,5 \\ 1,25 & 0,5 & 0,63 & 2,5 & 1 & 3,75 \\ 0,33 & 0,13 & 0,17 & 0,67 & 0,27 & 1 \end{pmatrix}, Q_4 = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 0,9 & 4 & 0,8 \\ 0,17 & 1 & 0,67 & 0,15 & 0,67 & 0,13 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,11 & 6,67 & 4,44 & 1 & 4,44 & 0,89 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,25 & 7,5 & 5 & 1,13 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Далее находим степени принадлежности каждого из вариантов комплектования соответствующим нечетким множествам:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,12}{K_1}; \frac{0,38}{K_2}; \frac{0,25}{K_3}; \frac{0,11}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,09}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,10}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,41}{K_3}; \frac{0,31}{K_4}; \frac{0,07}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,13}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,10}{K_5}; \frac{0,39}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,36}{K_2}; \frac{0,24}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,24}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Нечеткое решение находим как пересечение критериев $F_i, i = \overline{1,4}$:

$$F = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Учитывая значимость критериальных функций, уточним полученные результаты:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,55}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,62}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,83}{K_3}; \frac{0,78}{K_4}; \frac{0,58}{K_5}; \frac{0,53}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,75}{K_1}; \frac{0,66}{K_2}; \frac{0,68}{K_3}; \frac{0,82}{K_4}; \frac{0,72}{K_5}; \frac{0,87}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,89}{K_1}; \frac{0,95}{K_2}; \frac{0,94}{K_3}; \frac{0,88}{K_4}; \frac{0,94}{K_5}; \frac{0,88}{K_6} \right\}.$$

Тогда, исходя из (8), получим нечеткое решение

$$F = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\}.$$

Решением задачи (9) будет вариант комплектования АСТ K_2 , соответствующий максимальному значению функции принадлежности.

Выводы и перспективы. Рассмотренный метод комплектования АСТ является только одним возможным элементом технологий принятия решений, базирующийся на использовании теории нечетких множеств, которая является одной из составляющих парадигмы «Soft Computing» [9]. И, хотя не все ее положения имеют строгие доказательства, их применение целесообразно при решении задач, связанных с необходимостью учета субъективных суждений. Такой задачей и является комплектование АСТ. Рассматривая ее как задачу многокритериальной оптимизации, важно обращать внимание на значимость критериальных функций, поскольку ее учет прямо влияет на выбор решения – варианта комплектования.

К важным аспектам, которые необходимо учитывать при решении задачи, относится наличие переменного количества элементов в каждом варианте комплектации. Такое обстоятельство требует формального определения критериальных функций, поскольку для разного типа оборудования понятия и единицы измерения функциональности и мощности являются различными. Экспертам должна быть доступна информация о сравнительных характеристиках элементов АСТ одного класса, а также предусмотрена возможность приведения разнородных показателей к одной шкале.

Предложенный метод, кроме преимуществ, имеет и определенные недостатки. Так, он ориентирован на определенное количество вариантов комплектования, которое не может измениться в процессе анализа, и полученные результаты не могут быть использованы для оценки нового варианта комплектования. Преодолеть ограничение метода предполагается с использованием и других составляющих «Soft Computing», а именно нейронных сетей, эволюционного моделирования, нейро-нечетких сетей, а также их композиции. Это позволит осуществлять оценку того или иного варианта комплектования АСТ на основе уже построенной модели. Кроме того, возможно осуществить разработку процедуры устранения противоречий в оценках экспертов, что будет направлено на определенную объективизацию субъективных заключений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Левитин А.В. Алгоритмы: введение в разработку и анализ. – М.: «Вильямс», 2006. – 576 с.
2. Кормен Т., Лайзерсон Ч., Ривест Р., Штайк К. Алгоритмы: Построение и анализ. – М.: «Вильямс», 2005. – 1296 с.
3. Волкович В.Л. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем / В.Л. Волкович, О.Ф. Волошин и др. – К.: Наук. думка, 1993. – 312 с.
4. Снитюк В., Кучер П. Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задачи комплектования // Искусственный интеллект – 2009. – № 4. – С. 268-273.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование организации систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
6. Снитюк В.Е., Рифат Мохаммед Али. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности // Вісник ЧІТІ. – № 4. – 2000. – С. 121-126.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
8. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С.150-154.
9. Zadeh L. A. Fuzzy logic, neural network and soft computing // Communications of the ACM. – 1994. – Vol. 37, № 3. – P. 77–84.

УДК 614.8.086.54

О. В. Лазаренко, к. т. н.,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСНИХ ВОДЯНИХ ЗАВІС ГЕНЕРОВАНИХ НАСАДКАМИ РВ-12 ТА НРТ-5

В статті наведено результати експериментальних досліджень по визначенню гідродинамічних параметрів та значенню коефіцієнта послаблення теплового потоку від вогнища пожежі під час використання насадок НРТ-5 та РВ-12. За результатами проведених експериментальних досліджень визначено, що захисна водяна завіса, генерована насадкою РВ-12 має набагато кращий коефіцієнт послаблення теплового потоку ніж захисна водяна завіса від насадки НРТ-5.

Ключові слова: НРТ-5, РВ-12, водяна завіса, екрануюча здатність, коефіцієнт екранування.

Вступ. Використання водяних стволів для захисту рятувальників від шкідливої дії теплового випромінювання під час гасіння пожежі є загально відомим та поширеним тактичним прийомом серед рятувальних підрозділів не тільки України, а й інших країн світу. Ефективність використання саме водяних завіс (води), генерованих різноманітними технічними приладами, в якості захисного екрану або охолоджуючого елемента, продемонстровано працями багатьох вітчизняних та закордонних дослідників [1-3].

Але на сьогоднішній день, незважаючи на велику кількість праць в цьому напрямку, в різноманітній довідковій, науковій літературі та навчальних посібниках відсутні детальні захисні характеристики водяних завіс генерованих насадками РВ-12 та НРТ-5, які широко використовуються (та рекомендуються до застосування) саме для зменшення дії теплового випромінювання на пожежного-рятувальника.

Так зокрема в праці [4] було поставлено ряд експериментальних задач, вирішення яких дасть змогу визначити коефіцієнти екранування теплового потоку захисної водяної завіси генерованої насадками РВ-12 та НРТ-5.

Таким чином метою експериментальних досліджень було:

- визначення коефіцієнту зменшення теплового потоку водяних завіс генерованих за допомогою насадок РВ-12, НРТ-5;
- визначення зміни захисних характеристик цих насадок в залежності від тиску на стволі.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до поставленої мети було сконструйовано використано експериментальну установку яка давала можливість (рис.1.):

- 1) визначення загальної витрати води перед входом в ствол;
- 2) визначення робочого тиску перед стволом;
- 3) визначення витрати води на створення захисної завіси;
- 4) визначення теплового потоку полум'я модельного вогнища пожежі;
- 5) визначення теплового потоку полум'я модельного вогнища пожежі, що пройде через захисний водяний екран при різних його параметрах.

При проектуванні експериментальної установки були взяті до уваги вимоги, щодо приймання в експлуатацію та методи контролю ручних пожежних стволів, а також методи визначення витрати рідин.

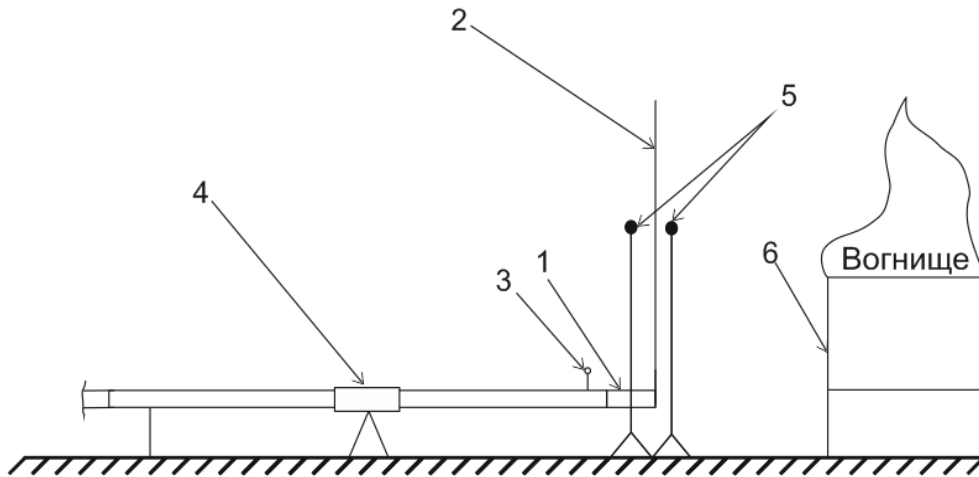


Рисунок 1 – Схема проведення вогневих випробувань для насадки РВ-12: 1 – ствол, 2 – водяна завіса, 3 – манометр, 4 – водомір, 5 – точки вимірювання теплового випромінювання, 6 – дека.

Подача води та створення необхідного тиску здійснювалась за допомогою пожежного автомобіля АЦ-40 (130) 63Б, що використовується для доставки особового складу та подачі засобів пожежогасіння в вогнище пожежі. На автомобілі цієї модифікації встановлено насос ПН-40УВ, який дає змогу створювати максимальний напір до 100 м. вод. ст. та продуктивність 40 л/с, що забезпечує необхідні показники для ефективної роботи підрозділів ДСНС. Пожежний автомобіль встановлюється на пожежний гідрант для безперебійної подачі води.

Подальша подача води здійснювалась по прогумованому пожежному рукаву діаметром 66 мм, для забезпечення необхідної витрати на стволі, з подальшим використанням перехідної головки 66 мм на 77 мм.

Для вимірювання загальної витрати води, яка подається на пожежний ствол, використано турбінний водомір СТВ-65. Конструкція якого передбачає можливість безпосереднього під'єднання до труб діаметром 70 мм.

Пряма ділянка трубопроводу до та після водоміра служить для стабілізації потоку, або відновлення епюри розподілу швидкостей від рівномірної (яка виникає після збурення потоку внаслідок його повороту, зміни площі живого перерізу і т. п.) до тієї, яка відповідає стабілізованій течії рідини.

Загальна похибка вимірювання водоміром СТВ-65 відповідно до технічного паспорта при витраті води в межах 3,5–70 м³/год (0,97–19,44 л/с) становить 2 % .

Після водоміра, через наступну пряму ділянку стабілізації потоку, вода подавалась до ствола РС-70 з насадкою НРТ-5 чи РВ-12.

Оскільки витікання води через насадку ствола відбувалося в атмосферу, то відповідно й витрати води для створення захисної завіси будуть залежати від тиску. Визначення тиску перед стволом проводилось зразковим пружинним манометром з класом точності вимірювання 0,4, який безпосередньо закріплений перед з'єднувальною головкою ствола. Відносна похибка вимірювання цим манометром становить 0,4%. Для осереднення пульсацій тиску, вимірювальний манометр встановлювався на зовнішній кільцевій порожнині, яка сполучалася з трубою чотирма отворами діаметром 4 мм.

Теплове випромінювання вимірюється за допомогою приладів ВТП-01 (рис.2). ВТП-01 вимірює теплові випромінювання в діапазоні від 0,1 до 50 кВт/м² з похибкою вимірювання $\pm 1\%$.

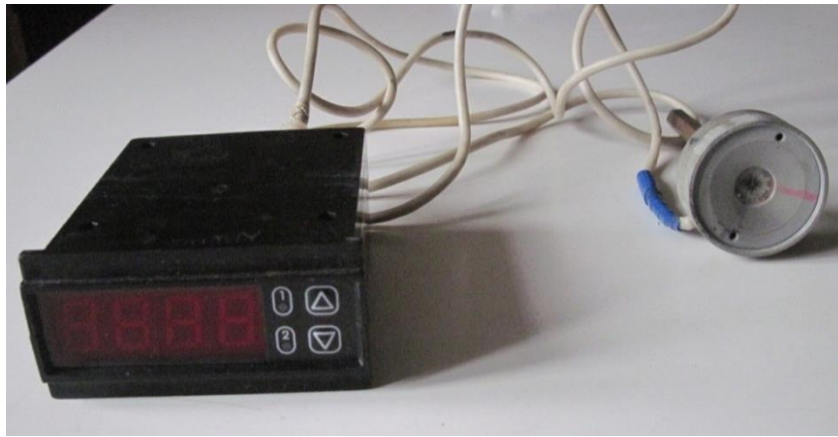


Рисунок 2 – Загальний вигляд приладу ВТП-01.

ВТП-01 закріплюються на спеціальних штативах, що розміщуються один перед водяною завісою, інший – на відстані 20 см за нею, для одночасного вимірювання теплового потоку.

Загальна методика проведення експерименту виглядала наступним чином:

- 1) для проведення експерименту ствол з насадкою для створення захисної водяної завіси розташовували перед джерелом теплового випромінювання на певній відстані – L (м);
- 2) розпалювали вогнище для отримання величини теплового випромінювання близького до значення $10-12 \text{ кВт/м}^2$;
- 3) за допомогою пожежної автоцистерни подавали воду та створювали захисну водяну завісу;
- 4) одночасно здійснювався замір величини теплового випромінювання перед та за захисною водяною завісою на відстані від завіси $0,2 \text{ м}$ та фіксували його величину (в процесі дослідження змінювався тиск перед стволом в межах $4 \dots 6 \text{ атм.}$ з інтервалом в $0,5 \text{ атм.}$).

Для досягнення «чистоти» проведення експерименту досліди проводилися в два етапи:

- 1) визначення гідродинамічних показників насадок РВ-12 та НРТ-5, для визначення величини розподілу витрат води при різних тисках на стволі;
- 2) визначення коефіцієнта екранування теплового потоку водяною завісою генерованою насадкою РВ-12 та НРТ-5 в залежності від тиску на стволі (рис.3).



Рисунок 3 – Процес дослідження коефіцієнта екранування радіальною водяною завісою генерованою насадкою РВ-12, НРТ-5.

Відповідно, за результатами визначення гідродинамічних показників насадок було отримано наступні результати представлені у вигляді графічних залежностей на рис.3, а результати визначення коефіцієнта екранування на рис.4.

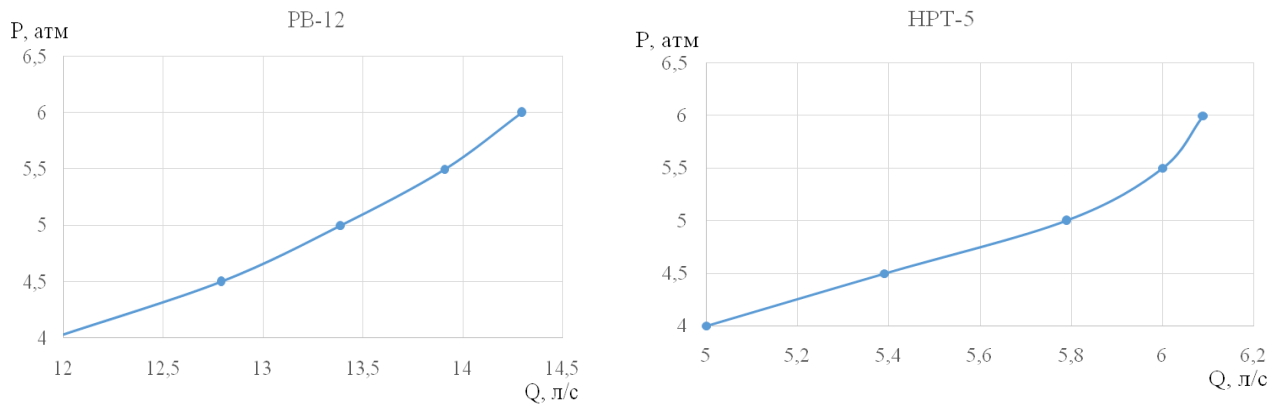


Рисунок 3 – Залежність витрат води від тиску на стволі для насадки РВ-12, НРТ-5

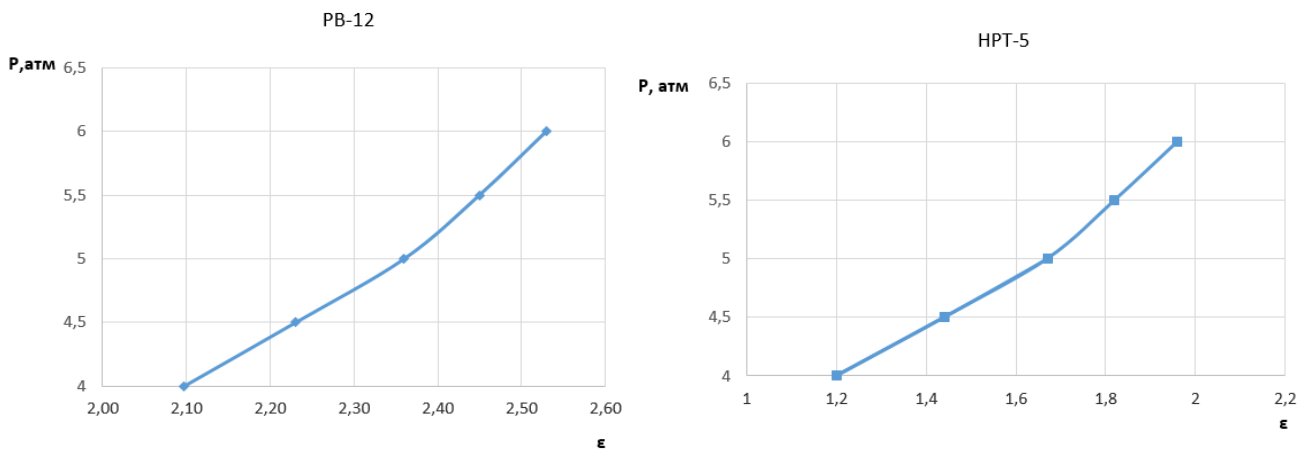


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнту зменшення теплового потоку (ϵ) від тиску на стволі для насадки РВ-12, НРТ-5

Таким чином, для кращого сприйняття отриманих чисельних значень результати експерименту по визначенню всіх досліджувальних параметрів насадок РВ-12 та НРТ-5 було зведено в табл. 1. та табл.2.

Таблиця 1 – Значення характеристик насадки РВ-12 за результатами проведених експериментів.

РВ-12				
№	P, Мпа	Q _{ств} , л/с	S	ε
1	0,4	11,95	0,0028	2,1
2	0,45	12,79		2,23
3	0,5	13,39		2,36
4	0,55	13,91		2,45
5	0,6	14,3		2,53

Таблиця 2 – Значення характеристик насадки НРТ-5 за результатами проведених експериментів.

НРТ-5				
№	P, МПа	Q _{ств.} , л/с	S	ε
1	0,4	5,0	0,016	1,2
2	0,45	5,39		1,44
3	0,5	5,79		1,67
4	0,55	6,0		1,82
5	0,6	6,09		1,96

Висновки. Підсумовуючи отриманні результати експериментальних досліджень з визначення гідравлічного опору та коефіцієнту екранування водяних завіс насадок РВ-12 та НРТ-5 було отримано наступні дані:

- при поступовому збільшенні тиску на насадці НРТ-5 спостерігається збільшення витрати води, що в свою чергу впливає на коефіцієнт екранування теплового потоку. Однак при досягненні тиску близько 6 атм. та вище витрата води через насадку вже практично не змінюється (табл.2), що відповідно впливає та обмежує значення коефіцієнту екранування теплового потоку;
- для насадки НРТ-5 коефіцієнт екранування (ε) становив в межах 1,2 – 1,96 при витраті на стволі 5 - 6,09 л/с;
- розміри та геометрична конфігурація отриманої захисної водяної завіси через насадку НРТ-5 є не досить зручна, таким чином використання даної насадки для зменшення теплового потоку, що діє на ствольщиків не рекомендується;
- для насадки РВ-12 коефіцієнт екранування (ε) становив в межах 1,21 – 2,53 при витраті на стволі 11,95 – 14,3 л/с;
- використання захисної водяної завіси, генерованою насадкою РВ-12, за рахунок великого радіусу захисту та значного коефіцієнта послаблення теплового потоку, дає змогу досить комфортно та безпечно перебувати ствольщикам під дією теплового випромінювання;
- отриманні значення гідравлічних опорів та коефіцієнтів екранування (табл.1,2) кожної з досліджувальних насадок дає змогу заздалегідь розрахувати необхідний тиск на насосі пожежного ствола та необхідну витрату води яка б забезпечила потрібний захист пожежного від теплового випромінювання.

Перспективи подальших досліджень. Отримані числові значення коефіцієнтів екранування безперечно є дуже важливими для подальшого їх використання в теоретичних чи практичних розрахунках (тому що отриманні вперше). Однак в подальшому необхідно провести дослідження з визначення розподілу коефіцієнта екранування по радіусу захисної водяної завіси (для РВ-12) чи відстанні від осі ствола (для НРТ-5), так як приведенні залежності коефіцієнта екранування будуть справедливими лише для точки де щільність водяного потоку є найбільша.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Виноградов А.Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами / А.Г. Виноградов // Пожаровзрывобезопасность. – Москва (Россия), 2012. – Т. 21, № 7. – с. 77-86.
- 2) Buchlin J.-M.: Thermal shielding by water spray curtain Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol; 18, No 4-6, July - November 2005, pp 423-432.
- 3) Griolet F. Mitigation of hazardous fire radiation by water spray curtain / Griolet F., Lieto J., Delmas A., Raynaud M., Buchlin J.-M. // 9th Inter. Symp. on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries; Barcelona, Spain, 1998.
- 4) В.І. Желяк Методи захисту пожежних від теплового випромінювання вогнища пожежі / В.І. Желяк, М.А. Наливайко, О.В. Лазаренко, к.т.н., С.Я. Кінтер // Пожежна безпека: теорія і практика Зб. наук. пр. — 2014. — № 16. — С. 30—36.

УДК 614.849

О. М. Ларін, д. т. н., проф., А. Я. Калиновський, к. т. н., доц.,
Р. І. Коваленко, А. В. Титаренко, к. психол. н.,
Національний університет цивільного захисту України

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОБҐРУНТУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ СИЛ ТА ЗАСОБІВ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ, А ТАКОЖ МІСЦЬ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ

Розглядаються існуючі методи обґрунтування чисельності та місць дислокації пожежно-рятувальних підрозділів.

Ключові слова: пожежно-рятувальні підрозділи, оперативно-рятувальні автомобілі, аналітичне моделювання, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми. З роками змінюються межі міст, інтенсивність дорожнього руху, чисельність населення, щільність забудови. Всі ці чинники вимагають перегляду основних параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП). Одним із таких параметрів є час прибуття підрозділів та час обслуговування викликів, який значно залежить від віддаленості місця виклику від ПРП та кількості сил та засобів задіяних на виклик, тому тема дослідження є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою визначення раціональної кількості сил та засобів та визначенням місць дислокації ПРП працювало ряд вчених: Коссе А.Г., Комяк В.М., Алехін Є.М., Соколов С.В., Клімкін В.І., Белов В.О., Вагнер П. та Брушлинський М.М. Дана проблема висвітлена в роботах [1 - 7].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є обґрунтування раціональних методів проектування кількості сил та засобів ПРП, а також місць їх дислокації. Вирішення поставленої задачі відбувалося шляхом порівняльного аналізу існуючих методів та принципів проектування кількості сил та засобів ПРП.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

У роботах [1 - 7] наведені основні методи вирішення вищезазначеної проблеми. Найбільш перспективними в наш час є методи комп'ютерного імітаційного моделювання, які дають змогу більш широко досліджувати основні параметри функціонування ПРП та дозволяють розробити рекомендації щодо необхідної кількості сил та засобів, а також раціонального розташування ПРП. Подібні системи отримали найбільш широкий розвиток в Росії. З їх допомогою розроблялися плани розвитку мережі ПРП міст Москви, Санкт-Петербурга, Орська, а також деяких областей Росії, наприклад Ярославської. Провівши аналіз відносно використання подібних систем в Україні, можна зробити висновок, що даних доволі мало. Тому необхідно дослідивши існуючі методи визначення необхідної кількості сил та засобів, а також принципи раціонального розташування ПРП розробити власний метод, який би по максимуму враховував всі сторони оперативної діяльності підрозділів та особливості зміни оперативно-тактичної обстановки.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Згідно [1] основний принцип визначення раціональних розмірів ПРП в містах полягає в наступному: ПРП повинні бути організовані таким чином, щоб у будь-який момент часу на будь-яку виниклу НС, вони могли своєчасно відреагувати набором сил та засобів, адекватним характеру виниклої ситуації.

При цьому повинні виконуватися два основних обмеження:

1). прибуття сил та засобів до місця виклику повинно укладатися в допустимі часові інтервали, обумовлені закономірностями розвитку і рівнем ризику конкретної деструктивної події (пожежі, аварії і т.д.);

2). загальна кількість сил і засобів ПРП в місті повинно бути економічно оправданим, тобто відповідати допустимому рівню ризику, заданого для деструктивних подій кожного типу.

Врахування всіх цих умов потребує обґрунтованих відповідей на питання: «Що станеться, якщо ...?» (якщо розформувати, або створити декілька депо ПРП, змінити межі районів їх обслуговування, перемістити частину пожежно-рятувальних автомобілів із одного депо в інше і т.д.). В усіх цих випадках не можна обійтися без численних експериментів, але їх можна виконати тільки за допомогою математичних моделей, які опираються на статистичні закономірності, які властиві процесам функціонування ПРП.

Основними методами обґрунтування чисельності сил та засобів ПРП, а також місць їх розміщення є: нормативні методи, аналітичні моделі і найбільш перспективні на даний час імітаційні моделі.

В Україні на сьогодні основними нормативними документами, які регламентують чисельність сил та засобів та розміщення ПРП в населених пунктах є [8, 9], згідно, яких:

1) радіус зони обслуговування ПРП не повинен перевищувати 3 км;

2) кількість та тип оперативно-рятувальних автомобілів приймається в залежності від кількості населення;

3) нормативи прибуття ПРП до місця виклику не повинні перевищувати: на території міст - 10 хвилин; у населених пунктах за межами міста - 20 хвилин. З урахуванням метеорологічних умов, сезонних особливостей та стану доріг нормативи прибуття можуть бути перевищені, але не більше ніж на 5 хвилин.

На підприємствах особливості розміщення ПРП регламентуються [10] згідно, якого:

1) радіуси обслуговування пожежними депо слід приймати 2 км - для підприємств з виробництвами категорій А, Б та В, що займають більше 50% всієї площі забудови, 4 км - для підприємств з виробництвами категорій А, Б та В, які займають до 50% площі забудови, і підприємств з виробництвами категорій Г і Д. У разі перевищення зазначеного радіусу на майданчику підприємства необхідно передбачати додаткові пожежні пости. Радіуси обслуговування пожежними постами слід приймати ті ж, що і для пожежних депо.

2) кількість та тип оперативно-рятувальних автомобілів і чисельність персоналу ПРП (постів) встановлюються замовником у завданні на проектування за погодженням із зацікавленими організаціями.

Пошук раціональної кількості ПРП та місць їх дислокації за допомогою методів математичного моделювання і геометричного проектування розглядалося в роботі [2].

В Російській Федерації розміщення ПРП регламентується [11], а сам порядок та методика розміщення затверджені [12]. Число і місця дислокації ПРП визначають по областям перетинання просторових зон потенційно можливого розміщення цих підрозділів для всієї сукупності об'єктів де може статися пожежа по методиці приведеній в Правилах. Методами, які використовуються в даній методиці є математичне моделювання і геометричне проектування.

Згідно [13] недоліками більшості аналітичних моделей, побудованих на основі понять теорії масового обслуговування, є використання в них значних спрощень: зображення потоку замовлень як пуассонівського або найпростішого, припущення про показниковий розподіл часу обслуговування, неможливість обслуговування замовлень одночасно кількома каналами обслуговування тощо. Такі спрощення, а іноді штучне пристосування аналітичних моделей з метою використання добре розробленого математичного апарату для дослідження реальних систем можуть ставити під сумнів результати аналітичного моделювання. Недоліком складних моделей є громіздкість обчислень. Зокрема, аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів системи масового обслуговування можна знайти лише у випадку, коли кількість каналів обслуговування не

перевищує двох. Складною для розв'язування у таких випадках є й відповідна система алгебричних рівнянь для ймовірностей станів граничного стаціонарного режиму. Отже, аналітичні методи мають самостійне значення лише для дослідження функціонування систем масового обслуговування у першому наближенні і в окремих, специфічних задачах.

На відміну від аналітичного імітаційного моделювання знімає більшість обмежень, пов'язаних з можливістю відображення в моделях реального процесу функціонування системи, яку досліджують, динамічної взаємної обумовленості поточних і наступних подій, комплексного взаємозв'язку між параметрами і показниками ефективності системи тощо. Хоч імітаційні моделі в деяких випадках не такі лаконічні, як аналітичні, проте вони можуть бути як завгодно близькими до системи, яку моделюють, і простими у використанні. Це дає змогу застосовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності, враховуючи в моделях навіть ті чинники, які важко формалізувати, а також використовувати головні принципи системного підходу для розв'язування практичних задач.

Для вирішення питання визначення кількості сил та засобів ПРП, а також місць їх дислокації із застосуванням імітаційного моделювання використовуються комп'ютерні імітаційні системи (КІС).

Згідно [4] перша версія імітаційної системи з'явилася в 1984 році і була реалізована на «великій» електронно-обчислювальній машині – ЕС-1035. Імітаційна система була адаптована до умов ПРП Москви і Санкт-Петербурга. В 1987 році на базі цієї системи був розроблений проект розвитку ПРП Санкт-Петербурга до 2005 року. Складність експлуатації системи, відсутність графічного супроводу модельованих процесів, обмежений інтерфейс робили неможливим її широке використання.

Наступна версія інформаційної системи була розроблена на базі вітчизняних персональних електронно-обчислювальних машин АГАТ-7. Через обмежені можливості тогочасних персональних електронно-обчислювальних машин (невеликі пам'ять і швидкодія) інформаційні системи були в основному придатні для дослідження і експертизи діяльності ПРП в невеликих містах до 300 тис. мешканців і в учбовому процесі. За допомогою цієї КІС в 1990 році був розроблений проект розвитку ПРП м. Орськ.

Згідно [1] в США роботи над розробкою КІС були не закінчені і завершені в 70-х роках).

В Росії наприкінці 80-х років були створені КІС «ТИГРИС» і «КІС КОСМАС», які функціонують і до сьогодні.

Згідно [9] КІС «ТИГРИС» (по рус. Тренажор, Игра, Исследование) призначена для імітації діяльності ПРП міста, що дозволяє, задаючи (змінюючи) ті або інші параметри моделі, спостерігати і аналізувати наслідки (позитивні чи негативні) проведених вимірів. Багатократні повторювання 3-х етапного процесу «зміна параметру» - «проведення сеансу моделювання» - «аналіз наслідків зміни параметра» дають можливість отримувати кількісну і якісну оцінку ступеня впливу конкретного параметра на діяльність ПРП міста.

В роботі [1] вказано, що для забезпечення КІС «КОСМАС» необхідною об'єктивною інформацією в кінці 90-х років була створена спеціальна комп'ютерна система «СТРЕС» (статистика роботи екстрених служб), призначена для автоматизованої обробки і аналізу статистичних даних, отриманих в процесі функціонування ПРП та даних, які містяться в базах даних відповідних АСУ.

За допомогою програми «СТРЕС» здійснюється, по-перше, підготовка вихідних даних для КІС «КОСМАС», по-друге, подальша обробка результатів імітаційного моделювання, виконаного «КОСМАС», що дозволяє, перевірити ступінь їх адекватності. По суті «СТРЕС» являється підсистемою КІС «КОСМАС».

Необхідно підкреслити, що в основі імітаційних моделей, використовуваних в КІС «КОСМАС», лежать всі аналітичні моделі процесу функціонування ПРП, отримані в 60-70 роки. Аналітичні моделі, в свою чергу, спираються на статистичні закономірності, виявлені в процесах функціонування ПРП приблизно 1000 міст світу.

У роботі [11] надано загальний опис КІС «КОСМАС». В КІС «КОСМАС» місто представлено у вигляді графа вуличної мережі і безперервного простору заданої конфігурації, на якому задані місця дислокації різних міських об'єктів, лікарень, ПРП, райони їх обслуговування, техніка розміщена в кожному ПРП і т.д.

Вулична мережа в КІС представлена у «векторному» вигляді. В якості «вузлів» транспортної мережі розглядаються кінці відрізків різної довжини, із яких складається вулична мережа (в тому числі перехрестя, тобто місця перетинання окремих відрізків). Кожному відрізку може бути присвоєна своя швидкість руху (швидкість може змінюватися в залежності від часу доби), напрямку руху і можливості повороту в ту, або іншу сторону. В якості базового алгоритму пошуку оптимальних маршрутів і транспортної мережі використовується алгоритм Дейкстри, який був модернізований для підвищення швидкодії моделювання.

В процесі імітації «КОСМАС» вирішує широкий спектр практично важливих задач. Так, наприклад, варіюючи число пунктів дислокації ПРП, місця їх дислокації, кількість і типи розміщеної в них техніки, межі зон обслуговування, варіанти диспетчеризації, швидкості руху оперативно-рятувальних автомобілів в різних частинах міста, щільність потоку викликів в цілому по місту і в окремих його районах і т.д., можна отримувати будь-які характеристики процесів функціонування ПРП і обирати найбільш раціональні і економічні варіанти їх організаційних структур.

При проектуванні ПРП міст виникає додаткова група ризиків. Наприклад в момент надходження чергового виклику в місті можуть бути зайнятими всі підрозділи даного типу (або значна їх кількість) так, що завчасне прибуття необхідних сил та засобів до місця виклику може стати неможливим. Подібні ситуації можуть суттєво ускладнити процес функціонування ПРП, зробити його недостатньо ефективним. Всіма такими ризиками можна управляти за допомогою КІС «КОСМАС», зводячи їх значення до допустимих рівнів.

У роботі [13] надана характеристика імітаційних систем «КОСМАС» і «ТИГРИС». Імітаційні системи «КОСМАС» і «ТИГРИС» добре доповнюють одне одного, але мають різне призначення. Якщо «КОСМАС» найбільш зручний для проведення експертизи діяльності екстрених служб міста і розробки проектів їх реорганізації, то «ТИГРИС» доцільно використовувати для навчання і тренінгу персоналу цих служб. При цьому за допомогою «ТИГРИС» можна моделювати різноманітні надзвичайні ситуації, які виникають в місті, і детально аналізувати реакцію на них різних оперативних підрозділів.

Висновки. Досліджені основні методи та принципи проектування ПРП. Найбільш перспективними є методи імітаційного моделювання, які дозволяють більш широко досліджувати показники функціонування ПРП та на основі проведення досліджень пов'язаних зі зміною параметрів імітаційної моделі, обирати оптимальні показники чисельності сил та засобів, а також місця їх дислокації.

Перспективи подальших досліджень. В подальшому планується розробка КІС для міста Харкова і проведення дослідів пов'язаних з визначенням необхідної кількості та параметрів ПРП для їх адекватного реагування на надзвичайні ситуації, які можуть виникнути.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожары в России и в мире. Статистика, анализ, прогнозы / [Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Коломиец Ю.О., Лупанов С.А., Соколов С.В.]; под ред. Н.Н. Брушлинского – М.: Академия ГПС, 2002. – 158 с.
2. Моделювання деяких параметрів системи протипожежного захисту великих міст : [Електронний ресурс] / В. О. Росоха, В. Г. Палюх, В. М. Комяк, А. Г. Коссе. – Х.: 2005. – 110 с. – Режим доступу: <http://univer.nuczu.edu.ua/rus/mbank/>
3. Алехин Е.М. Разработка компьютерной имитационной системы для проектирования и экспертизы деятельности противопожарных служб городов: дис. на

соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10/ Алехин Евгений Михайлович – М., 1998. – 143 с.

4. Соколов С.В. Методологические основы разработки и использования компьютерных имитационных систем для исследования деятельности и проектирования аварийно-спасательных служб в городах: дис. на соискания уч. степени доктора тех. наук: 05.13.10/ Соколов Сергей Викторович – М., 1999. – 298 с.

5. Климкин В.И. Совершенствование организации и управления оперативной деятельностью пожарных подразделений города Москвы на основе применения технологий имитационного моделирования: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10/ Климкин Виктор Иванович – М., 2005. – 141 с.

6. Белов В.А. Проектирование гарнизонов пожарной охраны на основе технологий имитационного моделирования: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10/ Белов Виктор Александрович – М., 2010. – 149 с.

7. Бутырин О.В. Технология оценивания эффективности функционирования системы обеспечения пожарной безопасности промышленных предприятий/ О.В. Бутырин, А.В. Абаев. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 132 с.

8. ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116.

9. Постанова КМУ від 27.11.2013 року №874 «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-п>

10. СНиП II-89-80 «Генеральні плани промислових підприємств» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://profidom.com.ua/b-2/b-2-1/1182-snip-ii-89-80-generalnyje-plany-promyshlennyh-predpriyatij>

11. Федеральный закон от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

12. Приказ МЧС РФ от 25 марта 2009 года №181 «Об утверждении свода правил «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения».

13. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: [Практикум] / Жерновий Ю.В. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. – 307 с.

УДК 614.843/083

О. М. Ларін, д. т. н., проф., Г. О. Чернобай, к. т. н., доц., С. Ю. Назаренко,
Національний університет цивільного захисту України

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПІРНОГО ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ТИПУ «Т» ІЗ ВНУТРІШНІМ ДІАМЕТРОМ 51 ММ ПРИ ПОЗДОВЖНІХ ДЕФОРМАЦІЯХ

Розглядаються методика і результати визначення дисипативних властивостей напірного пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм при поздовжніх деформаціях

Ключові слова: Рукав, напірний пожежний рукав, робочий тиск, випробування, жорсткість, гістерезис, дисипативні властивості

Постановка проблеми. Напірні пожежні рукава є гнучкими трубопроводами, які використовуються для подання на відстань під тиском води і водних розчинів вогнегасних речовин, зокрема піноутворювачів.

Напірні рукава, разом з іншим пожежним устаткуванням, є одним із основних видів пожежного озброєння і від їх справного стану багато в чому залежить успішне гасіння пожеж.

Значна вартість пожежних рукавів визначає відповідні амортизаційні витрати по експлуатації рукавного господарства, які в більшості випадків перевищують витрати на інші види пожежного устаткування.

Таким чином заходи, що спрямовані на визначення залишкового ресурсу пожежних рукавів, можливості їх ремонту, надійності і безпечності подальшої експлуатації, в значній мірі сприяють підвищенню боєздатності пожежних частин, а також економічній ефективності їх функціонування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Конструкція пожежних рукавів, їх типорозміри і характеристики, галузі застосування, умови експлуатації та методи випробувань наведені у відповідних нормативних документах [1].

Аналіз літературних джерел присвячених методам розрахунків напірних пожежних рукавів показав, що вони здебільшого зводяться до розрахунку втрат тиску в мережі [2 – 5].

Результати теоретичних і експериментальних досліджень міцності силових елементів напірних пожежних рукавів, а саме армуючого каркасу, який повністю сприймає зусилля, що обумовлені наявністю гідравлічної дії внутрішнього тиску рідини усередині рукава, котрі наведені в роботах [6 – 9], використовуються при розрахунках нових перспективних типів пожежних рукавів і не враховують суттєвих змін в їх структурі та характеристиках, що безумовно відбуваються в процесі реальної експлуатації.

Таким чином, аналіз літературних джерел показав актуальність теоретичних розробок розрахункових методів та доцільність експериментальних досліджень, які спрямовані на визначення залишкового ресурсу пожежних рукавів та надійності їх подальшої експлуатації,

Постановка задачі та її вирішення. Деякі особливості роботи пожежних рукавів в умовах реальної експлуатації, які суттєво впливають на їх надійність, особливо при тривалих термінах використання, визначили необхідність розробки науково-обґрунтованого методу, який дозволяє установити остаточний ресурс пожежного рукава, можливість та доцільність його ремонту і подальшого застосування.

Методика проведення відповідних випробувань [10, 11] дозволяє визначити окрім поздовжньої жорсткості напірного пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм і його дисипативні властивості.

Для проведення відповідних робіт було використано дослідну установку, схема якої наведено на рисунку 1. Установка була змонтована в лабораторії кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України.



Рисунок 1 – Дослідна установка із встановленим фрагментом пожежного рукава типу «Т» з внутрішнім діаметром 51 мм.

Дослідний фрагмент пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм і випробувальною довжиною $L_0 = 2,270$ м, було закріплено у вертикальному положенні відповідними пристроями і проведено цикл випробувань з його навантаження.

Навантаження проводилось згідно даних табл. 1.

Таблиця 1 – Зосереджені маси для навантаження рукава

№ з/п	Маса вантажу, кг	Вага, Н	Примітка
1	25,82	253,3	Початкова довжина фрагменту пожежного рукава $L_0 = 2,270$ м. Інтервал між навантаженнями склав дві хвилини.
2	24,26	238,0	
3	21,68	212,7	
4	22,76	223,2	
5	22,22	218,0	

Після кожного навантаження проводилась обов'язкова фіксація відповідного подовження зразка (ΔL).

Початковий (№1) цикл навантаження проводився з недеформованим фрагментом пожежного рукава довжиною $L_0 = 2,270$ м. Максимальна величина деформації становила $\Delta L_1^{\max} = 103 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{\max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_1^{\max} = \frac{\Delta L_1^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{103 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 4,54 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta L_1^{\text{зал}} = 22 \cdot 10^{-3}$ м.

Відповідно при повторному навантаженні (цикл № 2), яке було проведено через дві хвилини після першого, фрагмент мав випробувальну довжину 2,292 м, максимальна величина деформації становила $\Delta L_2^{\max} = 84,0 \cdot 10^{-3}$ м, при навантаженні $F^{\max} = 1145,2$ Н, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_2^{\max} = \frac{\Delta L_2^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{84 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,7 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta L_2^{\text{зал}} = 13,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Відповідно при третьому навантаженні (цикл № 3), яке було проведено через дві хвилини після другого, фрагмент мав випробувальну довжину 2,305 м, максимальна величина деформації становила $\Delta L_3^{\max} = 71,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при навантаженні $F^{\max} = 1145,2 \text{ Н}$, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_3^{\max} = \frac{\Delta L_3^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{71 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,13 \%$$

Після розвантаження залишкова деформація фрагменту становила $\Delta L_3^{\text{зал}} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Числові параметри наступних трьох режимів навантаження (цикли № 4–7), які було проведено з аналогічними двохвилинними інтервалами, практично не відрізняються один від одного, що дозволило усереднити отримані значення. Їх максимальна величина деформації становила $\Delta L_{4-7}^{\max} = 69,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, при навантаженні $F^{\max} = 1145,2 \text{ Н}$, тобто максимальна відносна деформація становила

$$\varepsilon_{4-7}^{\max} = \frac{\Delta L_{4-7}^{\max}}{L_0} 100\% = \frac{69 \cdot 10^{-3}}{2,270} 100\% = 3,04 \%$$

Залишкова деформація фрагменту після розвантаження становила $\Delta L_{4-7}^{\text{зал}} = (1 \div 3) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ і протягом однієї-двох хвилин зникала, тобто можна вважати $\Delta L_{4-7}^{\text{зал}} \approx 0 \text{ м}$

Таким чином діапазон відносних деформацій при випробуваннях фрагменту пожежного рукава становив від 0 до 4,54%. Результати випробувань наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати випробувань

Навантаження, <i>H</i>	Деформація, мм							
	Цикл № 1		Цикл № 2		Цикл № 3		Цикли № 4-7	
	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.	Навантаж.	Розвантаж.
0	0	22	0	13	0	4	0	1,750
253,3	32	61	28	50	24	41	22,25	35,25
491,3	52	81	45	63	38	52	35,25	47,75
704,0	72	91	61	73	51	61	46,25	55,75
927,2	85	96	70	78	60	66	55,25	60,50
1145,2	103	103	84	84	71	71	67,00	67,00

Графіки, які відповідають результатам випробувань наведені на рисунках 2 – 5, де для зручності наступних розрахунків залишкові деформації не враховані.

Графіки на рисунку 2 відповідають початковому циклу № 1 навантаження - розвантаження недеформованого фрагменту пожежного рукава.

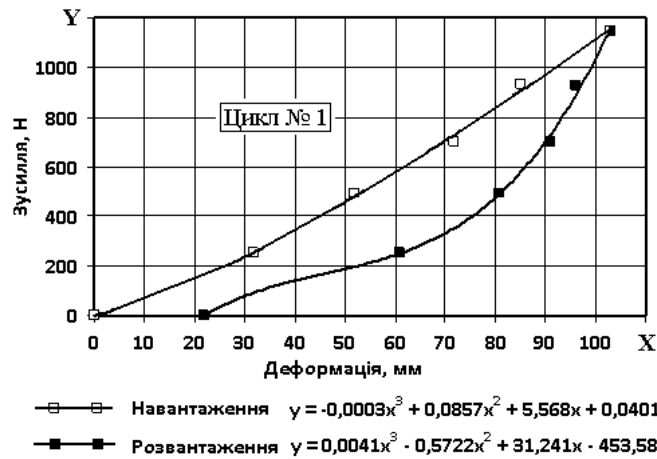


Рисунок 2 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 1

Графіки на рисунку 3 відповідають циклу № 2, який проведено через дві хвилини після першого.

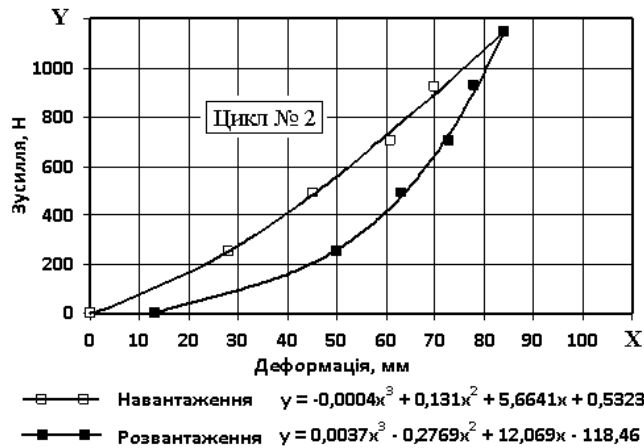


Рисунок 3 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 2.

Графіки на рисунку 4 відповідають циклу № 3, який проведено через дві хвилини після першого.

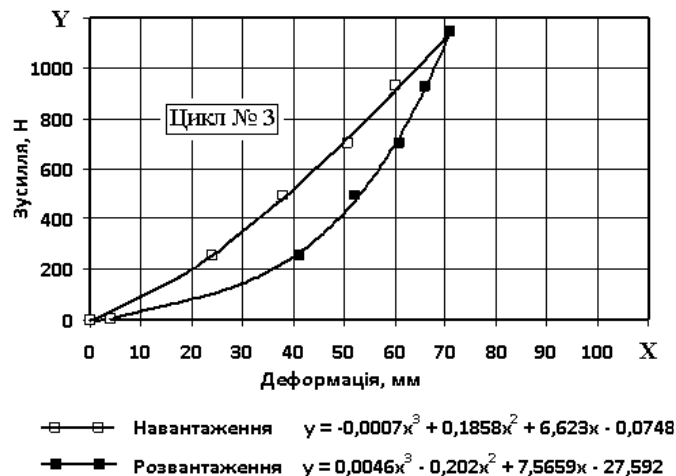


Рисунок 4 – Графіки циклу навантаження – розвантаження № 3.

Графіки на рисунку 5 відповідають наступним трьом режимам навантаження - розвантаження, які проведені з аналогічними часовими інтервалами і практично не відрізняються один від одного за числовими параметрами, що дозволило усереднити їх значення.

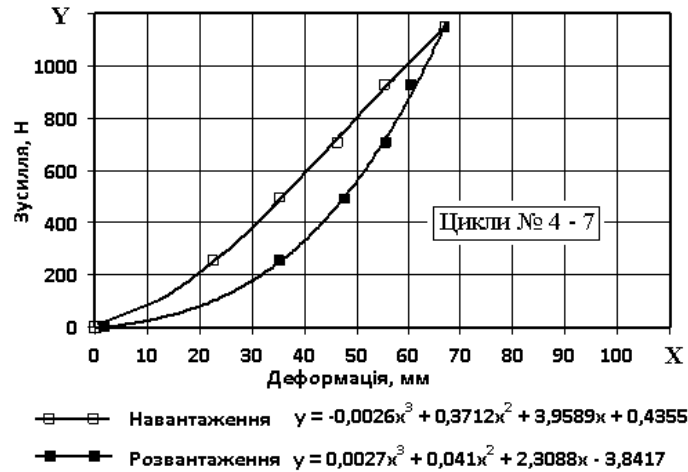


Рисунок 5 – Графіки циклів навантаження - розвантаження № 4 – 7.

Енергія (A_D), що накопичена в зразку і яка відповідає дисипативним властивостям матеріалу фрагменту пожежного рукава, визначається площею петлі гістерезису як різниця робіт, витрачених при навантаженні (A_H) і наступному розвантаженні (A_P) зразка

$$A_D = A_H - A_P = \int_{\Delta\ell_{HP}}^{\Delta\ell_{HK}} F_H(\Delta\ell) d(\Delta\ell) - \int_{\Delta\ell_{PP}}^{\Delta\ell_{PK}} F_P(\Delta\ell) d(\Delta\ell), \quad (1)$$

- де: $F_H(\Delta\ell)$ - рівняння залежності діючої сили від деформації зразка при його навантаженні;
- $F_P(\Delta\ell)$ - рівняння залежності діючої сили від деформації зразка при його розвантаженні;
- $\Delta\ell_{HP}$ - нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження;
- $\Delta\ell_{HK}$ - верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження;
- $\Delta\ell_{PP}$ - нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження;
- $\Delta\ell_{PK}$ - верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

Якщо прийняти позначення графіків (рис. 2 - 5), де результати експериментальних досліджень (табл. 1) апроксимовані засобами Microsoft Word відповідними поліномами трендів, то рівняння (1) матиме вид

$$A_D = A_H - A_P = \int_{X_{HP}}^{X_{HK}} Y_H(X) dX - \int_{X_{PP}}^{X_{PK}} Y_P(X) dX, \quad (2)$$

- де: $Y_H(X)$ - рівняння (поліном) залежності діючої сили від деформації зразка при його навантаженні;
- $Y_P(X)$ - рівняння (поліном) залежності діючої сили від деформації зразка при його розвантаженні;
- X_{HP} - нижня межа інтегрування, що відповідає початковій точці навантаження;

X_{HK} - верхня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці навантаження;
 X_{PI} - нижня межа інтегрування, що відповідає кінцевій точці розвантаження;
 X_{PK} - верхня межа інтегрування, що відповідає початковій точці розвантаження.

При цьому розмірності значень уздовж координати X в мм, а уздовж координати Y в H , що визначає розмірність енергії в Hmm .

Для подальших розрахунків дисипативні властивості пожежного рукава доцільно визначити безрозмірним співвідношенням

$$\beta = \frac{A_D}{A_H} . \quad (3)$$

При першому циклі випробувань (рис. 2) експериментальні результати апроксимовані залежностями:

- при навантаженні $Y_{H1}(X) = -0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401$;
- при розвантаженні $Y_{P1}(X) = 0,0041X^3 - 0,5722X^2 + 31,241X - 453,58$.

Відповідно, енергія навантаження першого циклу становить:

$$A_{H1} = \int_0^{103} (-0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401) dX = 52313,8 \text{ Hmm} \cong 52,31 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{D1} = A_{H1} - A_{P1} = \int_0^{103} (-0,0003X^3 + 0,0857X^2 + 5,568X + 0,0401) dX - \int_{22}^{103} (0,0041X^3 - 0,5722X^2 + 31,241X - 453,58) dX = 22160 \text{ Hmm} = 22,16 \text{ Дж},$$

звідки
$$\beta_1 = \frac{A_{D1}}{A_{H1}} = \frac{22,16}{52,31} = 0,424.$$

Аналогічно при другому циклі випробувань (рис. 3):

- при навантаженні $Y_{H2}(X) = -0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323$;
- при розвантаженні $Y_{P2}(X) = 0,0037X^3 - 0,2769X^2 + 12,069X - 118,46$.

Відповідно, енергія навантаження другого циклу становить:

$$A_{H2} = \int_0^{84} (-0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323) dX = 40930,35 \text{ Hmm} \cong 40,93 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д2} = A_{H2} - A_{P2} = \int_0^{84} (-0,0004X^3 + 0,131X^2 + 5,6641X + 0,5323) dX - \\ - \int_{13}^{84} (0,0037X^3 - 0,2769X^2 + 12,069X - 118,46) dX = 16258,54 \text{ Нмм} \cong 16,26 \text{ Дж},$$

звідки
$$\beta_2 = \frac{A_{Д2}}{A_{H2}} = \frac{16,26}{40,93} = 0,397.$$

Аналогічно при третьому циклі випробувань (рис. 4):

– при навантаженні $Y_{H3}(X) = -0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748;$

– при розвантаженні $Y_{P3}(X) = 0,0046X^3 - 0,202X^2 + 7,5659X - 27,592.$

Відповідно, енергія навантаження третього циклу становить:

$$A_{H3} = \int_0^{71} (-0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748) dX = 34407,5 \text{ Нмм} \cong 34,41 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д3} = A_{H3} - A_{P3} = \int_0^{71} (-0,0007X^3 + 0,1858X^2 + 6,623X - 0,0748) dX - \\ - \int_4^{71} (0,0046X^3 - 0,202X^2 + 7,5659X - 27,592) dX = 12120 \text{ Нмм} = 12,12 \text{ Дж},$$

звідки
$$\beta_3 = \frac{A_{Д3}}{A_{H3}} = \frac{12,12}{34,41} = 0,352.$$

При четвертому - сьомому циклах випробувань (рис. 5) усереднені експериментальні результати апроксимовані залежностями:

– при навантаженні $Y_{H4-7}(X) = -0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355;$

– при розвантаженні $Y_{P4-7}(X) = 0,0027X^3 + 0,041X^2 + 2,3088X - 3,8417.$

Відповідно, енергія навантаження на четвертому - сьомому циклах випробувань становить:

$$A_{H4-7} = \int_0^{67} (-0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355) dX = 33031,11 \text{ Нмм} \cong 33,03 \text{ Дж}.$$

Енергія гістерезису становить:

$$A_{Д4-7} = A_{Н4-7} - A_{Р4-7} = \int_0^{67} (-0,0026X^3 + 0,3712X^2 + 3,9589X + 0,4355) dX - \\ - \int_{1,75}^{67} (0,0027X^3 + 0,041X^2 + 2,3088X - 3,8417) dX = 10391 \text{ Нмм} = 10,39 \text{ Дж},$$

звідки
$$\beta_{4-7} = \frac{A_{Д4-7}}{A_{Н4-7}} = \frac{10,39}{33,03} = 0,315.$$

Висновки. Для наступних теоретичних та експериментальних робіт з розрахунку залишкового ресурсу пожежних рукавів проведено визначення їх дисипативних властивостей в умовах статичних циклів навантаження-розвантаження.

Дослідження визначили суттєву залежність характеристик пожежного рукава типу «Т» із внутрішнім діаметром 51 мм від «історії» його навантаження (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати розрахунків

Характеристика	Позначення	Цикл № 1	Цикл № 2	Цикл № 3	Цикли № 4-7
Максимальне навантаження	F^{\max} , Н	1145,2	1145,2	1145,2	1145,2
Максимальна деформація	ΔL^{\max} , мм	103	84	71	69
Максимальна відносна деформація	ε^{\max} , %	4,54	3,7	3,13	3,04
Залишкова деформація	$\Delta L^{\text{зал}}$, мм	12	13	4	1,75
Коефіцієнт дисипації	β	0,424	0,397	0,352	0,315

При однаковому навантаженні (1145,2 Н), прикладеному до фрагменту пожежного рукава при першому, другому та третьому циклах випробувань його характеристики значно змінювались і лише потім (4 – 7 цикли) відбувалась їх стабілізація. Приведена поздовжня жорсткість рукава стабілізувалась [10] на рівні 38,79 кН/м, коефіцієнт дисипації - 0,315, при відносній деформації – 3,04 %.

Значний початковий гістерезис фрагменту пожежного рукава (цикл № 1) при наступних випробуваннях (цикли № 2-7) зменшується, що разом із зменшенням залишкових деформацій та стабілізацією поздовжньої жорсткості, наближає поведінку матеріалу до пружного.

Зміна властивостей матеріалу пожежного рукава при послідовних циклах деформацій навантаження–розвантаження є зворотною, проміжки між циклами деформування призводять до часткового відновлення механічних характеристик, наближуючи їх до початкових значень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови. ДСТУ 3810–98. [Чинний від 2005-05-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 1998. — XII, 32 с. — (Національний стандарт України).
2. Безбородько, М.Д. Пожарная техника /М.Д. Безбородько, П.П. Алексеев, Б.А. Максимов – М.: ВИПТШ, 1979. – 435 с.
3. Иванов, Е.Н. Противопожарное водоснабжение / Е.Н. Иванов –М.: Стройиздат, 1986. – 315с.

4. Качалов, А.А. Противопожарное водоснабжение /А.А. Качалов, Ю.П. Воротынцев, А.В. Власов – М.: Стройиздат, 1985. – 286 с.
5. Щербина, Я.Я. Основы противопожарной техники / Я.Я. Щербина – Киев, Вища школа, 1977. – 234 с.
6. Бидерман, В.Л. Механика тонкостенных конструкций /В.Л. Бидерман –М.: Машиностроение, 1977. –488с.
7. Светлицкий, В.А. Механика трубопроводов и шлангов В.А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
8. Моторин, Л.В. Математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. 2010. – №8 – С. 103 – 109.
9. Моторин, Л.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии /Л.В. Моторин, О.С. Степанов, Е.В. Братолобова // Изв. вузов. Технология текст. пром–сти. –2011. –№.1 – С. 126 – 133.
10. О.М. Ларін Визначення поздовжньої жорсткості пожежного рукава типу «Г» діаметром 51 мм / Ларін О.М., Чернобай Г.О., Назаренко С.Ю.// Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2015. - № 37. – С. 135-141
11. Назаренко С.Ю. Визначення механічних властивостей пожежного рукава типу «Г» діаметром 77 мм / Назаренко С.Ю. // Проблеми пожежної безпеки: збірник наукових праць. – Харків: НУЦЗУ, 2014. - № 36. – С. 174-179

УДК 614. 841

Т. В. Магльована, к. х. н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСІВ МЕТАЛІВ ІЗ СОЛЯМИ ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИНУ

Показано, що перспективними компонентами інгібіторів корозії пожежно-технічного обладнання є катіонні поліелектроліти, які крім здатності до інгібування процесів корозії металів і солевідкладення володіють біоцидними властивостями. Дія інгібіторів пов'язується з їх електростатичною взаємодією з поверхнею металу або з утворенням донорно-акцепторних комплексів. При виборі інгібітору враховано, що полігексаметиленгуанідин є екологічно чистою речовиною.

Ключові слова: вода, інгібітор, корозія, полімери, полігексаметиленгуанідин фосфат, морська вода.

Постановка проблеми. Корозія пожежно-технічного обладнання є складним електрохімічним та фізико-хімічним процесом, що відбувається на поверхні металу і залежить від корозійних властивостей води, які не завжди можуть бути усунені, але зазвичай можуть контролюватися економічно доцільними способами.

Корозійна активність води залежить від таких факторів як температура, тиск, швидкість руху води, наявність у воді мулу, твердих часток, загальна твердість, рН розчину, концентрація розчинених газів, перш за все O_2 , H_2S , SO_2 , CO_2 , концентрація хлоридів, карбонатів, сульфатів, особливо це стосується морської води, де вміст солей складає приблизно 3,7%. В найбільшій кількості приблизно 78%, в морській воді міститься $NaCl$. Інша частина це солі $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, KCl , $CaCO_3$, $MgBr_2$, тому в морській воді реалізуються усі відомі типи корозії [1,2]. Контактна корозія – від неправильного підбору матеріалів. Часті випадки щільової корозії у зазорах, під прокладками, шайбами. Висока концентрація хлорид-іонів обумовлює пітингову та язвену корозію. При підвищенні температури в умовах пожежі може відбуватися корозійне розтріскування. Дія морської води призводить до зниження корозійно-механічної міцності, особливо при наявності H_2S [3].

Таким чином під час гасіння пожеж, особливо морською водою, пожежно-технічне обладнання піддається корозії та швидко виходить з ладу, що унеможливує його подальшу експлуатацію. Інгібітори корозії припиняють і зводять до мінімуму агресивність основи або продуктів розкладу по відношенню до гідросистем пожежно-технічного обладнання. Широко поширеними інгібіторами корозії є натрієві солі нафтових сульфокислот, ефіри нафтоених кислот або кислот, що отримані окисненням парафіну, а також солі різних кислот до складу яких входять токсичні метали [4-5]. Однак підвищення вимог екологічної безпеки обмежує застосування багатьох інгібіторів або їх сумішей. У той же час, розробка та впровадження спеціально синтезованих інгібіторів пов'язана з високою вартістю дрібносерійного випуску та складністю налагодження їх промислового виробництва. У зв'язку з цим актуальним є питання вивчення інгібіторів корозії, пожежно-технічного обладнання, що відрізняються не тільки простотою отримання та ефективністю інгібування в умовах періодичної конденсації вологи, але й екологічною безпекою.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Останніми роками при розробці інгібіторів корозії значна увага приділяється пошуку і застосуванню сировини, здатної при введенні в агресивне середовище утворювати комплекси з перехідними металами, які є в електроліті або на поверхні металу що захищається. Це обумовлено тим, що такі сполуки мають підвищену здатність до взаємодії з металевою поверхнею і активними частками корозійних середовищ, внаслідок чого при правильному підборі рецептури інгібітору може бути

забезпечена його висока адсорбційна активність і схильність до зниження або блокування тих функцій часток середовища, які викликають корозію металу.

Перспективними компонентами промислових інгібіторів корозії є катіонні поліелектроліти, які крім здатності до інгібування процесів корозії металів і солевідкладення володіють біоцидними властивостями. Найбільш поширеною сполукою цього типу є полігексаметиленгуанідин [6-9].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи було вивчення інгібуючих властивостей полігексаметиленгуанідину (ПГМГ) з використанням зразків сталі Ст.3 в модельній воді з масовою часткою NaCl 1,8 %. Дослідження інгібуючих властивостей ПГМГ проводили гравіметрично та методом поляризаційного опору.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

В силу полімерної природи, гуанідинові полімери не мають інгаляційної токсичності. Мають біоцидну дію по відношенню до багатьох мікроорганізмів та відносяться до IV класу токсичності (малонебезпечні речовини) [10]. Біоцидні властивості ПГМГ обумовлені гуанідиновими групами в ланках його полімерного ланцюга. Такі групи входять до складу багатьох природних сполук (незамінна амінокислота аргінін, нуклеїнові кислоти, білки) та синтетичних лікарських засобів [10].

Полімер добре зберігається в часі – не деструктує, його розчини не мають запаху та кольору, не агресивні по відношенню до матеріалів різної природи. Поліалкіленгуанідини є речовинами, що нормально біорозкладаються та, будучи катіонними поліелектролітами, ефективно сорбуються забруднювачами води, що мають найчастіше аніонну природу. Процеси біодеструкції суттєво прискорюються після переміщення у донний шар, про що свідчить зниження на 80 % вмісту гуанідинових сполук вже після першого переміщення через шар «активного мулу». Тобто, застосування ПГМГ в якості водної вогнегасної речовини не призведе до порушення екології та забруднення навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Проблема боротьби з мікроорганізмами, які викликають біодеструкцію матеріалів та біообростання обладнання, яке працює в постійному контакті з водою, залишається актуальною. Для цієї мети запропонована досить велика кількість біоцидних препаратів, які є достатньо ефективними, але небезпечними для живих організмів, оскільки до їхнього складу входять токсичні сполуки міді, кадмію, олова, свинцю, миш'яку, хлору. Перспективними в цьому напрямку є біоцидні препарати високомолекулярні сполуки гуанідинового ряду - солі полігексаметиленгуанідину (ПГМГ). Солі ПГМГ використовуються для підвищення вогнегасної ефективності води при гасінні пожеж класу А,В [11-14], тому важливим було дослідити можливість їх використання в якості інгібіторів корозії пожежно-технічного обладнання, що постійно працює в контакті з водою.

Солі ПГМГ можуть утворювати малорозчинні фазові плівки комплексних сполук з катіонами металів, які піддаються корозії. Здатність полігексаметиленгуанідину утворювати малорозчинні комплексні сполуки з катіонами металів, зокрема з катіонами заліза [15-16], дає підстави для припущення про можливе застосування його як інгібітора корозії металів та можливості використання у пожежній охороні для захисту пожежно-технічного обладнання.

Водний розчин полігексаметиленгуанідин фосфату (ПГМГФ) з масовою часткою 10% готували розчиненням відповідної точної наважки в дистильованій воді. Для цього 30г сухого хлориду ПГМГ вносили в мірний стакан на 500 см³. Додавали 300 см³ дистильованої води, залишали стояти протягом 24 години при температурі 25±5⁰С, після цього розчин готовий до використання.

Робочі розчини ПГМГ готували із робочого розчину розведенням модельною водою з масовою часткою NaCl 1,8 %.

Для проведення експериментів брали сталь 3, яка містить відносно невелику кількість домішок і тому є зразковим матеріалом для проведення корозійних вимірювань.

Визначення ефективності інгібуючої дії ПГМГ проводили методом поляризаційного опору на датчиках з двома циліндричними електродами загальною площею поверхні 12см².

Поверхню електродів перед випробуваннями зачищали наждачним папером середньої зернистості SICP 180.

Корозійну здатність середовища визначали величиною швидкості корозії металу, що вимірюється в корозійно – індикаторній установці УК-2 методом поляризаційного опору. Прилад автоматично перераховує виміряне значення поляризаційного опору у величину швидкості корозії зі встановленим коефіцієнтом перерахунку, забезпечений цифровим індикатором відліку швидкості корозії (мм/рік) або поляризаційного опору (Ом).

Корозійні випробування проводили на протязі 3-28 годин при кімнатній температурі, без перемішування розчинів. Перевагою методу поляризаційного опору є можливість дослідження зміни миттєвих значень швидкості корозії в часі по зворотно пропорційній залежності $I_p = K/R_p$, враховуючи коефіцієнт перерахунку $K=100$ Оммм/год.

Із літератури відомо [17, 18], що функціональні групи ПГМГ по різному взаємодіють з неорганічними йонами, утворюючи комплексні сполуки типу хелатів або полімерні солі, які можуть випадати в осад. Адсорбція ПГМГ на межі метал-розчин пов'язана з утворенням малорозчинних сполук на поверхні металу як за рахунок взаємодії ПГМГ з продуктами корозії (сталі $-Fe^{2+}$, Fe^{3+} і цинку Zn^{2+}) так і за рахунок катіонів солей жорсткості (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Іншою причиною може бути утворення поверхневих комплексів з тими ж катіонами. Крім того, безпосередній вплив має адсорбція полімеру на поверхні і фактори, що впливають на адсорбцію.

Дослідження зміни поляризаційного опору сталі 3 у модельній воді показало, що часова залежність носить монотонно зростаючий характер рис.1.

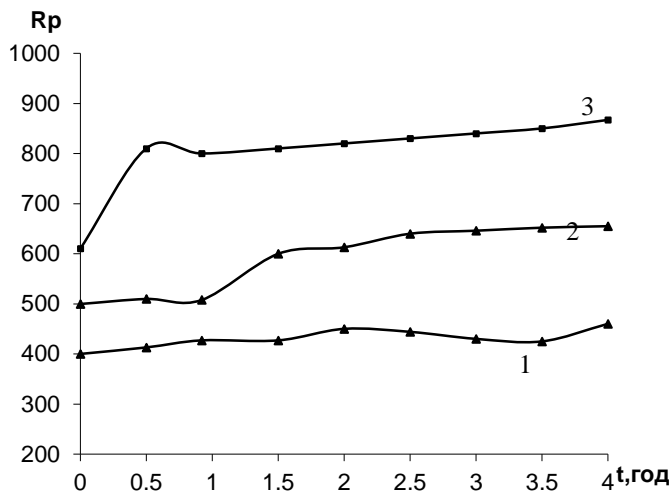


Рисунок 1 – Залежність поляризаційного опору для сталі 3 в досліджуваній воді з різною масовою часткою ПГМГФ (%) 1- 0, 2- 3, 3-6, масова частка NaCl - 1,8 %, J_0 7,5 мг-екв/дм³

При цьому в перші години дослідження R_p росте швидше, далі значення R_p стабілізується, і швидкість корозії залишається практично постійною. Як видно із рис. 1 найбільш ефективною інгібіторною дією володіють розчини ПГМГФ з масовою часткою 6%, про що свідчить збільшення R_p майже в два рази в порівнянні з вихідною водою, коефіцієнт уповільнення корозії при цій концентрації полімеру складає $\gamma=1,64$.

Таблиця 1 – Швидкість корозії сталі 3

Середовище	Значення швидкості корозії за 4 години мм/год	Значення швидкості корозії за 28 години мм/год	Коефіцієнт уповільнення корозії, γ
Модельна вода $\omega(NaCl)$ - 1,8 %, J_0 7,5 мг-екв/дм ³	0,153	0,156	-

Модельна вода ω(NaCl) - 1,8 %, Ж ₀ 7,5 мг-екв/дм ³ + 3% ПГМГФ	0,14	0,142	1,1
Модельна вода ω(NaCl) - 1,8 %, Ж ₀ 7,5 мг-екв/дм ³ + 6% ПГМГФ	0,1	0,095	1,64

Визначення середньої втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у досліджуваному водному розчині проводили гравіметричним методом. Середню питому швидкість втрати маси пластини (кг/(м²·с)) розраховували за формулою:

$$v = \frac{\rho}{S \cdot t}$$

де ρ - втрата маси пластини, кг; S - площа поверхні контакту пластини з розчином вогнегасної речовини, м²; t - тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, с; $t = 2592000$ с (30 діб)

Результати досліджень з визначення показника корозійної активності водної вогнегасної речовини ПГМГФ наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати досліджень з визначення показника корозійної активності 6% розчину водної вогнегасної речовини ПГМГФ

Маса пластинки до випробувань m_1 , г	Маса пластинки після випробувань m_2 , г	Втрата маси пластини $(m_1 - m_2)$, кг	Ширина пластини, мм	Довжина пластини, мм	Площа пластини s , м ²	Швидкість втрати маси кг/(м ² ·с)
22,462	22,444	$1,8 \cdot 10^{-5}$	32,3	36,5	$117,895 \cdot 10^{-5}$	$5,890 \cdot 10^{-9}$
22,898	22,881	$1,7 \cdot 10^{-5}$	32,9	37,2	$122,388 \cdot 10^{-5}$	$5,359 \cdot 10^{-9}$
29,788	29,769	$1,9 \cdot 10^{-5}$	35,8	34,7	$124,226 \cdot 10^{-5}$	$5,901 \cdot 10^{-9}$
Середнє значення						$5,717 \cdot 10^{-9}$

За даними нормативної документації показник корозійної активності водної вогнегасної речовини не повинен перевищувати $1 \cdot 10^{-8}$ кг/(м²·с) [18]. Таким чином водні розчини ПГМГФ можна використати як ефективні інгібітори пожежно-технічного обладнання.

Висновок: показано, що солі полігексаметиленгуагідинів є перспективними компонентами промислових інгібіторів корозії, які крім здатності до інгібування процесів корозії металів і солевідкладення володіють біоцидними властивостями. На прикладі ПГМГФ підтверджено доцільність підходу при виборі інгібіторів, згідно з яким органічні речовини, що вводяться як інгібітор, повинні утворювати з катіонами металів, які розчиняються, малорозчинні сполуки (у даному випадку металоорганічні сполуки, в інших — це можуть бути малорозчинні солі тощо).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Образцов В. Б. Закономерности адсорбции и ингибирующего действия полиэлектролитов / Образцов В. Б., Балиоз А. В., Данилов Ф. И. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2002. - Т. 2, № 3. - С. 669-674.
2. Ткаленко Д.А. Новые подходы к выбору ингибиторов коррозии /Д.А. Ткаленко, Ю.П. Вишневська, М.В. Бик, С.О. Кравченко// Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование. Экологически безопасные технологии: материалы научно-техн. конференции, 19-20 ноября 2008 г. – Минск, 2008. – С. 205 – 208.

3. Ингибирование коррозии стали полиэлектролитами в нейтральной среде / Образцов В. Б., Рублева Е. Д., Старов Р. Г., Амируллоева Н. В. // Вопросы химии и хим. технологии. – 2011. – № 4 (2). – С. 97–100.
4. Вишневська Ю.П. Коррозия металлов и катодное восстановление кислорода в присутствии органических ингибиторов / Ю.П. Вишневська, Д.А. Ткаленко, С.К. Позняк и др. // Вісник НТУ «ХП». – 2009. – № 29. – С. 7–12.
5. Адсорбция и ингибирующее действие полигуанидина на металлах / Образцов В. Б., Балиоз А. В., Минин В. А., Данилов Ф. И. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2001. - № 2. - С. 130-135.
6. Вплив полігексаметиленгуанідину на електрохімічну та корозійну поведінку заліза в сірчаноокислих електролітах / Ю. П. Вишневська, Т. Ю. Нижник, Д. А. Ткаленко, І. М. Астрелін // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 8. – С. 121–125.
7. Вплив природи замісників на адсорбційні та інгібіторні властивості катіоноактивних поліелектролітів / В. Образцов, Н. Аміруллоєва, О. Судак, Ф. Данилов // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2010. – № 8. – С. 423-428.
8. Закономерности адсорбции карбоксилсодержащих полигуанидинов на латуни. / Головенко В. А., Кутянина В. С., Терещук М. Н., Образцов В. Б. // Вопросы химии и хим. технологии. – 2009. – № 4. – С. 93–97.
9. Гембицкий П.А. Полимерный биоцидный препарат полигексаметиленгуанидин / П.А. Гембицкий, И.И. Воинцева // Запорожье, 1998. - 44с.
10. Жартовський В.М. Застосування полімерної поверхнево-активної речовини гуанідинового ряду з метою підвищення вогнегасних властивостей води / В.М. Жартовський, Т.В. Магльована, С.В. Жартовський // Пожежна безпека: теорія і практика. — 2012. — №12.- С. 35-40.
11. Магльована Т.В. Використання гуанідинових полімерів для поліпшення вогнегасних властивостей води / Т.В. Магльована, В.М. Кришталь // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту». Черкаси. - 2010. - С.31.
12. Маглевая Т.В. Исследование огнетушащих свойств водных растворов полимерных катионных поверхностно-активных веществ гуанидинового ряда / Т.В. Маглевая, Л.Ю Пасека // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика». Гомель. - 2011. С.273-274.
13. Нижник В.В. Обґрунтування застосування деяких водних вогнегасних речовин для систем пожежогасіння під купольних дерев'яних конструкцій культових споруд / В.В. Нижник, С.В. Жартовський, О.М. Тимошенко та ін. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010.- №2 (22). – С.131-134.
14. Нижник Т. Ю. Комплексоутворення полігексаметиленгуанідину солянокислого з іонами кобальту / Т. Ю. Нижник, В. В. Нижник, І. М. Астрелін, Н. М. Толстопалова // Вопросы химии и хим. технологи. – 2006. – № 5. – С. 142–148.
15. Вишневська Ю.П. Використання процесів комплексоутворення при захисті металів від корозійного руйнування / Ю.П. Вишневська, Д.А. Ткаленко, Ю.В. Савченко, М.В. Бик //Фізико-хімічна механіка матеріалів.– 2008. – № 7. – С. 606 – 611.
16. Образцов В. Закономірності утворення і фізико-хімічні властивості поліелектролітних комплексів як інгібіторів корозії / Образцов В., Аміруллоєва Н. Балиоз А. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2007. – № 6. - С. 35-40.
17. Полиэлектролитные комплексы - новый подход к разработке ингибиторов коррозии / Данилов Ф., Образцов В., Амируллоева Н., Данилов С., Балиоз А. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 2008.- №7. - С. 501-506.
18. Вогнегасні речовини А.В. Антонов, В.О. Боровиков, В.П. Орел, В.М. Жартовський, В.В. Ковалишин. – Київ: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.

УДК 354.404+614.84

С. П. Мосов, д. військ. н, проф.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ПОЖЕЖ І МІСЦЬ ЇХ ІМОВІРНОГО ВИНИКНЕННЯ

У статті розкрити особливості та умови застосування безпілотних літальних апаратів для дистанційного зондування пожеж і місць їх імовірного виникнення, а також висвітлені проблемні питання повітряного простору при знаходженні таких засобів у зоні гасіння пожеж

Ключові слова: пожежа, дистанційне зондування, безпілотні летальні апарати

Постановка проблеми. Останнім часом, з одного боку збільшилася різноманітність безпілотних летальних апаратів, що можуть застосовуватися для вирішення значного класу різноманітних завдань, а з іншого боку такі засоби стали більш доступні за ціною політикою. У наслідку ситуації, що склалася, збільшилися можливості для застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) в інтересах дистанційного зондування пожеж і місць їх імовірного виникнення. Разом з цим виникають проблемні питання застосування таких БПЛА під час безпосереднього гасіння пожеж. Це обумовлює необхідність дослідження та визначення особливостей та умов застосування БПЛА для дистанційного зондування наземних пожеж і місць їх імовірного виникнення, а також знаходження таких засобів у повітрі в зоні гасіння пожеж.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Досвід та особливості багатоцільового застосування БПЛА для вирішення різноманітних завдань, особливо у військовій сфері, що пов'язані з дистанційним зондуванням земної поверхні та об'єктів, що на ній знаходяться, відомі з низці монографічних і спеціальних видань [1-3].

Сфера застосування БПЛА в інтересах забезпечення пожежної безпеки, дистанційного зондування пожеж і місць їх ймовірного виникнення є досить новою не тільки для нашої держави, але й для провідних країн світу. Це пов'язано, у першу чергу, з тим, що застосування БПЛА вимагає спеціальної підготовки операторів, а також технічного супроводження під час їх експлуатації. Мають місце приклади застосування БПЛА в низці країн 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 використовують БПЛА для спостереження за пожежами з метою піару або інформування про пожежу населення шляхом викладання відеоматеріалів у соціальні мережі.

Постановка завдання та його розв'язання. Метою статті вважається визначення вимог до корисного навантаження, особливостей та умов застосування БПЛА для дистанційного зондування пожеж і місць їх ймовірного виникнення.

Виклад основного матеріалу. Науково-технічний прогрес тягне за собою разом з позитивними досягненнями виклики, ризики та небезпеки стану пожежної безпеки. Досить впливовим фактором для зміни стану пожежної безпеки вважається погіршення соціально-економічного становища суспільства, що має місце сьогодні в Україні. У теперішній час, як показує реальність, Україна зазнає значних втрат від різноманітних за причинами виникнення пожеж як природного, так і техногенного походження. Щорічно статистика втрат на пожежах свідчить про людські жертви та значні збитки [4], що негативно впливає на економіку нашої держави та свідомість суспільства.

Одним із корисних результатів науково-технічного прогресу слід вважати створення різноманітних за функціональним призначенням БПЛА. Під БПЛА слід розуміти безпілотні апарати багаторазового застосування, оснащені силовою установкою, що мають дистанційне, напівавтономне, автономне чи комбіноване управління, здатні нести різні типи корисних навантажень, що дозволяє їм виконувати специфічні завдання в земній атмосфері або за її межами протягом часу, відповідного до виконуваного завдання [3]. У статті мова йде про БПЛА, що застосовуються в межах земної атмосфери.

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, 5]. Такі можливості обумовлені дальністю їх дій на відстань тактичної, оперативної та стратегічної глибини.

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 у зв'язку з існуванням у льотчика фізіологічної межі.

Згодом активне поширення різноманітних за розмірами та функціями БПЛА в цивільній сфері дозволило розглянути питання їх застосування для вирішення завдань, пов'язаних із пожежною безпекою та гасінням пожеж. Уже відомі перші спроби застосування БПЛА. Одним з таких прикладів є використання у Великобританії пожежною службою Манчестера невеликого за розмірами та вагою квадрокоптеру Aeryon SkyRanger (рис.1). БПЛА оснащений інфрачервоною камерою і здатний знаходитися в повітрі до 40 хв. на висоті до 3 км [6]. Основна висота при цьому обмежена 120 м відповідно до виконуваних завдань.



Рисунок 1 – Aeryon SkyRanger

Управління безпілотним літаком здійснюється дистанційно. Передавання інформації з борта БПЛА відбувається в масштабі реального часу з її виведенням на екран звичайного планшета. Використання інфрачервоної камери дозволяє пожежникам спостерігати за розвитком пожежі в умовах турбулентності атмосфери, що обумовлена задимленістю.

Для вирішення завдань дистанційного зондування з повітря місць виникнення пожеж і спостереження за розвитком пожеж в умовах перенасичення міста хмарочосами в ОАЕ студентами Університету науки і технологій емірату Аджман розроблений БПЛА, оснащений приладом нічного спостереження [7]. Завдяки компактним розмірам БПЛА планується розміщати на автомобілі екіпажу служб порятунку.

Університет Меріленда (США) вивчає можливості використання БПЛА в Південній Африці для вирішення низки завдань, до переліку яких входять і завдання виявлення пожеж. Передбачається застосування безпілотних літаків для виявлення вогнищ чи диму. Ураховуючи просторові межі місцевості, огляд яких здійснюється рейнджерами, для виявлення джерела диму може знадобитися декілька годин. Застосування БПЛА дозволить вирішити це завдання протягом декількох хвилин чи десятка хвилин [8].

Активно застосовуються БПЛА в системах пожежної охорони Німеччини, Франції та інших країн Європи.

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 в зоні проведення АТО. Це неодноразово висвітлювалося різноманітними ЗМІ.

Підтвердженням обмеженості інтересу до БПЛА в період 2004-2014 рр. та їх застосування на державному рівні підтверджується статистикою на винаходи та корисні моделі ДП “Український інститут промислової власності” (з квітня 2015 року – ДП “Український інститут інтелектуальної власності”), що наведена на рис.2. Відсутність перспективного ринку споживачів в Україні на той час підтверджується відсутністю

патентування з боку іноземних заявників. Обмеженість патентів на вітчизняні винаходи також є яскравим підтвердженням відсутності ринку. Наявність патентів на корисні моделі лише персоніфікує недоцільність проведення кваліфікаційної експертизи внаслідок відсутності реального та масового споживача, а також конкуренції.

Динаміка реєстрації патентів на винаходи і корисні моделі за тематикою «Безпілотні літальні апарати» протягом 2004-2014 (станом на 20.07.2014) рр.



Рисунок 2 – Статистика щодо динаміки реєстрації патентів за тематикою [9] [9]БПЛА

Сфера пожежної безпеки не стала виключенням у питанні використання можливостей БПЛА. При цьому в статті використовується трактовка сфери пожежної безпеки, що наведена у [4]: сфера пожежної безпеки – це утворене державою середовище з внутрішньою єдністю та межами, що охоплює різні галузі господарювання і в якому створюються необхідні умови для забезпечення потрібного рівня пожежної безпеки під час здійснення різноманітних видів професійної діяльності та повсякденної життєдіяльності людини.

На теперішній час на технічному забезпеченні пожежних не має БПЛА, незважаючи на те, що ці засоби стали досить доступні за ціною, хоча приклади їх аматорського застосування є – під час пожежі під Києвом на початку вересня 2015 р. 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 [10]; С.М. Чумаченко, Л.А. Пісня, І.А. Черепньов [11] та ін.

Розв’язання питання щодо використання БПЛА в інтересах забезпечення потрібного стану пожежної безпеки, виявлення та гасіння пожеж слід розглядати у двох площинах. По-перше, треба визначити сукупність завдань, що мають покладатися на БПЛА, і задати вимоги до корисного навантаження, яке буде забезпечувати виконання спеціальних завдань. При цьому має бути створені система підготовки та допідготовки операторів БПЛА, технічних спеціалістів з питань експлуатації та ремонту БПЛА, а також відповідний навчальний полігон. По-друге, застосування БПЛА змінює ситуацію в повітряному просторі, коли під час гасіння пожежі задіюються вертольоти та літаки, що вимагає організації відповідної взаємодії в межах повітряного простору над місцем пожежі.

На наш погляд, до завдань, що мають покладатися на БПЛА в інтересах забезпечення потрібного рівня пожежної безпеки, виявлення та гасіння пожеж у денний та нічний час, у різні періоди року, слід віднести: спостереження за пожежною обстановкою в повсякденних умовах; виявлення місць загоряння і появи диму; розвідка пожежі; спостереження за динамікою та місцевістю розповсюдження вогню; спостереження за процесом гасіння

пожежі; виявлення людей і тварин, що знаходяться в периметрі пожежі; оцінка результатів гасіння пожежі; оцінка збитків від пожеж.

Враховуючи час доби та пору року, а також турбулентність атмосфери, викликані погодними умовами чи димом, корисне навантаження БПЛА має забезпечувати отримання інформації в масштабі реального часу. Засобами корисного навантаження мають стати камери високої та невисокої розрізненості, що мають діяти у видимому та інфрачервоному діапазонах довжини хвиль. Камери високої розрізненості дозволять виявляти місця загоряння і появи диму, а також виявляти людей і тварин у периметрі пожежі, що особливо актуально в умовах гасіння лісових пожеж. Камери невисокої розрізненості доцільно використовувати за умов спостереження за динамікою розповсюдження вогню. Від вимог щодо розрізненості 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 сутерках і в період нічного часу, а також за умов турбулентності атмосфери доцільно використовувати камеру в інфрачервоному діапазоні довжини хвиль.

Для найкращого використання БПЛА мають бути визначені їх вид (вертолітний чи літаковий) та необхідні висоти їх застосування в інтересах виконання зазначених вище завдань.

Передавання інформації оператору в масштабі реального часу вимагає наявності відповідного радіоканалу та приймального обладнання, яким може стати або планшет, або переносний комп'ютерний пристрій.

Уведення в систему технічного забезпечення професійних пожежних чи державних пожежно-рятувальних частин (загонів) БПЛА вимагає кадрового та навчально-методичного забезпечення. Враховуючи зручне географічне розташування Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля – центральна частина України – та наявність доступних полігонних умов, доцільно здійснювати підготовку та допідготовку операторів БПЛА, спеціалістів з експлуатації та ремонту БПЛА на базі інституту.

Фізичний полігон щодо підготовки операторів БПЛА має бути побудований у районі м. Черкаси. Разом з цим, основна підготовка таких фахівців має здійснюватися із застосування спеціальних автоматизованих програмно-технічних комплексів (симуляторів) і відеофільмів з реальних пожеж.

Прийняття в найближчому майбутньому в систему технічного забезпечення пожежних БПЛА є питанням актуальним і має гарну перспективу, враховуючи підпорядкованість Державної служби України з надзвичайних ситуацій МВС України. Національна гвардія вже має досвід використання БПЛА для вирішення військових завдань у ході антитерористичної операції, а керівництво МВС добре володіє цим питанням.

Суть іншого питання, що має паралельно вирішуватися з перспективою постачання БПЛА пожежним, полягає у вирішенні питань управління повітряним рухом під час гасіння пожеж, коли поряд з вертольотами та літаками для гасіння вогню будуть використовуватися БПЛА спеціального призначення. Сьогодні вже відомі приклади створення завад процесу гасіння пожеж з використанням аматорами БПЛА для зйомок пожеж.

Так, наприклад, у США в окрузі Сан-Бернардіно внаслідок застосування аматорами квадрокоптерів для спостереження за пожежею, що мала місце в липні 2015 року, повітряні судна не змогли своєчасно прилетіти із-за створення завад у повітрі. Літаки викидали розчин для гасіння пожежі занадто рано, а вертольоти не могли піднятися в небо, щоб виконати роботу. БПЛА міг потрапити під гвинт и призвести не лише до аварії вертольоту, а також до його катастрофи із загибеллю людей. Під час пожежі відразу п'ять дронів перебували в повітрі, коли пожежні почали мобілізацію проти великої пожежі, у результаті чого скидання розчину затрималося на 20 хв. У зв'язку із затримкою пожежа перекинувся на шосе та охопила десятки авто [12].

Для забезпечення безпеки американські пожежні вимушені розміщати спеціальні плакати з метою попередження створення небезпек аматорами з використанням БПЛА (рис.3). У пошуку виходу із ситуації член законодавчих зборів Майк Гатто і сенатор Тед Гейнс запропонували Сенатський Білл, що дасть “імунітет будь-яким екстреним службам, які ушкодять безпілотний літальний апарат під час боротьби з пожежею, необхідності доставки пацієнтів швидкою допомогою по повітрю або для проведення рятувально-пошукових операцій”. Білл передбачає штрафи та тюремні ув’язнення для людей, що заважають роботі екстрених служб своїми БПЛА [13].



Рисунок 3 –
Плакат

Німецькі фахівці досліджують питання створення лазерної системи, яка буде здатна або знищувати мультикоптери в радіусі п’яти кілометрів, або, моделюючи частоту промінів, давати оператору БПЛА зрозуміти, що він виявлений [14]. Це можна розглядати як один із способів боротьби з БПЛА, що заважають.

Спеціалісти з Південної Кореї для збивання аматорських БПЛА запропонували використовувати удар звукової хвилі. Вони визначили резонансні частоти для гіроскопів. Треба лише підібрати відповідну резонансну частоту, гіроскоп увійде в резонанс і почне видавати показання, які, як показали проведені експерименти, призводять до аварії БПЛА [15].

Висновки. Підводячи підсумок, треба наголосити, що настав час активного застосування БПЛА як вертолітного, так і літакового типів для оперативного вирішення низки завдань, пов’язаних із забезпеченням потрібного стану пожежної безпеки в Україні, виявленням та гасінням пожеж.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають відбуватися за напрямками, пов’язаними з розробкою чи закупівлею готових комплексів БПЛА, здатних виконувати завдання, зазначені в статті; із створенням системи підготовки фахівців з питань застосування, експлуатації та ремонту БПЛА, як окремого напрямку підготовки в Черкаському ІПБ ім. Героїв Чорнобиля; 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 БПЛА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: [монографія] / С. Мосов. – К.: Изд. дом “РУМБ”, 2008. – 160 с.
2. Мосов С. Розвідка у сучасних воєнних конфліктах: [монографія] / О.А. Ільшов, С.П. Мосов. – К., 2011. – 280 с.
3. 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.
4. Андрієнко М.В. Сфера пожежної безпеки в Україні: проблемні питання державного управління: [монографія] / М.В. Андрієнко. – Черкаси: вид-во Чабаненко Ю.А., 2015. – 288 с.
5. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты / Н.Я. Василин. – Минск: ООО “Попурри”. – 2003. – 272 с.
6. Пожарная служба Манчестера использует дронов с инфракрасной камерой. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://maxpark.com/community/7024/content/3749908>.

7. Пожарные дроны для тушения небоскребов создали в ОАЭ. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mir24.tv/news/hi-tech/11276469>.
8. Дроны: Дроны смогут хорошо послужить в Африке. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mforum.ru/news/article/113459.htm>.
9. Мосов С.П. Науково-технологічне забезпечення підприємств оборонно-промислового комплексу: патентні пріоритети / С.П. Мосов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.uipv.org/i_upload/file/Mosov_271014\(1\).pdf](http://www.uipv.org/i_upload/file/Mosov_271014(1).pdf).
10. 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.
11. Чумаченко С.М. Аналіз ефективності застосування безпілотної авіації в надзвичайних ситуаціях агропромислового комплексу України / С.М. Чумаченко, Л.А. Пісня, І.А. Черепньов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21CO...
12. \$75 тысяч за информацию об операторах дронов, которые мешают пожарным. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://shazoo.ru/2015/07/30/32124/75-tysyach-za-informaciyu-ob-operatorah-dronov-kotorye-meshayut-pozharnym>.
13. Дроны мешали тушить пожар. Власти Калифорнии предлагают разрешить пожарным сбивать беспилотники. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://0-1.ru/?id=58026>.
14. В Германии тестируют боевой лазер для защиты от дронов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://giga.ua>.
15. Дроны: еще один способ сбивать дроны – акустический удар. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mforum.ru/news/article/113554.htm>.

УДК 614.841.332

С. О. Сідней,

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ НЕСУЧИХ СТІН У ВОГНЕВИХ ПЕЧАХ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

У даній роботі представлено результати чисельного 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 та різниці між максимальною та мінімальною температурою на поверхні залізобетонної конструкції. Визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні вертикальної конструкції.

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

Постановка проблеми. 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. Дослідженнями вогнестійкості залізобетонних конструкцій займалися і займаються багато науковців, зокрема Яковлев О. І., Ройтман В. М., Бушев В. П., Мілованов О. Ф., Фомін С. Л., Страхов В. Л., Круковський П. Г., Новак С. В., T. Lie, B. Barteleml, G. Kruppa, T. Narmathy та інші.

У роботах [3–5] було описано процес створення комп'ютерної моделі вогневої печі, на якій проводилися реальні випробування, в середовищі програмного комплексу CFD FlowVision 2.5, та проведено обчислювальний експеримент в ході якого, показано ефективність моделювання теплових процесів для подальшого її використання при вивченні впливу конструктивних характеристик вогневих печей на їх метрологічні показники.

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. У роботі 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 конструкцій протягом усього часу обчислювального експерименту у моделях.

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

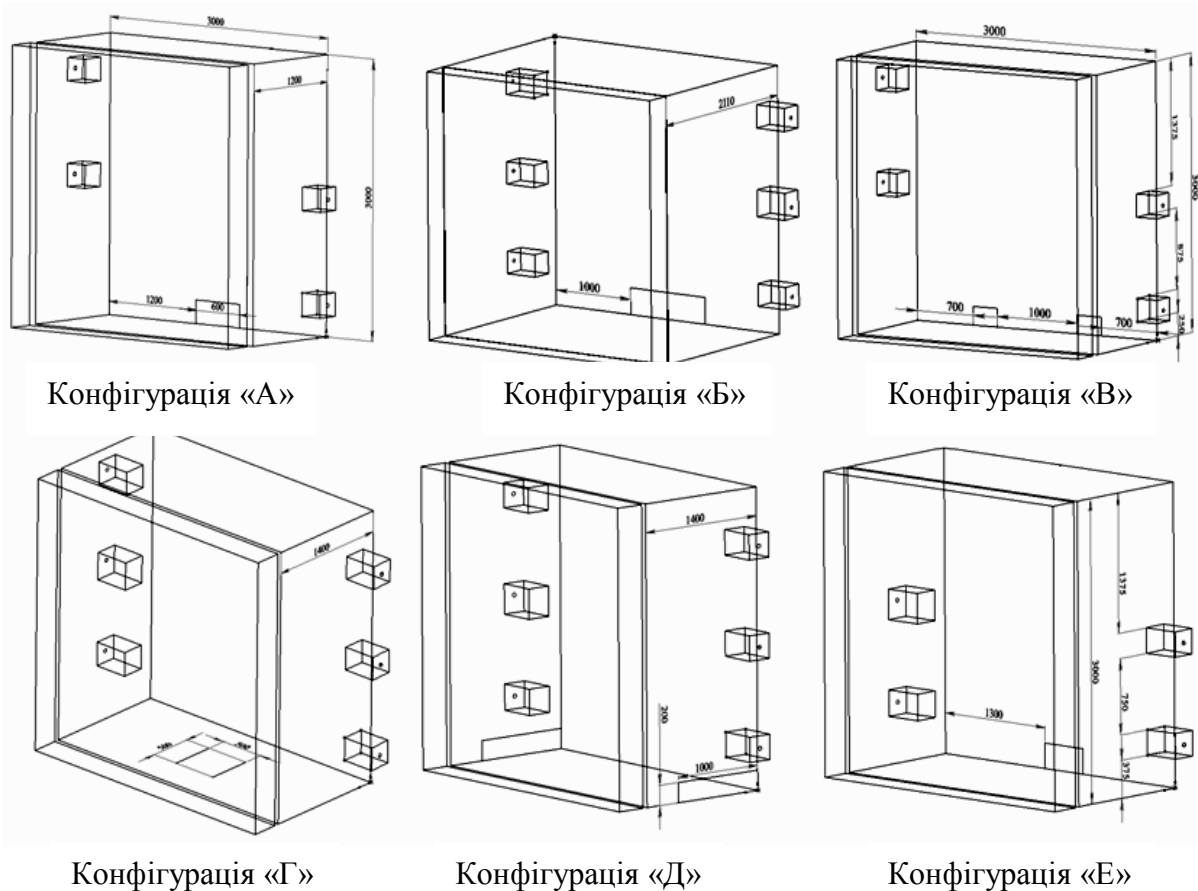


Рисунок 1 – Конфігурації установок для проведення випробувань на вогнестійкість несучих стін.

Конфігурація «А» (рис. 1-а). Змінено розміри, кількість та розташування отворів для відведення продуктів горіння.

У конфігурації «Б» (рис. 1-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. 1-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. 1-г). У якій отвір для відведення продуктів горіння знаходиться у дні печі.

Конфігурація «Д» (рис. 1-д). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, додано додаткові пальники, які знаходяться на одному рівні з іншими пальниками.

Конфігурація «Е» (рис. 1-е). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, змінено розміщення пальників.

На рис. 2 показано розподіл температур по поверхні конструкції у кожній з конфігурацій на 60-й хвилині випробувань.

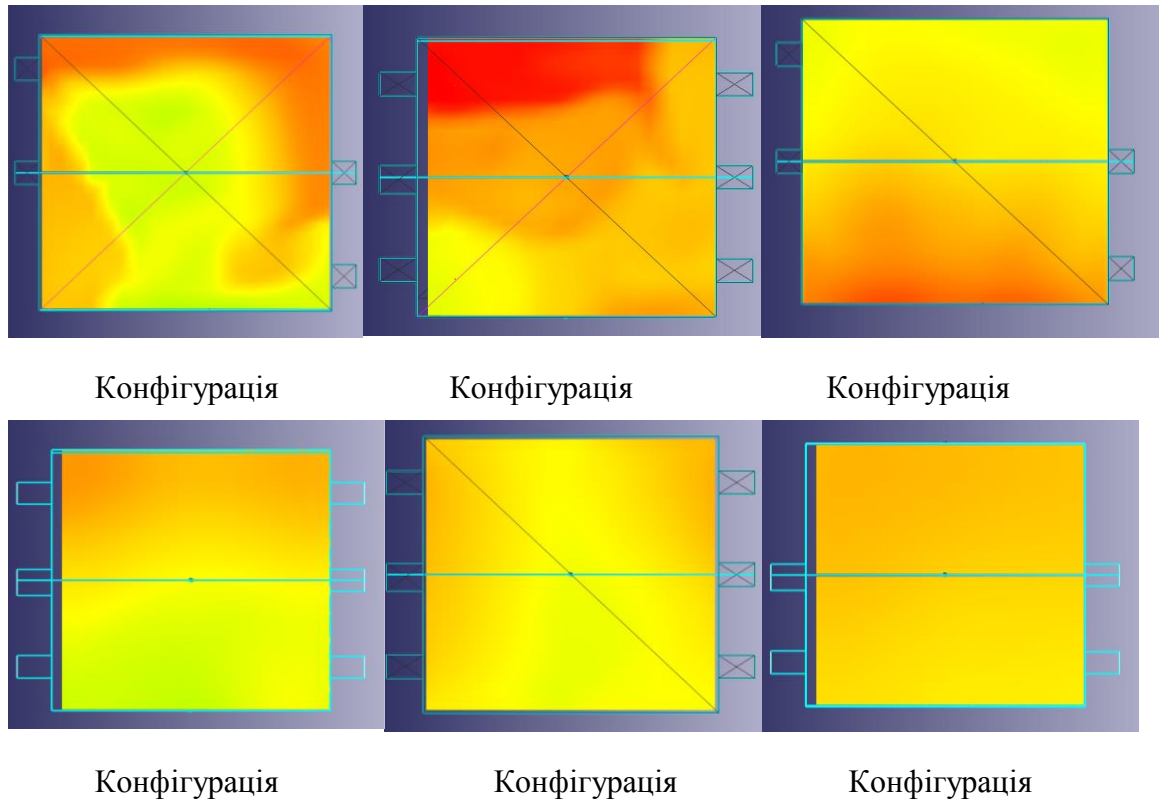


Рисунок 2 – Градієнт температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

На наш погляд основними недоліками конфігурації «А» (рис. 1-а, рис. 2-а) є, порівняно з іншими конфігураціями, невеликий об'єм камери печі, недосконале розташування отворів для відведення продуктів горіння. За рахунок цього, залізобетонна конструкція прогрівається нерівномірно. Конструкція прогрівається слабше у середній частині камери печі та над отворами для відведення продуктів горіння.

Змінивши конструкцію внутрішнього простору камери установки (рис. 1-б) температура ще менш рівномірно розподілилась по обігрівальній поверхні плити (рис. 2-б). Проте, відбувся більш характерний розподіл температур по вертикалі.

У конфігурації «В» (рис. 1-в) було отримано більш рівномірне розподілення температур (рис. 2-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. 2-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. 1-е) та «Д» (рис. 1-ж). Переваги конфігурації «Е» у тому, що нагрів відбувається за допомогою 4-х пальників, але їх розміщення змінене, у порівнянні з вихідною конфігурацією (рис. 1 – рис. 2).

Для більш наочної демонстрації результатів моделювання на рис. 3 показано зміну температур на обігрівальній поверхні конструкцій за допомогою ізоляції [7].

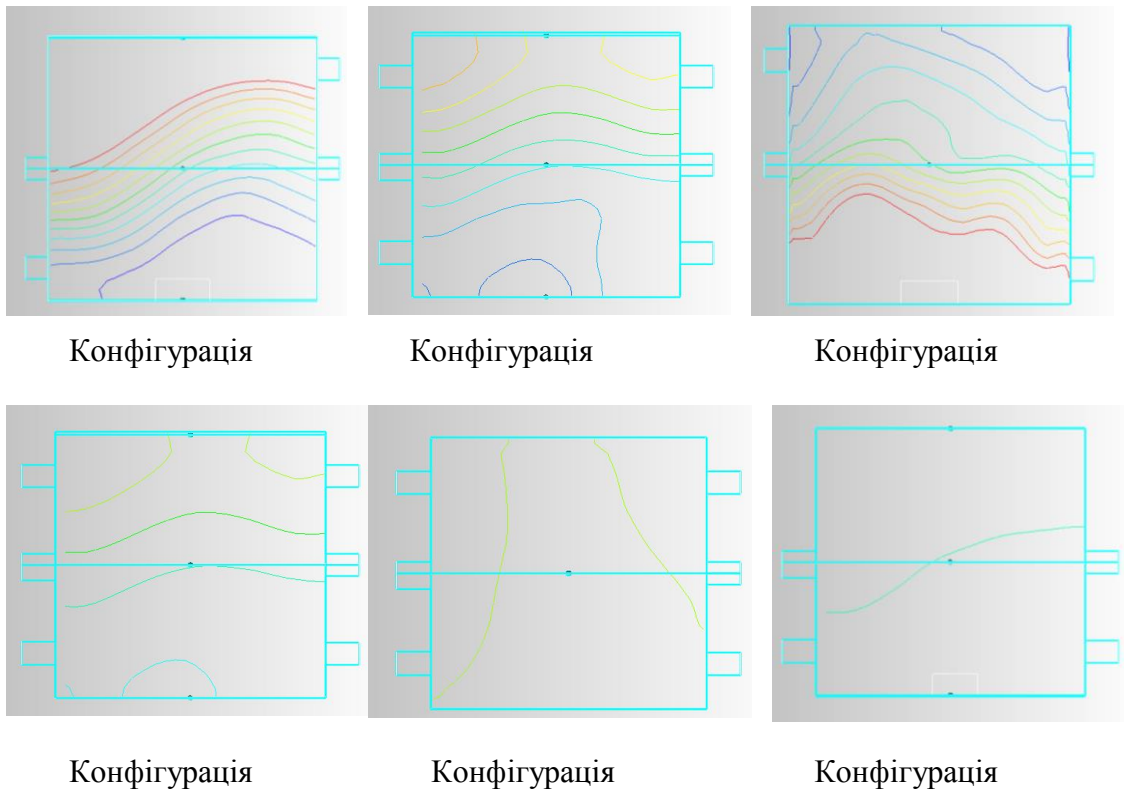


Рисунок 3 – Ізолінії температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

Як видно з рис. 3 найменші коливання температури спостерігаються у конфігурації «Е». Спираючись на результати першого етапу досліджень, ми можемо стверджувати, що дана конструкція є найбільш релевантною.

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.

У отриманих графіків 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).

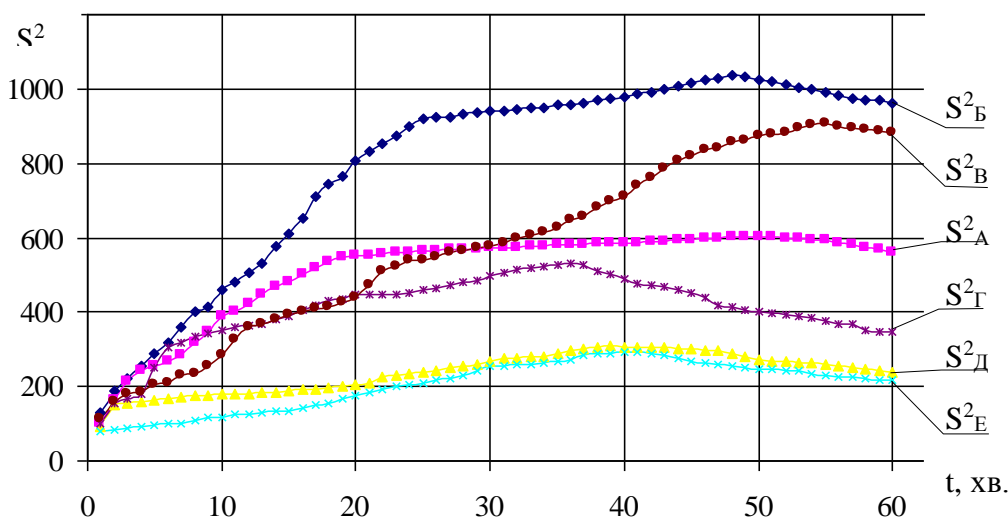


Рисунок 4 – Дисперсія температур по обігрівальній поверхні несучої стіни під час обчислювального експерименту.

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 хвилиνα випробувань, коли допустима різниця між максимально та мінімально допустимою температурою в камері печі зменшується [1].

Для того, щоб підтвердити коректність даних графіку рис. 4, на рис. 5 показано різницю між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні несучої стіни під час чисельного дослідження.

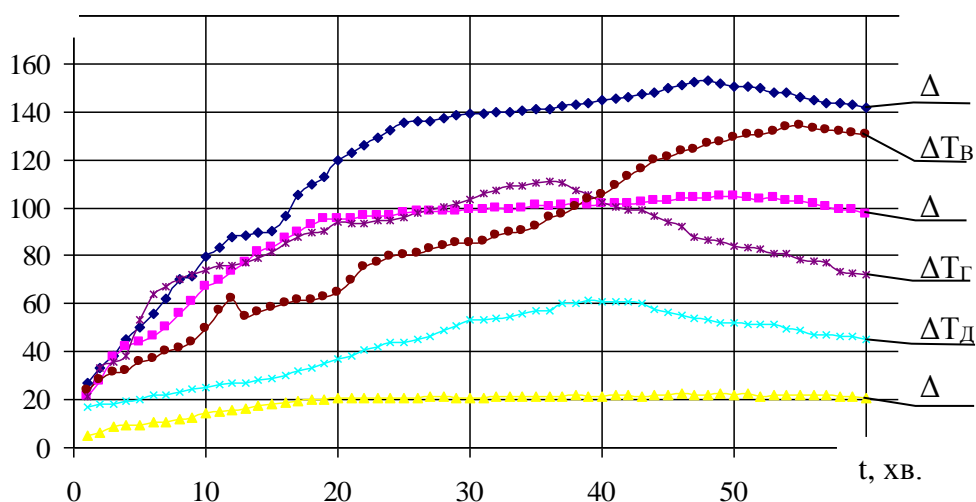


Рисунок 5 – Різниця між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні несучої стіни під час обчислювального експерименту.

Відповідно до рис. 5 максимальна різниця температур на обігрівальній поверхні несучої стіни у конфігурації «Е» склала 23,4 °С на 40-й хвилині випробувань, у конфігурації «Д» - 61,8 °С на 38-й хвилині.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє серед усіх конфігурацій максимальне значення різниці температур на обігрівальній поверхні конструкції, спостерігається на 41-шій хвилині випробувань, і складає близько 100 °С.

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. 4) та різниці між максимальною та мінімальною температури на поверхні конструкцій (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, 2013. – № 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. Новак С.В. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість / Новак С.В., Нефедченко Л.М., Абрамов О.О. – Київ: Пожінформтехніка, 2010. – 132 с.
7. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.

УДК 621

О. І. Соколенко,
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

ДОБРОВІЛЬНА ПОЖЕЖНА ОХОРОНА ЯК СКЛАДОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

Здійснено аналіз діяльності підрозділів добровільної пожежної охорони (далі – ДПО) у питаннях забезпечення пожежної безпеки в Україні. Досліджено нормативно-правові акти, які визначають основи формування та діяльності підрозділів добровільної пожежної охорони на сучасному етапі. Розглянуто історичні аспекти виникнення та функціонування відповідних угруповань. Сформовано власні висновки та пропозиції щодо оптимізації діяльності досліджуваних підрозділів.

Ключові слова: добровільна пожежна охорона, пожежна безпека, забезпечення пожежної безпеки.

Актуальність дослідження проблеми діяльності добровільної пожежної охорони у забезпеченні пожежної безпеки в Україні зумовлена її науковим значенням і практичною значимістю, а також необхідністю підвищення рівня свідомості та правосвідомості населення у сфері забезпечення пожежної безпеки загалом.

Мета наукової статті полягає у здійсненні аналізу діяльності добровільної пожежної охорони у частині забезпечення пожежної безпеки та визначення чинників, які впливають на оптимізацію цього процесу.

Пожежна охорона в Україні створюється з метою захисту життя і здоров'я громадян, приватної, колективної та державної власності від пожеж, підтримання належного рівня пожежної безпеки на підприємствах, в установах, організаціях і населених пунктах.

Забезпечення пожежної безпеки – невід'ємна частина державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища. Одним із шляхів забезпечення пожежної безпеки є створення добровільної пожежної охорони в державі, формування суспільної свідомості та активної позиції громадян у сфері пожежної безпеки, залучення їх до діяльності з попередження і гасіння пожеж.

На сьогодні діяльність добровільної пожежної охорони є регламентованою на законодавчому та підзаконному, територіальному та локальному рівнях з урахуванням місцевих умов та потреб. Так, стаття 27 Кодексу цивільного захисту України [1] визначає основи функціонування добровільних формувань цивільного захисту, в структуру яких нині і входить забезпечення пожежної безпеки. В той самий час, статтею 63 “Добровільна пожежна охорона” визначаються основи діяльності саме добровільної пожежної охорони, що відповідно до статті 59 цього ж нормативного акта є підвидом, окрім державної, відомчої та місцевої, пожежної охорони. Крім того, на виконання норм закону, була прийнята постанова Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 р. № 564 “Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони” [2], яка затверджує порядок функціонування підрозділів добровільної пожежної охорони. В свою чергу, порядок забезпечення добровільної пожежної охорони, права та обов'язки осіб, які є членами добровільної пожежної охорони, визначається Положенням про добровільну пожежну охорону, яке затверджується керівником суб'єкта господарювання чи органом місцевого самоврядування, що її утворив, за погодженням з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту (ч. 3 ст. 63) [1]. У суб'єктів господарювання, населених пунктах для здійснення заходів із запобігання виникненню пожеж та організації їх гасіння органи місцевого самоврядування за рішенням територіальних громад, а також керівники суб'єктів господарювання можуть утворювати пожежно-рятувальні підрозділи для забезпечення добровільної пожежної охорони.

З прийняттям постанови Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 р. № 564 “Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони” [2] було скасовано НАПБ А.02.002-2009 Положення про добровільну пожежну дружину (команду), затвержене

постановою Кабінету Міністрів України від 25 лютого 2009 р. № 136 [3], та затверджено Порядок функціонування добровільної пожежної охорони (далі – Порядок).

Цей Порядок функціонування добровільної пожежної охорони розроблено на основі європейських стандартів та з урахуванням досвіду іноземних держав та країн СНД. Цим Порядком визначається механізм створення добровільних пожежних дружин (команд), реєстрації, завдання, функції, структура, умови здійснення діяльності, фінансове й матеріально-технічне забезпечення, права і обов'язки членів добровільної пожежної охорони.

Цим Порядком наголошується, що метою створення добровільної пожежної охорони є проведення заходів із запобігання виникненню пожеж та організації їх гасіння, а для забезпечення функціонування добровільної пожежної охорони утворюються пожежно-рятувальні підрозділи:

за рішенням керівника суб'єкта господарювання – з числа його працівників;

за рішенням органу місцевого самоврядування – з числа жителів відповідного населеного пункту.

Основними завданнями пожежно-рятувальних підрозділів добровільної пожежної охорони є забезпечення пожежної безпеки, запобігання виникненню пожеж та нещасних випадків на них, гасіння пожеж, рятування людей, а також надання допомоги у ліквідації наслідків інших надзвичайних ситуацій.

Функції, які виконують пожежно-рятувальні підрозділи ДПО відповідно до покладених на них завдань, викладено в пункті 7 Порядку, а саме: проводять заходи із запобігання виникненню пожеж; здійснюють гасіння пожеж, проводять евакуацію людей та матеріальних цінностей, заходи з мінімізації або ліквідації наслідків пожеж, зокрема разом з підрозділами державної, відомчої та місцевої пожежної охорони; проводять заходи з постійного підтримання своєї готовності; інформують територіальний орган ДСНС України про факти виникнення пожеж і порушення вимог щодо пожежної безпеки; проводять серед працівників підприємств, установ, організацій та громадян роботу з дотримання правил пожежної безпеки, підбір осіб, які бажають стати членами пожежно-рятувального підрозділу добровільної пожежної охорони; надають керівникам суб'єктів господарювання та органам місцевого самоврядування, що їх утворили, пропозиції щодо забезпечення пожежної безпеки; беруть участь у проведенні оглядів-конкурсів протипожежного стану разом із територіальними органами ДСНС України, органами освіти, молодіжними організаціями, а також заходів з утворення та організації роботи дружин юних пожежників; беруть участь разом з територіальними органами ДСНС України у перевірях протипожежного стану об'єктів; здійснюють інші функції, передбачені актами законодавства.

Одним із шляхів забезпечення пожежної безпеки є створення саме добровільної пожежної охорони в державі, формування суспільної свідомості і активної позиції громадян у сфері пожежної безпеки, залучення їх до діяльності з попередження і гасіння пожеж.

Першим правовим кроком у створенні мережі добровільних пожежних формувань став Указ Олександра II від 18 серпня 1860 р. «Про створення в містах громадських пожежних команд із обивателів» [4]. Уряд неохоче йшов на створення добровільних пожежних товариств в Україні через польське повстання у 1863 р. Проте об'єктивна необхідність, спричинена катастрофічним станом пожежної безпеки населених пунктів, та позиція представників технічної інтелігенції, членів місцевих органів самоврядування змусили владу піти на поступки.

Як відомо, історичні події досить циклічно відтворюються через певні періоди часу. Наразі можемо спостерігати зокрема, в питаннях утворення та діяльності добровільних пожежних підрозділів, майже ті ж самі причини і умови, що й півтора століття тому. Відтак, до речі як і сучасної доби, найбільшою проблемою, яка впливала на ефективність функціонування добровільних пожежних формувань, була проблема фінансування. В історичному розрізі ситуація змінилася на краще в 90-х рр. XIX ст., коли всеросійський центр добровольців – Об'єднане російське пожежне товариство, внесло законодавчі ініціативи щодо покращення матеріального становища вогнеборців шляхом залучення додаткових надходжень за рахунок коштів міських управ, земств та страхових товариств. Як правило, основними причинами, які спонукали власників на початковому етапі створювати добровільні пожежні формування, були пожежі на їхніх підприємствах та пільги при протипожежному страхуванні, які було б цілком доцільно передбачити і в чинному

законодавстві. Новоутворені добровільні товариства ставали місцевими центрами протипожежної пропаганди та поширення знань із пожежної безпеки. Саме вони становили найбільш надійну опору для міських органів самоврядування у їх діяльності із розвитку протипожежних заходів у містах. Членами товариств організовувалися виставки, показові виступи, бесіди на протипожежну тематику. Деякі пожежні товариства брали на себе обов'язок не лише надавати населенню допомогу в ліквідації пожеж, але й ставили за мету взагалі протидіяти будь-якому стихійному лиху. Слід зауважити, що у порівнянні з поліцейськими пожежними командами чисельність добровільних вогнеборців не обмежувалася владою. Навіть у початковий період розвитку добровільних пожежних формувань у 60-90 рр. XIX ст. кількість добровільних пожежних команд в Україні перевищувала чисельний склад професійних команд у 4 рази.

Організація роботи добровільних вогнеборців у сільських населених пунктах, за твердженням О. В. Козинця [4], мала цілу низку проблем, а саме: інертність населення, недостатня протипожежна пропаганда серед селянства, здійснювана місцевими органами самоврядування, важке фінансово-економічне становище більшості сільських громад та відсутність кваліфікованих пожежних кадрів для навчання селян пожежній справі. Матеріально-технічний та фінансово-економічний стан сільських добровільних пожежних дружин значно поступався міським пожежним товариствам та командам. Таким чином, на відміну від професійної пожежної охорони, яка не мала можливості впливати на законотворчі процеси в Росії, добровільна пожежна охорона в особі представників об'єднаного центру пожежних добровольців внесла чимало законопроектів до Державної Думи, які були спрямовані на підвищення ефективності протипожежного захисту як населення, так і підприємств. Однак і в першому десятилітті XX століття правові питання щодо функціонування добровільних пожежних формувань вимагали вдосконалення. Ціла низка проблем добровільних вогнеборців так і не була розв'язана, насамперед стосовно взаємостосунків добровольців із начальниками губерній, поліцейською владою, міськими управами. Існувала необхідність скасування надмірного контролю діяльності добровільних вогнеборців із боку місцевої влади тощо [4].

Подібні недоліки чинного законодавства, на жаль, ми спостерігаємо і сьогодні.

Світовий досвід свідчить, що у країнах Європи добровільними пожежними формуваннями ліквідується 30-40 % пожеж на початковій стадії, а в Україні – лише 3,5-4 %. Стан роботи добровільних пожежних формувань в Україні досить тривалий час був на низькому рівні. У державі значно скорочувалась чисельність існуючих добровільних пожежних команд і дружин. Так, з 1999 року їх кількість зменшилась із 34 до 20 тисяч. На оснащенні добровільних пожежних команд на цей час знаходяться лише 2,5 тисячі пожежних автомобілів, із яких 150 у несправному стані та підлягають ремонту [5].

Так, в системі ДСНС України в 2014 році функціонували: близько 1 тис. 200 пожежно-рятувальних підрозділів (частин, постів) штатною чисельністю 32,6 тис. осіб, основним завданням яких було гасіння пожеж та проведення першочергових рятувальних робіт; 23 аварійно-рятувальних загони спеціального призначення загальною чисельністю 5,8 тис. осіб, основним завданням яких було проведення спеціальних аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт в межах регіону; 11 формувань ОРС ЦЗ центрального підпорядкування, загальною чисельністю 3,7 тис. осіб, що складають другий ешелон та резерв сил цивільного захисту (в тому числі й добровільні пожежні дружини і команди на підприємствах). Основним завданням цих формувань є проведення комплексу аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт із запобігання надзвичайним ситуаціям державного і регіонального рівнів та ліквідації їх наслідків у взаємодії із формуваннями територіальних органів ДСНС України [6].

У 2014 році до аварійно-рятувальних та відновлювальних робіт у надзвичайних ситуаціях залучалося понад 13,2 тис осіб та понад 3,5 тис. одиниць техніки підрозділів органів виконавчої влади та підприємств. За цей період у ліквідації надзвичайних ситуацій з використанням сил ДСНС України були задіяні понад 4,3 тис. чоловік особового складу та 1,0 тис. одиниць техніки [6].

Надзвичайно актуальним питанням є технічне переоснащення формувань та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Так, в 2014 році понад 75% автомобільної та пожежно-рятувальної техніки склали зразки з термінами експлуатації від 15 до 45 років та 214 одиниць потребували капітального ремонту або списання. Забезпеченість

інженерною технікою (1961 - 1999 років випуску) склала 38,2% від загальної потреби. Залишається недостатнім рівень забезпечення захисними дихальними апаратами особового складу пожежно-рятувальних підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Практично відсутні сучасні засоби хімічної та радіаційної розвідки та спеціальне аварійно-рятувальне обладнання для ліквідації аварій на хімічно небезпечних об'єктах. Не відповідають сучасним технічним вимогам наявна в аварійно-рятувальних та пожежно-рятувальних підрозділах техніка та засоби реагування [6].

На особливу увагу заслуговує питання щодо використання ДПО для запобігання виникненню пожеж у лісах. Проблема збереження лісів від вогню останніми роками набула особливої гостроти у зв'язку з підвищенням температури повітря, відсутністю опадів та сильними вітрами. Так, у 2014 році у лісовому господарстві України створена і функціонує відомча пожежна охорона, основою якої є лісові пожежні станції. На сьогодні охорону лісів від пожеж забезпечують 307 державних лісгосподарських та лісомисливських підприємств, у складі яких функціонує понад 1,7 тис. лісництв та 288 лісових пожежних станцій, які укомплектовані особовим складом і пожежною технікою для профілактики і гасіння лісових пожеж. Чисельність відомчої пожежної охорони складала 7 327 осіб, в тому числі постійних 1 422 особи та 5 905 осіб добровільно-пожежних дружин.

На початок 2014 року в лісах була створена мережа із 440 пожежно-спостережних веж, з них 233 обладнано сучасними телевізійними системами спостереження. На оснащенні знаходилось 678 пожежних автомобілів, 150 лісопожежних модулів на шасі УАЗ, понад 1,6 тис. тракторів з ґрунтообробним обладнанням, 530 мотопомп, понад 7 тис. ранцевих лісових обприскувачів та інші технічні засоби. Усі пожежі в державному лісовому фонді ліквідовані відомчою пожежною охороною, лише у 161 випадку залучались сили ДСНС [6].

На основі даних статистики, для забезпечення надійного захисту об'єктів господарювання та населених пунктів необхідно створити понад 30 тисяч добровільних пожежних команд і дружин.

Висновки. Як засвідчує аналіз діяльності ДПО, її особливість полягає: 1) ДПО функціонує з ініціативи керівника суб'єкта господарювання або органу місцевого самоврядування. Це дає право пожежно-рятувальним підрозділам добровільної пожежної охорони утворюватись незалежно від підрозділів інших видів охорони; 2) для ефективного функціонування добровільної пожежної охорони Кодекс цивільного захисту України передбачає, що Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування і суб'єкти господарювання можуть надавати пожежно-рятувальним підрозділам у користування будинки, споруди, спеціальні службові приміщення, засоби зв'язку, пожежну техніку та інше необхідне майно, яке перебуває у комунальній власності, власності громадян – мешканців цих населених пунктів (за їх згодою) та суб'єктів господарювання; 3) визначено, що фінансування і матеріально-технічне забезпечення добровільної пожежної охорони може здійснюватись ще й за рахунок членських внесків, дотацій, прибутку від власної господарської діяльності, прибутку від майна добровільної пожежної охорони, дивідендів, надходжень від страхових компаній, пожертвувань громадян і юридичних осіб, інших джерел, не заборонених законодавством.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кодекс цивільного захисту України.
2. Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони: Постанова Кабінету Міністрів України від 17 липня 2013 р. № 564.
3. НАПБ А.02.-2009 Положення про добровільну пожежну дружину (команду), затверджена постановою КМУ від 25 лютого 2009 р. №136.
4. Козинець О.В. Діяльність добровільних пожежних формувань у Наддніпрянській Україні в другій половині XIX – на початку XX ст. : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. істор. наук : спец. 07.00.01 / О.В. Козинець. – Миколаїв, 2010. – 22 с.
5. Інформаційна система моніторингу за станом пожежної безпеки лісових масивів / [Курсанти В.В. Дека, Д.С. Кріса, викл. О.І. Лозинський]. – Львівський ДУБЖД.
6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році. – К.: ДСНС України, 2015. – 518 с.

ABSTRACTS / АННОТАЦІИ

UDC 681.3.01

G. A. Abdiyeva-Aliyeva

DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CHOOSING A METHOD OF LIQUIDATION OF EMERGENCIES AT POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

The article examines the development and implementation of a special support system for decision making during liquidation of gas fountains (DSS-GF), ways to reduce the possibilities of emergencies (E), or to minimize their negative effects. Initially prevention of emergencies, and then advance preparation for action in times of emergency and disaster management are specified. Both directions are equally important.

Keywords: emergencies, decision support system, local area network, decision makers (DMP).

УДК 681.3.01

Г. А. Абдієва-Алієва

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ МЕТОДІВ ЛІКВІДАЦІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

У статті досліджуються розробка і впровадження спеціальної системи підтримки прийняття рішень при ліквідації газових фонтанів (СППР-ГФ), шляхи зниження можливостей виникнення надзвичайних ситуацій (НС) або зведення до мінімуму негативних наслідків від них. Спочатку уточнюються попередження НС, а потім завчасної підготовки до дій під час НС і до ліквідації наслідків НС. Обидва напрями однаково значущі.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, система підтримки прийняття рішень, локальна обчислювальна мережа, особи, що приймають рішення (ОПР).

UDC 614.8

Yu. O. Abramov, Ye. O. Tyshchenko

FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE CONTROL OBJECT OF THE SYSTEM OF EXTINGUISHING CLASS B FIRE BY SPREYED WATER

With reference to the process of extinguishing Class B fire with sprayed water expressions for the frequency characteristics of the control object of extinguishing system were obtained.

Keywords: Class B fire, sprayed water, control object, frequency characteristics.

УДК 614.8

Ю. А. Абрамов, Є. О. Тищенко

ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ КЛАСУ В РОЗПИЛЕНОЮ ВОДОЮ

Що стосується процесу гасіння пожежі класу В за допомогою розпиленої води отримані вирази для частотних характеристик об'єкта управління системи гасіння.

Ключові слова: пожежа класу В, розпилена вода, об'єкт управління, частотні характеристики.

UDC 614.841

V. M. Balanyuk Cand. of Engineering Sc., Associate Professor, K.V. Melnyk, Y.O. Kopytsnyskuy, Cand. of Engineering Sc.,

COMBINED METHOD OF EXTINGUISHING BY USING AEROSOL MIXTURE AND WATER-BASED SALT BRINES

The paper describes the features of the combined method of extinguishing by a mixture of aerosol and water-based salt solutions of potassium carbonate, ammonium and phosphorus. It is shown the methodology and results of experimental studies of the effectiveness of the proposed method of quenching.

Key words: fire extinguishing effect, aerosol mixture, water-based solutions of salts.

УДК 614.841

В. М. Баланюк к. т. н., доц., К. В. Мельник, Ю. О. Копистинский, к. т. н.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ТУШЕНИЯ СМЕСЬЮ ОГNETУШАЩЕГО АЭРОЗОЛЯ И ВОДНЫМИ СОЛЕВЫМИ РАСТВОРАМИ

В работе рассмотрены особенности комбинированного метода тушения смесью огнетушащего аэрозоля и водными солевыми растворами на основе карбоната калия и фосфора аммония. Приведена методика и результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного способа тушения.

Ключевые слова: огнетушащий эффект, водные растворы солей.

UDC 004.89:654.948

A. O. Bychenko, Cand. of Engineering Sc.

MODELING IMPACT OF EXTERNAL FACTORS TO THE SYSTEMS OF THE EARLY DETECTION THREATS OF THE ORIGIN EMERGENCIES

The proposed model of determination impact of external factors to the systems of the early detection threats of the origin emergencies based on expert conclusions.

УДК 004.89:654.948

А. А. Быченко, к.т.н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ СИСТЕМ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Предложены модели определения влияния внешних факторов на работу систем раннего выявления чрезвычайных ситуаций на основе экспертных выводов.

UDK 614.843 (075.32)

E. Hulida, Dr. Sci. (Tech.), Professor, O. Koval, Cand. Sci. (Tech.)

SIMULATION OF TACTICS LOCALIZE AND FIGHT FIRES INDOORS WOODWORKING ENTERPRISE

The mathematical model to optimize the choice of tactics containment and extinguishing fires in enclosed spaces woodworking enterprises. The model includes all the necessary dependencies to determine the optimal time-of localization and fire extinguishing based on the availability of fire compartments and the influence of wind speed due to redundant pressure or vacuum in the volume of the enclosure, which leads to changes in the rate-flame spread of fire. In addition, a mathematical model is reasonably allows to determine the best option tactics and duration of milk-tion and fire extinguishing necessary when the number of forces and means, as well as non-sary to eliminate fire outfit and heat protection clothing. Scientific novelty lies in the fact that for the first time with the help of optimization mathematical model ma-reviewed and substantiated the main provisions of tactical action fire suppression systems.

Keywords: mathematical model, the tactics of containment and extinguishing in Zharno barrel, fire trunk, thermal radiation.

УДК 614.843 (075.32)

Э. Н. Гулида, д.т. н., проф., А. М. Коваль, к. т. н.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ
В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Разработана математическая модель для оптимизации выбора тактики локализации и тушения пожаров в закрытых помещениях деревообрабатывающих предприятий. Модель включает все необходимые зависимости для установления оптимального времени локализации и тушения пожара с учетом наличия пожарных отсеков и влияния скорости ветра на избыточное давление или разряжение в объеме закрытого помещения, что приводит к изменению скорости распространения пламени пожара. Кроме этого, математическая модель позволяет обоснованно определять оптимальный вариант тактики и продолжительности локализации и тушения пожара с необходимым при этом количеством сил и средств, а также необходимыми для ликвидации пожара газодимозащитными снаряжениями и термозащитной одеждой. Научная новизна заключается в том, что впервые с помощью оптимизационной математической модели рассматриваются и обосновываются основные положения тактических действий системы пожаротушения.

Ключевые слова: математическая модель, тактика локализации и тушения пожара, пожарный ствол, тепловая радиация.

UDC 614.8

O. Zemlaynskiy, Cand.Of Sc (Eng)

**ANALYSIS OF WAYS AND MEANS TO DE-ENERGIZE RESIDENTIAL
BUILDINGS**

In the article considers the prevention of electrical shock during fire fighting. Discloses a method for detecting dangerous current on the object. Proposed and justified the construction of the fire barrel with light and sound signaling voltage.

УДК 614.8

О. Н. Землянский, к.т.н.

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПОРАЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ ВРЕМЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В статье рассмотрены вопросы предупреждения поражения электрическим током при пожаротушении. Раскрыт способ выявления опасного тока на объекте. Предложено и обосновано конструкцию пожарного ствола со светозвуковым сигнализатором напряжения.

UDC 614.8

V. Kovalyshyn, Philosophy doctor (Engineering), A. Grushovinchuk

**RESEARCH OF DETERMINATION FOAM EXTINGUISHING EFFICIENCY OF
DIFFERENT MULTIPLICITY GENERATED FROM 6% FOAM SOLUTION «ALPEN»**

Experimentally studied extinguishing efficiency and peculiarities stop burning model fire classes A and B in the case of use foam of different multiplicity. The effect of synergy was determined when used in extinguishing the model fire class B combined foam generated by both generators of medium and low multiplicity.

Key words: combined foam, foam generator, foam solution, model fire, fire extinguishing efficiency.

УДК 614.8

В. В. Ковальшин, д. т. н., проф., А. В. Грушовинчук

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПЕНЫ РАЗЛИЧНОЙ КРАТНОСТИ, СГЕНЕРИРОВАННОЙ С 6% РАСТВОРА
ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ «АЛЬПЕН»**

Экспериментальным путем проведено исследования огнетушащей эффективности и выявлены особенности прекращения горения модельных очагов классов А и В в случае применения пены различной кратности. Обнаружен эффект синергизма в случае применения на тушение модельного очага класса В комбинированной пены, сгенерированной одновременно генераторами средней и низкой кратности.

Ключевые слова: комбинированная пена, пеногенератор, пенообразователь, модельный очаг, огнетушащая эффективность/

UDC 622 82: 614. 842

V. Kovalyshyn (Doctor of Sciences, professor), V. Kovalchuk, S. Honcharenko

**SUBSTANTIATION AND CALCULATION OF PARAMETERS OF EXTINGUISHING
FIRE BY INERT GASES WITH THEIR SUBSEQUENT RECIRCULATION
IN CABLE TUNNELS**

The article provides a method of calculating parameters of extinguishing fire on the basis of theoretical and experimental studies in laboratory and ground conditions. The studies examined dynamics of inert gases being absorbed by channel walls, as well as temperature dynamics and efficiency of influence of nitrogen and carbon dioxide on combustion source followed by recirculation of fire gases.

A computer method of substantiating parameters of effective fire extinguishing by nitrogen or carbon dioxide, followed by recirculation of fire gases has been elaborated. It allows us to observe graphically the temperature dynamics both with and without applying inert gas.

Range of application and tactical technical ability to influence combustion source by nitrogen or carbon dioxide followed by recirculation of fire gases have been defined. The range includes isolated and semi-insulated extensive units, cable tunnels, corridors and building compartments for various purposes, underground horizontal or tilted up to 10 degrees mine workings, and other similar facilities in case of occurring and extinguishing fires.

It was found that the inert gas supply must be carried out at a distance of no more than 40 m from the combustion zone. Scope of applying inert gases significantly expands during further recirculation of fire gases which allows economical supply of inert gas.

Keywords: fire extinguishing, inert gases, recirculation, cable tunnels.

УДК 622 82: 614. 842

В. В. Ковальшин, д. т. н., проф., В. М. Ковальчик, С. И. Гончаренко

**ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА
ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИХ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ
В КАБЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЯХ**

Разработана методика расчёта параметров тушения пожара на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований в лабораторных и полигонных условиях динамики инертных газов при их поглощении стенками канала, динамики температуры и эффективности воздействия на очаг горения азотом и диоксидом углерода с последующей рециркуляцией пожарных газов.

Разработан компьютерный метод обоснования параметров эффективного тушения пожара азотом или диоксидом углерода с последующей рециркуляцией пожарных газов, позволяющий в наглядном графическом виде наблюдать динамику температуры, как без подачи, так и при подаче инертного газа

Определены область применения и тактико-технические возможности воздействия на очаг горения азотом или диоксидом углерода с последующей рециркуляцией пожарных газов. Это изолированные и полуизолированные протяжённые объекты: кабельные туннели, коридоры и отсеки зданий различного назначения, подземные горизонтальные или наклонные до 10 градусов горные выработки и прочие аналогичные объекты при возникновении и тушении пожаров.

Установлено, что подача инертных газов должна производиться на расстояние не далее 40 м от зоны горения. Область применения инертных газов значительно расширяется при организации последующей рециркуляции пожарных газов, что позволяет экономно расходовать инертный газ.

Ключевые слова: тушение пожаров, инертные газы, рециркуляция, кабельные туннели.

UDC 614.8

N. Konsurov, S. Vinogradov, Cand. Of Sc. (Eng)

MODELING OF MOTION OF HIGH SPEED IMPULSE WATER JETS IN THE AIR AND ITS INTERACTION WITH BUILDING CONSTRUCTION

The paper presents the results of theoretical research on the modeling of motion of high speed impulse water jets in the air and the results of theoretical research on modeling its interaction with building constructions to justify the possibility of such jets to extinguish the fire with a limited air exchange.

УДК 614.8

Н. О. Консуров, С. А. Виноградов, к. т. н., доц.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВОДЯНОЙ СТРУИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ В ВОЗДУХЕ И ЕЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СО СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ

В работе представлены результаты теоретических исследований по моделированию движения импульсной водяной струи высокой скорости в воздухе и результаты теоретических исследований по моделированию ее взаимодействия со строительной конструкцией с целью обоснования возможности применения таких струй для тушения пожаров с ограниченным воздухообменом.

UDC 624.012

М. О. Кропува.

RESEARCH OF BEHAVIOR OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE SLAB IN THE CONDITIONS OF A FIRE BY MEANS OF A METHOD OF FINITE ELEMENTS

In the article presents information about parameters of the stress-strain state and about the mechanism of failure of composite steel and concrete slab under fire exposure to the standard temperature conditions.

УДК 624.012

М.А. Кропува

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЦЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье приведены сведения о параметрах напряженно-деформированного состояния и механизма разрушения сталежелезобетонной плиты в условиях воздействия пожара со стандартным температурным режимом.

UDC 004.89:614.841.4

P. P. Kucher, D. V. Lahno

METHODS FOR SOLVING SPECIAL EQUIPMENT DSNS TECHNICAL DATA

The problem to completing the rescue technics as problem of fuzzy multiobjective optimization is considered. The method of its solving, which based on use fuzzy system theory elements is offered.

УДК 004.89:614.841.4

П. П. Кучер, Д. В. Лагно

МЕТОДИ ВИРІШЕННЯ КОМПЛЕКТАЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДСНС

Розглянуто задачу комплектування аварійно – рятувальної техніки як задачу нечіткої багатокритеріальної оптимізації. Запропоновано метод її розв'язання, що базується на використанні елементів теорії нечітких систем.

UDC 614.8.086.54

O. V. Lazarenko, Cand. Of Sc. (Eng)

**STUDY OF PROTECTIVE WATER CURTAIN GENERATED NOZZLES
RS -12 AND NRT -5**

The article imposed by the results of experimental studies to determine the hydrodynamic parameters and the value of the attenuation coefficient of the heat flux from the fire when using baits NRT -5 and RS-12. The results of experimental studies determined that the protective water curtain generated attachment RS -12 has a much better rate than the indulgence of the heat flux from the protective water curtain nozzle NRT-5.

Keywords: NRT -5, RS-12, water curtain, shielding ability, shielding factor.

УДК 614.8.086.54

A. B. Лазаренко, к. т. н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС ГЕНЕРИРУЕМЫХ
НАСАДКАМИ РВ-12 И НРТ-5**

В статье наведены результаты экспериментальных исследований по определению гидродинамических параметров и значению коэффициента ослабления теплового потока от очага пожара при использовании насадок НРТ-5 и РВ-12. По результатам проведенных экспериментальных исследований определено, что защитная водяная завеса, генерируемая насадкой РВ-12 имеет гораздо лучший коэффициент полабления теплового потока чем защитная водяная завеса от насадки НРТ-5.

Ключевые слова: НРТ-5, РВ-12, водяная завеса, экранирующая способность, коэффициент экранирования.

UDC 614.849

A. Larin, Doc. of Sc. (Eng.), A. Kalynovsky, Cand. of Sc (Eng.), R. Kovalenko, A. Titarenko

**ANALYSIS OF EXISTING METHODS GROUND NUMBER CAPABILITIES OF
FIRE-RESCUE UNITS AND THEIR LOCATIONS**

Existing methods of study and the number of deployment sites of fire-rescue units.

УДК 614.849

А. Н. Ларин, д. т. н., проф., А. Я. Калиновский, к. т. н., доц., Р. И. Коваленко, А. В. Титаренко

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБОСНОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ СИЛ И СРЕДСТВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ, А ТАКЖЕ МЕСТ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

Рассматриваются существующие методы обоснования численности и мест дислокации пожарно-спасательных подразделений.

UDC 614.843/083

A. Larin, Doc. of Sc. (Eng.), G. Chernobay, Cand. of Sc (Eng.), S. Nazarenko

TO IDENTIFY DISSIPATIVE PROPERTIES OF PRESSURE FIRE HOSES "T" TYPE WITH AN INNER DIAMETER OF 51 MM AT THE LONGITUDINAL STRAIN

The technique and results of determining the dissipative properties of pressure fire hose "T" type with an inner diameter of 51 mm at the longitudinal strain.

УДК 614.843/083

А. Н. Ларин, д. т. н., проф., Г. А. Чернобай, к. т. н., доц., С. Ю. Назаренко

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ ТИПА «Т» С ВНУТРЕННИМ ДИАМЕТРОМ 51 ММ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИИ

Рассматриваются методика и результаты определения диссипативных свойств напорного пожарного рукава типа «Т» с внутренним диаметром 51 мм при продольных деформациях.

UDC. 614.841

T. Maglyovana, Cand. of Sc.

CORROSION INHIBITORS FIRE - TECHNICAL EQUIPMENT BASED ON METAL COMPLEXES WITH SALTS POLYHEXAMETHYLENEGUANIDINE

It is shown that promising components of corrosion inhibitors fire - technical equipment are cationic polyelectrolyte, which in addition to their ability to inhibit the processes of metal corrosion and scaling have biocidal properties. Effect of inhibitors based on electrostatic interaction with the metal surface or to form donor-acceptor complexes, moreover polyhexamethyleneguanidine is environmentally friendly material that may be an alternative corrosion inhibitors, salts containing toxic metals.

Key words: water, inhibitor, corrosion, polymers, polyhexamethelenguanidine phosphate, sea water.

УДК. 614. 841

Т. В. Маглевана, к. х. н.

ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ ПОЖАРНО - ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОВ МЕТАЛЛОВ С СОЛЯМИ ПОЛИГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА

Показано, что перспективными компонентами ингибиторов коррозии пожарно - технического оборудования являются катионные полиэлектролиты, которые кроме способности к ингибированию процессов коррозии металлов и солеотложения обладают биоцидными свойствами. Действие ингибиторов основано на электростатическим взаимодействием с поверхностью металла или с образованием донорно-акцепторных комплексов, кроме того полигексаметиленгуанидин является экологически чистым веществом, что может быть альтернативой ингибиторам коррозии, содержащие соли токсичных металлов.

Ключевые слова: вода, ингибитор, коррозия, полимеры, полигексаметиленгуанидин фосфат, морская вода.

UDC 354.404+614.84

S. Mosov, Doctor of Military Sciences, Professor

**USE OF PILOTLESS AIRCRAFTS FOR REMOTE SOUNDING OF FIRES
AND SITES OF THEIR POSSIBLE OCCURENCE**

The article discloses the special aspects and conditions of pilotless aircrafts for remote sounding of fires and sites of their possible occurrence, also the problematic issues of air space are outlined for cases when such tools are in the area of fire control.

УДК 354.404+614.84

С. П. Мосов, д. військ. н, проф.

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ И МЕСТ
ИХ ВОЗМОЖНОГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

В статье раскрыты особенности и условия применения беспилотных летательных аппаратов для дистанционного зондирования пожаров и мест их возможного возникновения, а также освещены проблемные вопросы воздушного пространства при нахождении таких средств в зоне тушения пожаров.

UDC 614.841.332

S. O. Sidney

**NUMERICAL INVESTIGATION OF EFFICACY TESTS FIRE RESISTANCE BEARING
WALLS IN DIFFERENT CONFIGURATIONS FIRE OVENS**

This paper presents the results of numerical modeling process 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 and the difference between the maximum and minimum temperature on the surface of concrete structures. Defined configuration with the most uniform temperature distribution on the heating surface vertical design.

УДК 614.841.332

С. А. Сидней

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ
НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ НЕСУЩИХ СТЕН В ОГНЕВЫХ ПЕЧАХ
РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ**

В данной работе представлены результаты численного 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 и разницы между максимальной и минимальной температуры на поверхности железобетонной конструкций. Определены конфигурацию из самых равномерным распределением температур на обогревательные поверхности вертикальной конструкции.

UDC 621

O. I. Sokolenko

**VOLUNTARY FIRE-FIGHTING SYSTEM AS A COMPONENT OF PROVIDING
FIRE SAFETY IN UKRAINE**

The analysis place of divisions of voluntary fire protection in questions of ensuring fire safety in Ukraine. It is investigated normative legal acts which define bases of formation and activity of divisions of voluntary fire protection at the present moment. Historical aspects of emergence and functioning of the relevant groups are considered. It is created own conclusions and offers on optimization of activity of studied divisions.

Keywords: Voluntary fire protection, fire safety, ensuring fire safety.

УДК 621

О. И. Соколенко

**ДОБРОВОЛЬНАЯ ПОЖАРНАЯ ОХРАНА КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УКРАИНЕ**

Осуществлен анализ деятельности подразделений добровольной пожарной охраны (далее - ДПО) по вопросам обеспечения пожарной безопасности в Украине. Исследованы нормативно-правовые акты, которые определяют основы формирования и деятельности подразделений добровольной пожарной охраны на современном этапе. Рассмотрены исторические аспекты возникновения и функционирования соответствующих группировок. Сформированы собственные выводы и предложения по оптимизации деятельности исследуемых подразделений.

Ключевые слова: добровольная пожарная охрана, пожарная безопасность, обеспечение пожарной безопасности.

Автори (алфавітний покажчик)

Абдиева-Алиева Г. А.	4
Абрамов Ю. А.	7
Баланюк В. М.	13
Биченко А. О.	18
Виноградов С. А.	55
Гончаренко С. І.	49
Грушовінчук О. В.	42
Гуліда Е. М.	25
Землянський О. М.	36
Калиновський А. Я.	81
Коваленко Р. І.	81
Ковалишин В. В.	42,49
Коваль О. М.	25
Ковальчик В. М.	49
Консуров М. О.	55
Копистинський Ю. О.	13
Кропива М. О.	62
Кучер П. П.	69
Лагно Д. В.	69
Лазаренко О. В.	76
Ларін О. М.	81,86
Магльована Т. В.	95
Мельник К. В.	13
Мосов С. П.	100
Назаренко С. Ю.	86
Сідней С. О.	106
Соколенко О. І.	112
Титаренко А. В.	81
Тищенко Є. О.	7
Чернобай Г. О.	86

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 Р 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_o , кг/м ³	φ_0	λ_0 , Вт/(м·К)	μ_n	K	Θ , кДж/кг	$T_{нп}$, °C	$T_{кп}$, °C	κ_v	$\Theta \cdot 10^{11}$, Вт/(м·К ⁴)	ψ
ВПМ-2	1150	0,25	0,23	0,085	0,25	1500	100	500	7	9,6	2,0
ВПМ-2'	1100	0,28	0,29	0,073	0,25	1500	100	510	7	8,5	0,5
СГК-1	950	0,27	0,53	0,043	0,44	3000	150	400	25	9,1	0,5
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.

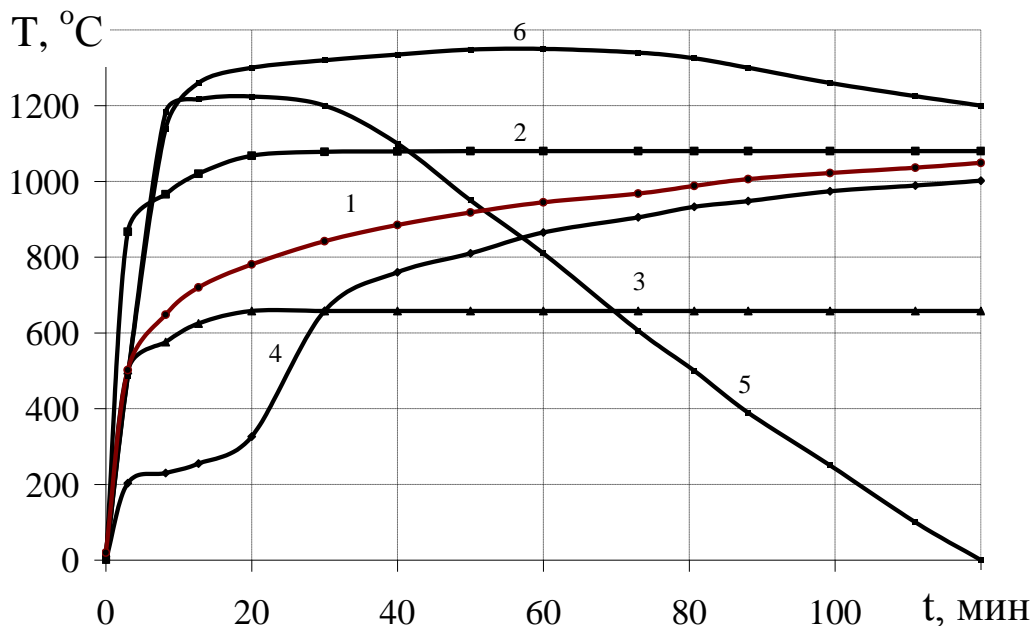


Рисунок 1 - Залежність зміни температури від тривалості вогневого впливу при різних темпах нагріву, де:

- 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. Шиляев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиляев Б. А., Воеводин В. Н. – Х. ННЦ ХФТИ, 2006. – 19 с. – (Препринт / НАН Украины, Нац. науч. центр "Харьк. физ. – техн. ин-т" ; ХФТИ 2006-4).</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 XIX 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 XIX– початок XX 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***
№ 19'2015

Збірник наукових праць



Підписано до друку 22.04.2014 р. Обл.-вид. арк. 8,3.

Тираж 100 прим. Замовлення № 24.

Віддруковано у секторі РВР ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.