



Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Академія пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля

№13'2013

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, 2013. – №13. – 159 с.**

ISSN 2307-9835

Редакційна колегія:

к.психол.н., професор *Кришталь М.А.* – головний редактор
к.пед.н., доцент *Капля А.М.* – заступник головного редактора
д.ф.-м.н., професор *Акіншин В.Д.* – науковий редактор
д.т.н., професор *Осипенко В.І.* – заступник наукового редактора
д.т.н., доцент *Поздєєв С.В.* – заступник наукового редактора
к.т.н. *Ковальов А.І.* – відповідальний секретар
д.т.н., професор *Бєліков А.С.*
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 *Жартовський В.М.*
д.т.н., професор *Касьянов М.А.*
д.т.н., професор *Круковський П.Г.*
д.військ.н., професор *Мосов С.П.*
д.психол.н., професор *Охременко О.Р.*
д.т.н., професор *Потєха В.Л.*
д.т.н., с.н.с. *Тарасенко О.А.*
к.психол.н., доцент *Бут В.П.*
к.т.н., доцент *Ступак Д.О.*
к.т.н., доцент *Баракін О.Г.*
к.психол.н., доцент *Вареник В.В.*
к.психол.н., доцент *Теслюк П.В.*
к.т.н., доцент *Заїка П.І.*
к.т.н., доцент *Левченко А.Д.*
к.т.н., доцент *Стась С.В.*
к.т.н., доцент *Тищенко О.М.*
к.т.н., доцент *Цвіркун С.В.*
к.т.н. *Качкар Є.В.*
к.т.н., с.н.с. *Кириченко О.В.*
к.ф.-м.н., доцент *Виноградов А.Г.*
к.т.н., доцент *Маладика І.Г.*

Рекомендовано до видання

***Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
(Протокол № 6 від 22.03.2013 р.)***

***Свідомство 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>Ковалев А.И.</i> Определение характеристики огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий для различных температурных режимов пожара.....	4
<i>Акинъшин В.Д., Гвоздь В.М., Баракин А.Г., Квашина О.В., Марченко В.А.</i> Повышение техногенной безопасности технологического процесса синтеза аммиака.....	10
<i>Гуліда Е.М., Мовчан І.О.</i> Забезпечення прийнятного пожежного ризику для соціально-культурних, громадських та адміністративних споруд.....	15
<i>Жартовський С.В.</i> Феноменологічна модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ДСА-2.....	20
<i>Желяк В.І., Лазаренко О.В., Регуш А.Я.</i> Дослідження адекватності методів розрахунку теплового потоку випромінювання від палаючого штабеля з деревиною.....	28
<i>Журбинський Д.А., Баланюк В.М.</i> Флегматизувальна ефективність аерозолів на основі солей калію.....	32
<i>Захарова М.В.</i> Метод вибору комплексів заходів і засобів протипожежного захисту в умовах невизначеності та аналіз його ефективності.....	38
<i>Каракоця А.В., Яценко І.П., Гненний О.П.</i> Дослідження характеристик фазованих антенних решіток для систем УКХ радіозв'язку ОРС ЦЗ України.....	43
<i>Карпенчук І.В., Максимов П.В.</i> Повышение эффективности аэрозольных установок пожаротушения газодинамическим охлаждением огнетушащей смеси.....	47
<i>Круковский П.Г., Чалая И.В., Перепелица М.С.</i> Анализ теплового состояния металлических колонн стадиона НСК «Олимпийский» при воздействии реального пожара (вопросы верификации).....	53
<i>Куценко С.В., Мусиенко М.П., Савинов В.Ю., Заика П.И.</i> Использование Ф-метода при разработке систем пожарной автоматики.....	60
<i>Лавренюк О.І.</i> Вплив дисперсних наповнювачів на горючість та фізико-механічні властивості епоксидних композицій.....	66
<i>Левченко А.Д., Левченко Д.Є., Кришталь В.М., Землянський О.М.</i> Комплекс раннього виявлення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.....	71
<i>Мандрик Л.М., Яценко І.П., Каракоця А.В.</i> Дослідження феномену агресивності майбутніх фахівців Державної служби України з надзвичайних ситуацій.....	79
<i>Нуянзін В.М., Поздєєв С.В., Поздєєв А.В., Ковальов А.І., Нуянзін О.М.</i> Аналіз впливу помилок у вимірюванні температур на похибку визначення теплофізичних характеристик бетону залізобетонної колони, яка зазнала впливу кліматичних факторів.....	86
<i>Нуянзін О.М., Поздєєв С.В., Андрієнко В.М., Єременко С.А.</i> Дослідження адекватності математичної моделі тепло масообміну випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій.....	91
<i>Попович В.В., Підгородецький Я.І., Паснак І.В., Руденко Д.В.</i> Гідравлічні випробування ручного пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача.....	101
<i>Потеха В.Л., Потеха А.В., Здор Г.Н.</i> Роботизированные системы пожаротушения в Республике Беларусь.....	106
<i>Рудешко І.В., Отрош Ю.А., Золотарьов В.В.</i> Особливості хімічного складу і механічних властивостей вогнестійких сталей.....	116
<i>Коваль О.М.</i> Швидкість розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів.....	123
<i>Кукуєва В.В., Романюк Р.В.</i> Квантово-хімічне дослідження інгібувальних властивостей гексафлуорпропану.....	132
АНОТАЦІЇ / ABSTRACTS	138
Автори (алфавітний покажчик)	148
Вимоги до оформлення статей	149

УДК 614.841.332

А.И. Ковалев, к.т.н., Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОЖАРА

В работе приведены результаты определения характеристики огнезащитной способности покрытия «Эндотерм 210104» многопустотного железобетонного перекрытия при различных температурных режимах пожара. Сделан вывод о минимально необходимой толщине исследуемого огнезащитного покрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия при различных режимах пожара.

Ключевые слова: многопустотные железобетонные перекрытия, огнестойкость, огнезащитное покрытие, огнезащитная способность, температурные режимы пожара.

Постановка проблемы. В работе [1] разработана методика определения характеристики огнезащитной способности (ХОС) покрытий железобетонных перекрытий с помощью расчетно-экспериментального метода, решением прямых и обратных задач теплопроводности. ХОС покрытия железобетонного перекрытия в данной работе определяется как зависимость необходимой толщины огнезащитного покрытия от толщины защитного слоя бетона (расстояние между поверхностью нагрева и близлежащей арматурой), при которых обеспечивается требуемый предел огнестойкости железобетонного перекрытия для предельных состояний по признаку потери теплоизолирующей способности или достижения критической температуры арматуры при заданном в испытании уровне нагружения.

В этой методике ХОС покрытий железобетонных перекрытий определяется, используя данные испытаний на огнестойкость таких перекрытий при стандартном температурном режиме [2], что не всегда удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к железобетонным конструкциям при их применении в других зданиях и сооружениях, например тоннелях, подземных стоянках, гаражах. На этих объектах пожары характеризуются большой скоростью нарастания температуры в начальной стадии и толщина огнезащитного покрытия, рассчитанная при стандартном температурном режиме, может не удовлетворять требованиям по безопасности при других температурных режимах пожара, например тоннельной кривой, углеводородной кривой.

Анализ последних достижений и публикаций.

Существует множество работ, посвященных вопросам определения предела огнестойкости железобетонных конструкций, обработанных огнезащитными веществами [3-5]. Во всех этих работах испытания железобетонных конструкций, обработанных средствами огнезащиты, проводили в условиях стандартного температурного режима пожара, а вопросы работы таких покрытий при других температурных режимах пожара остались не освещенными.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является раскрытие особенностей влияния температурных режимов пожара на характеристику огнезащитной способности покрытий многопустотных железобетонных перекрытий.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Необходимо поднять вопрос о том, как будет работать предложенная методика при других температурных режимах пожара, отличных от стандартного, и какая толщина огнезащитного покрытия при толщине защитного слоя бетона перекрытия обеспечит требуемый предел огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия с этим покрытием.

Изложение основного материала исследования.

Для решения поставленной задачи применялся метод, основанный на математическом моделировании тепловых процессов в многопустотном железобетонном перекрытии с огнезащитным покрытием [1]. Было выбрано одномерную математическую модель теплового состояния железобетонного перекрытия с разбивкой плиты на 6 слоев (рис. 1).

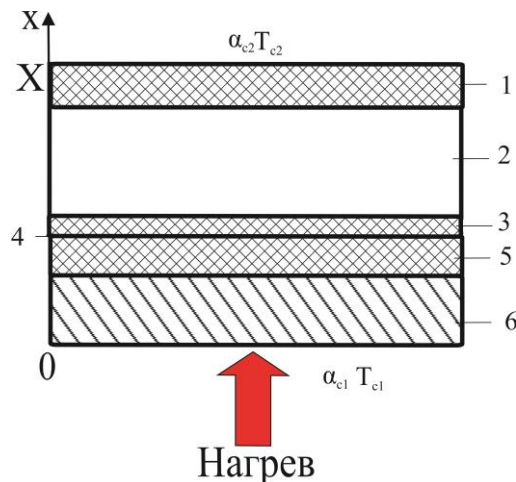


Рисунок 1 – Схема многопустотного железобетонного перекрытия в одномерной постановке: 1 – слой сплошного бетона между необогреваемой поверхностью и слоем с пустотами перекрытия; 2 – слой с пустотами; 3 – слой сплошного бетона между пустотами и арматурой; 4 – слой арматуры; 5 – слой сплошного бетона от арматуры до обогреваемой поверхности; 6 – штукатурное покрытие.

Общая толщина перекрытия с покрытием (рис. 1) составляет сумму толщин отдельных слоев перекрытия. При испытании нижняя поверхность перекрытия нагревается конвективно-радиационными механизмами теплообмена от горячих газов в печи с температурой T_{c1} , близкой к кривой стандартного пожара [6; 7]. Верхняя поверхность перекрытия охлаждается конвекцией в окружающий воздух с температурой $T_{c2} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Внутри перекрытия тепло передается не только теплопроводностью, а и конвективно-радиационными механизмами теплообмена в полостях перекрытия. Принимается условие идеального теплового контакта между отдельными слоями перекрытия.

Достижение поставленной в работе цели проводилось с помощью решения ряда тестовых задач теплопроводности по данным вычислительного эксперимента (ВЭ), т. е. решения ряда прямых задач теплопроводности (ПЗТ) с заданными теплофизическими характеристиками (ТФХ) бетона и огнезащитного покрытия.

Схема решения была выбрана максимально приближенно к испытаниям на огнестойкость многопустотных железобетонных перекрытий [8]. Для проведения ВЭ были выбраны многопустотные железобетонные перекрытия ПК 48-12-8т размерами 4780×1190 мм, толщиной 220 мм и огнезащитное покрытие «Эндотерм 210104» средней толщиной 37 мм. Коэффициент теплоотдачи на обогреваемой поверхности принимался равным $25\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, коэффициент теплоотдачи между необогреваемой поверхностью перекрытия и окружающим воздухом α_{c2} принимался зависящим от температуры по закону свободно конвективного теплообмена от горизонтальной поверхности [9], степень черноты бетона принималась равной 0,7. ТФХ бетона слоев 1,3 и 5 задавали из [10], а ТФХ слоя 2 (слой пустот с перемычками бетона) искали решением ОЗТ по методике, более подробно описанной в [11]. ТФХ покрытия задавали из [1]: коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры (рис. 2), удельная объемная теплоемкость постоянная и равная $1,01 \cdot 10^6\text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$.

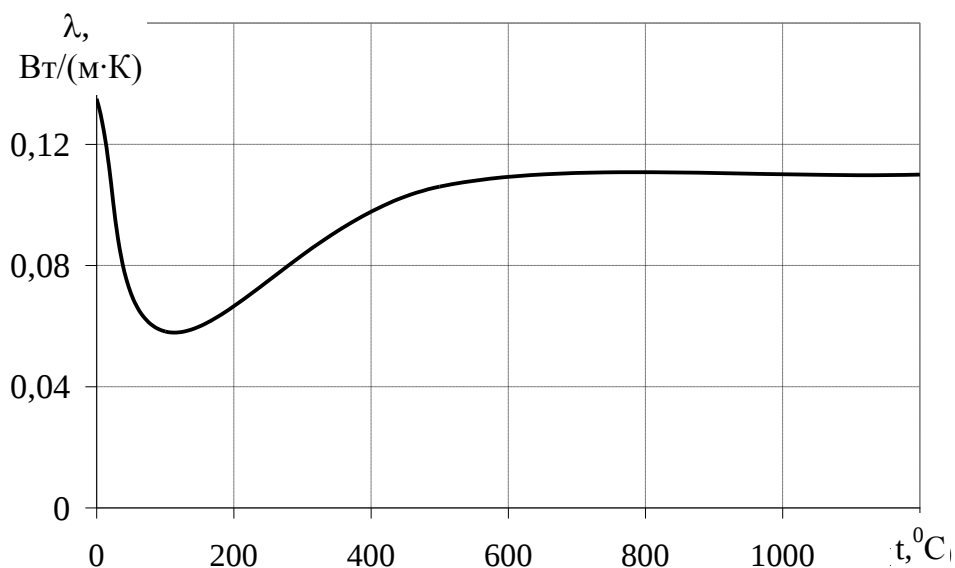


Рисунок 2 – Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности штукатурного покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ по данным испытаний на огнестойкость.

В тестовых задачах с помощью математической и компьютерной моделей, заданных ТФХ и граничных условий (ГУ) решением ПЗТ, получали нестационарное температурное распределение в многослойном железобетонном перекрытии и огнезащитном покрытии сначала при стандартном температурном режиме, а потом при режиме тоннельной кривой по стандартам Нидерландов (RWS) и углеводородной кривой (рис. 3). При решении серии ПЗТ, использовали предельное состояние конструкции по огнестойкости по достижению критической температуры 500 °C на арматуре со стороны огневого воздействия при заданном в испытании уровне нагружения.

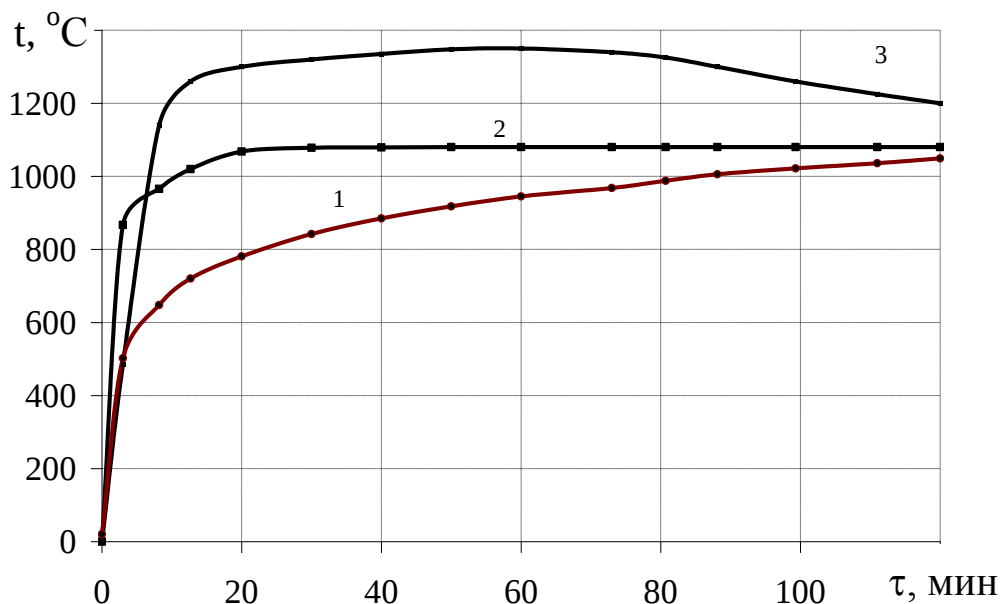


Рисунок 3 – Зависимость изменения температур от продолжительности огневого воздействия при различных режимах пожара, где:

- 1 – стандартная температурная кривая по ISO 834 и ГОСТ 30247.0-94;
- 2 – углеводородная кривая по EN 1363-2: 1999;
- 3 – тоннельная кривая по стандартам Нидерландов (RWS).

Стандартный температурный режим (рис. 3, кривая 1) является усредненной зависимостью и соответствует развитию пожара в помещениях жилых и общественных зданий. При этом полагается, что пожарная нагрузка эквивалентна 50 кг/м² древесины.

Вместе с тем, температурный режим пожара (изменение во времени среднеобъемной температуры среды при пожаре) в помещениях различных зданий и сооружений может существенно отличаться [12]. Поэтому используются и другие температурные режимы пожаров.

Горение различных углеводородных топлив (ЛВЖ и ГЖ) характеризуется быстрым повышением температуры до 1100 °С (рис.3, кривая 2). Такие пожары возможны на объектах нефтегазового и нефтехимического комплексов. В этом случае для оценки огнестойкости строительных конструкций используется «углеводородная кривая» [13], которая характеризуется зависимостью:

$$T=1080[1-0,325 \exp (-0,167t)-0,675 \exp (-2,5t)+20] \quad (1)$$

Другой возможный вид горения различных углеводородных топлив – пожар в тоннеле. В этих условиях, когда отвод тепла от очага затруднен, создается интенсивный температурный режим – «тоннельная кривая». Температура пожара может достигать 1200 °С и выше уже через 5–10 мин. В Нидерландах температурная кривая RWS [14] используется для оценки тепловых и механических свойств огнезащитных покрытий тоннелей, в которых разрешена транспортировка опасных грузов. Эта кривая (рис. 3, кривая 3) характеризуется быстрым повышением температуры до 1200 °С в первые минуты и дальнейшим более медленным ее нарастанием до 1350 °С.

Для этих температурных режимов характерен более быстрый рост температуры. Ввиду больших габаритов, сложной структуры и пространственной формы строительных конструкций подземных сооружений данного типа, экспериментальное определение их фактических пределов огнестойкости сопряжено с неоправданно большими затратами.

Поэтому наиболее эффективным методом для проведения исследований по определению влияния температурных режимов пожара на ХОС покрытий железобетонных перекрытий был выбран расчетно-экспериментальный метод, который является совокупностью экспериментальных и расчетных процедур, позволяющих с требуемой точностью определить искомую характеристику исследуемого объекта.

Решением серии ПЗТ, на основе одномерной математической модели теплового состояния железобетонного перекрытия, были получены толщины огнезащитного штукатурного покрытия «Эндотерм 210104» для требуемого предела огнестойкости перекрытия 180 мин (табл. 1).

Таблица 1 – Значения минимальной толщины покрытия «Эндотерм 210104» для обеспечения требуемого предела огнестойкости перекрытия 180 мин

Толщина защитного слоя бетона многпустотного железобетонного перекрытия, мм	Минимальная толщина огнезащитного покрытия, мм		
	Стандартный температурный режим	Режим углеводородного пожара	Режим тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS)
10	15,5	17,3	20
30	10,98	12,7	15,1
40	8,85	10,55	12,7
60	4,73	6,3	8,1

При этом принималось допущение, что для решения ПЗТ по определению ХОС покрытия при режиме углеводородного пожара и режиме тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS), ТФХ огнезащитного покрытия задавали найденные решением ОЗТ, используя данные испытаний на огнестойкость многопустотного железобетонного перекрытия при стандартном температурном режиме пожара.

Зависимости толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» при толщине защитного слоя бетона 10-60 мм для обеспечения требуемого предела огнестойкости перекрытия в 180 мин показаны на рис. 4.

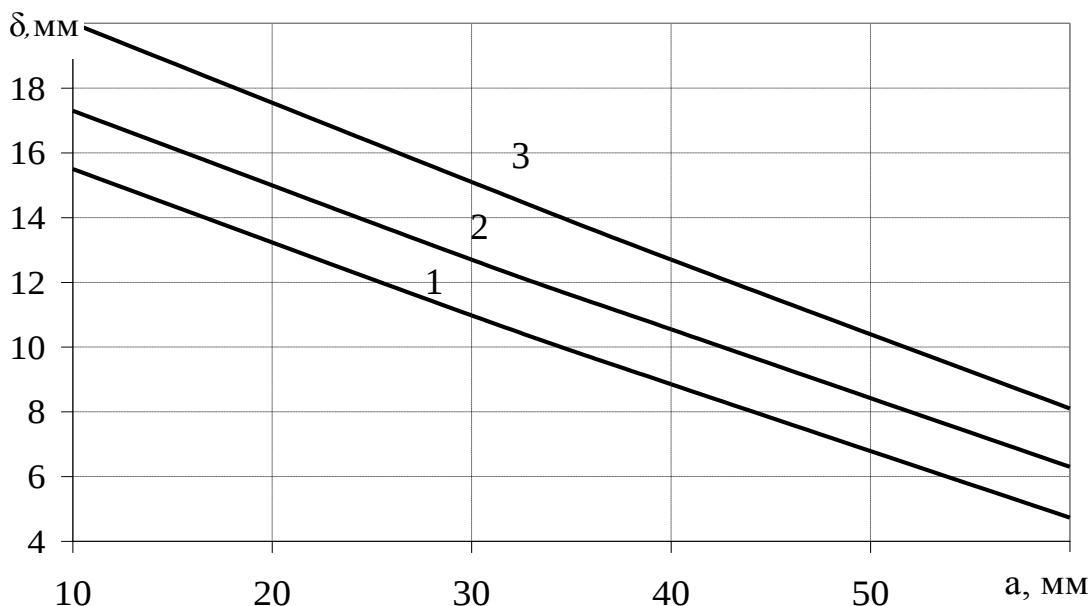


Рисунок 4 – Характеристика огнезащитной способности штукатурного покрытия «Эндотерм 210104» по критерию достижения критической температуры арматуры (500 °С) для предела огнестойкости 180 мин: 1 – для стандартного температурного режима; 2 – для режима углеводородного пожара; 3 – для режима тоннельного пожара по стандартам Нидерландов (RWS).

Как видно из рис. 4, значение минимальной толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104», которое обеспечивает требуемый предел огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия, которое рассчитано для стандартного температурного режима пожара, значительно меньше от значения для других температурных режимов. В результате установлено, что разница между значениями необходимой толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для стандартного температурного режима и температурного режима углеводородного пожара составляет около 12 %, а разница между значениями необходимой толщины огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для стандартного температурного режима и температурного режима по стандартам Нидерландов (RWS) – 29 %.

Выводы.

Определено влияние температурных режимов пожара на характеристику огнезащитной способности исследуемого огнезащитного покрытия «Эндотерм 210104» для обеспечения требуемого предела огнестойкости многопустотного железобетонного перекрытия. При этом установлено, что максимальные значения минимальной толщины покрытия от 8,1 до 20 мм отмечаются для температурного режима пожара по стандартам Нидерландов (RWS), а минимальные значения от 4,73 до 15,5 мм – для стандартного температурного режима.

Перспективой дальнейших исследований есть усовершенствование методики определения характеристики огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий, используя теплофизические характеристики бетона и покрытия по результатам испытаний на огнестойкость при других температурных режимах пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А.И. Усовершенствование метода оценки огнезащитной способности покрытий железобетонных перекрытий: дисс. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Ковалев Андрей Иванович. – К., 2012. – 163 с.
2. Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ): ДСТУ Б В.1.1-20:2007. – [Чинний від 2007-10-26]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 14 с. – (Національний стандарт України).
3. Голованов В. И. Эффективность средств огнезащиты железобетонных блоков сборной обделки Лефортовского тоннеля / В. И. Голованов, В. В. Павлов, А. В. Пехотиков. – М.: Пожарная безопасность. – 2004. – № 2. – С. 54 – 55.
4. Методика проведения испытаний по определению эффективности средств огнезащиты железобетонных блоков сборной обделки для сооружения Лефортовского тоннеля закрытым способом. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2003 – 21 с.
5. Яковлев А. И. Огнестойкость железобетонных конструкций / А. И. Яковлев // Пожарная профилактика и тушение пожаров: Информац. сб. ВНИИПО. – М.: Стройиздат, 1970. – № 6. – С. 18–26.
6. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Владимир Миронович Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
7. Термодинамика пожаров в помещениях / [Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
8. Круковский П.Г. Методика определения характеристики огнезащитной способности покрытий многопустотных железобетонных плит перекрытий / П.Г. Круковский, А.И. Ковалев // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2011. – № 1 (23). – С. 87–101.
9. Качкар Е. В. Обоснование параметров трехслойных перегородок с минераловатными плитами для зданий и сооружений с учетом их огнестойкости : дис. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Качкар Евгений Владимирович. – К., 2009. – 157 с.
10. EN 1992-1-2: 2004 Eurocode 2 : Design of concrete structures – Part 1–2 : General rules – Structural fire design (Еврокод 2 : Проектування залізобетонних конструкцій – Частина 1–2 : Загальні вимоги. Вогнестійкість).
11. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 218 с.
12. Кошмаров Ю. А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / Ю. А. Кошмаров, М. П. Башкирцев. – М. : ВИПТИШ МВД СССР, 1987. – 444 с
13. EN 1363-2: 1999 Fire resistance tests – Part 2 : Alternative and additional procedures (Испытания на огнестойкость. Часть 2 : Альтернативные и дополнительные процедуры).
14. Haak A. Einführung in das EUREKA-Projekt/BMBF – Forschungs-projekt // Brandschutz in unterirdischen Verkehrsanlagen, Dresden, 1995. – S. 6–18
15. Круковский П. Г. Расчетно-экспериментальный подход к анализу процессов тепломассообмена (методология и примеры применения) / П. Г. Круковский // Промышленная теплотехника (приложение к журналу). – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 396–398.

УДК 621.316

В.Д. Акиншин, д.ф.-м.н., проф., В.М. Гвоздь, к.т.н., доц., А.Г. Баракин, к.т.н., доц.,
О.В. Квашнина, к.т.н., доц., В.А. Марченко
Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА

С целью повышения техногенной безопасности технологического процесса синтеза аммиака разработана система автоматического управления технологическим процессом пуска колонны синтеза аммиака, исследованы и оптимизированы регулировочные характеристики преобразователя напряжения.

Ключевые слова: техногенная безопасность, синтез аммиака, технологический процесс, регулятор напряжения.

Постановка проблемы. Химические предприятия Украины, связанные с переработкой природного газа и синтезом аммиака, являются потенциально опасными объектами. Не все элементы технологического процесса синтеза аммиака обладают должной устойчивостью и надежностью в нормальных условиях работы, поэтому существует опасность возникновения чрезвычайных ситуаций и катастроф. Даже небольшие аварии способны привести к людским потерям и тяжелым экологическим последствиям. В общем случае последствия аварии могут проявляться не только в рабочей зоне, но и за ее пределами. Так, при возникновении аварии и разгерметизации колонны, облако зараженного воздуха может распространяться на десятки километров, вызывая поражения населения. Аммиак является одним из наиболее распространенных и, следовательно, опасных для городского населения промышленных сильнодействующих ядовитых веществ. Острое отравление газообразным аммиаком характеризуется клинической картиной различной степени тяжести, варьируемой от простого раздражения слизистых оболочек до смерти.

В настоящее время, процесс получения аммиака проводят в колоннах синтеза при следующих условиях: температура 500°C , давление 350 атмосфер, катализатор. Выход на рабочую температуру осуществляется с помощью трехфазного электронагревателя установленной мощностью 1500 кВт, размещенного в колонне синтеза. Существующие схемы электропитания не предусматривают автоматического регулирования температуры внутри колонны, что может привести к авариям электронагревателя [1] и вынужденной разгерметизации колонны. В настоящее время при эксплуатации электронагревателя колонны синтеза аммиака при остановке технологического процесса и повторном включении электронагревателя сопротивление изоляции между нагревательными элементами, а также между нагревательными элементами и оболочкой колонны резко уменьшается из-за повышения влажности катализатора. Величина изоляции, вместо предусмотренной по техническим условиям 200 кОм, уменьшается в десятки тысяч раз, и становится равной десяткам, а иногда и единицам Ом. Включение электронагревателя на полное напряжение при сниженном сопротивлении изоляции приводит к аварийному режиму и выходу из строя электронагревателя.

Это становится причиной простоя технологического оборудования и значительным материальным затратам на ремонт или замену электронагревателя, кроме того происходят выбросы в атмосферу ядовитых химических соединений.

Анализ последних достижений и публикаций.

Требования, предъявляемые к электрооборудованию, которое используется в пожароопасных и взрывоопасных зонах подробно рассматриваются в нормативных документах [1,2]. Предлагаются различные методы регулирования силового напряжения на нагрузке [3,4,7], однако, непосредственно применить их для электронагревателя колонны

синтеза амміака не представляється можливим из-за необхідності включення преобразователя напруги на вторичній стороні силового трансформатора. Однак це реалізувати не представляється можливим, так як силовий трансформатор розташований на колонні синтезу амміака в агресивній середі. Крім того, ток навантаження трансформатора становить 1800 А. Обеспечити надійну роботу тиристорного регулятора перемінного напруги в хімічно агресивній середі при широкому діапазоні змінення температури і вологості дуже складно.

Постановка задачі і її рішення. Покращення техногенної безпеки пуску колонні синтезу амміака може бути досягнуто шляхом розробки оптимального алгоритму управління пуском і синтезом системи автоматичного регулювання температури з заданими критеріями якості. Єдиним способом рішення цієї задачі є поступове підвищення напруги живлення на електронагрівателі. Це дасть можливість на зниженому напругу зменшити вологість всередині колонні і потім забезпечити безаварійний пуск колонні синтезу амміака [5,6].

Изложение основного материала исследования.

В публікаціях [5,6] авторами був запропонований і розроблений силовий тиристорний регулятор напруги, що дозволяє в широкому діапазоні регулювати високовольтне напругу на трьохфазному силовому трансформаторі.

На рис. 1 представлена система автоматичного регулювання (САР) температури з одночасним контролем тиску всередині колонні синтезу амміака.

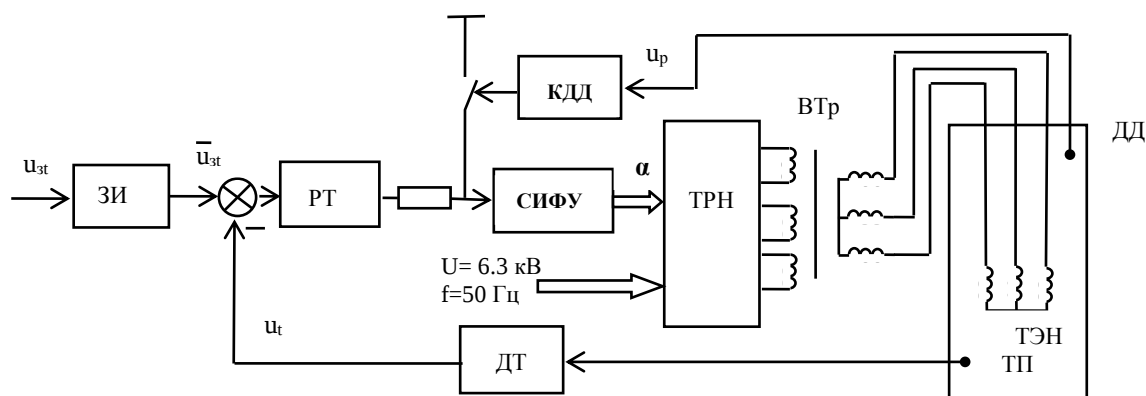


Рисунок 1 – Система автоматичного регулювання температури колонні синтезу амміака.

На вхід САР від контролера подається сигнал задання температури в колонні u_{zt} . Для виключення режиму короткого замикання из-за високої вологості в колонні при пуску [5] на вході САР стоїть датчик інтенсивності змінення температури (ЗИ). Таке рішення дозволяє просушити теплові елементи електронагрівателя (ТЭН), тим самим виключити режим короткого замикання. САР замкнута по температурі. Всередині колонні знаходиться термопара (ТП), що вимірює температуру середі, сигнал з якої поступає на датчик температури (ДТ), являючийся диференціальним усилителем. С виходу регулятора температури (РТ) сигнал помилки поступає на систему імпульсно-фазового управління (СИФУ). СИФУ виконана одноканальною, во избежание несимметрии в вихідному напругу (u^*) тиристорного регулятора напруги (ТРН), що може привести до появи постійної складової в вихідному напругу ТРН, і, як наслідок цього, до швидкого намагнічування високовольтного трансформатора (ВТр) і виникненню аварійного режиму в системі [6].

Крім регулювання температури здійснюється контроль робочого тиску всередині колонні з допомогою датчика тиску (ДД).

Контролер датчика тиску (КДД) при досягненні робочих значень тиску всередині колонні обнуляє сигнал на вході СИФУ, тим самим виключає з роботи ТЭН. В результаті цього припиняється подальший ріст температури всередині колонні і, як

следствие этого, рост давления. При температуре 500⁰ С и давлении 350 атмосфер наступает равновесие реакции синтеза аммиака.

Действующее напряжение на выходе ТРН, а также его минимальное значение будем выражать в относительных единицах по отношению к номинальному напряжению на нагрузке, которое может обеспечить данный регулятор. В диапазоне регулирования выходного напряжения выполняется следующее соотношение:

$$1 \geq U^* \geq U_{\min}^* . \quad (1)$$

Здесь и далее звездочка в индексе указывает на относительное значение; $1/U_{\min}^*$ определяет диапазон регулирования действующего значения выходного напряжения. Временные диаграммы, представленные на рис. 2, поясняют процесс регулирования выходного напряжения на нагрузке при различных значениях сигнала управления U_{δ}^* .

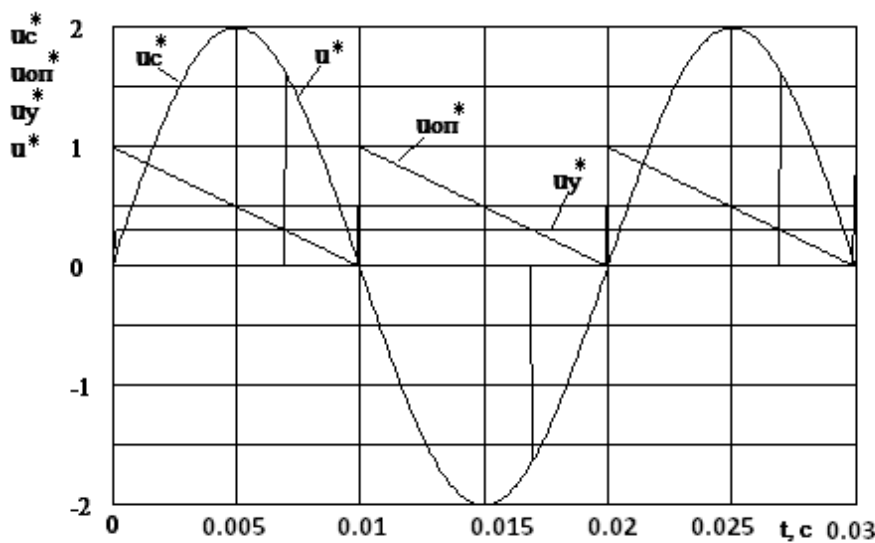


Рисунок 2 – Временные диаграммы ТРН с вертикальным принципом управления.

На временных диаграммах приняты следующие обозначения: u_c^* - напряжение питающей сети; u^* - выходное напряжение преобразователя; u_n^* - опорное напряжение системы импульсно-фазового управления; u_y^* - напряжение управления.

Максимальный диапазон регулирования напряжения равен 20, при этом диапазон изменения мощности на ТЭН составит 400, эта величина вполне достаточна для обеспечения безаварийного выхода колонны на рабочий режим. На максимальном диапазоне регулирования выходное напряжение равно 0,315 кВ, а мощность в нагрузке 3,75 кВт.

Определим действующее значение приведенного напряжения на нагрузке для различных моментов включения тиристоров:

$$U^* = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^T \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} t - \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right) \Big|_t^T} . \quad (2)$$

С учетом того, что дискретность работы преобразователя $T = 0,01$ с выражение для приведенного действующего значения напряжения на нагрузке принимает вид:

$$U^* = \sqrt{(0,5 - 50t_1 + 0,08 \sin 628t_1)}, \quad (3)$$

где t_1 - момент включения соответствующего тиристора, отсчитанный от момента перехода фазного напряжения через нуль из минуса в плюс.

Регулировочная характеристика преобразователя напряжения $U^* = f(t_1)$, а также его коэффициент передачи по действующему значению выходного напряжения $K_u = U^* / U_y^*$ представлены на рис.3. Регулировочная характеристика преобразователя имеет ярко выраженный нелинейный характер, а коэффициент передачи имеет экстремум при угле управления 90 электрических градусов, причем его величина в заданном диапазоне изменения углов управления изменяется в десятки раз.

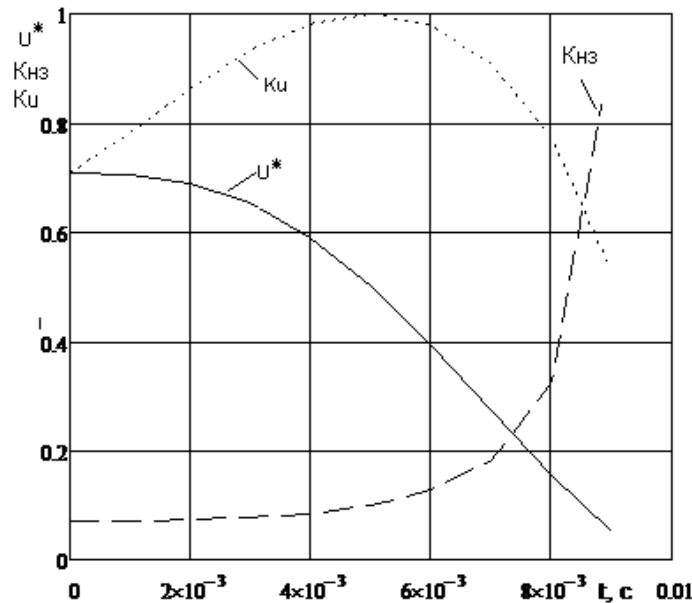


Рисунок 3 – Зависимости выходного напряжения и коэффициента передачи ТРН.

Линеаризация регулировочной характеристики преобразователя возможна путем изменения вида опорного напряжения или включением на входе СИФУ нелинейного звена, имеющего характеристику, обратную регулировочной характеристике преобразователя. При линейном опорном напряжении предпочтительнее использовать второй способ, т.к. он значительно проще в технической реализации. Функциональная схема системы импульсно-фазового управления ТРН с вертикальным принципом управления в этом случае примет следующий вид (рис.4).

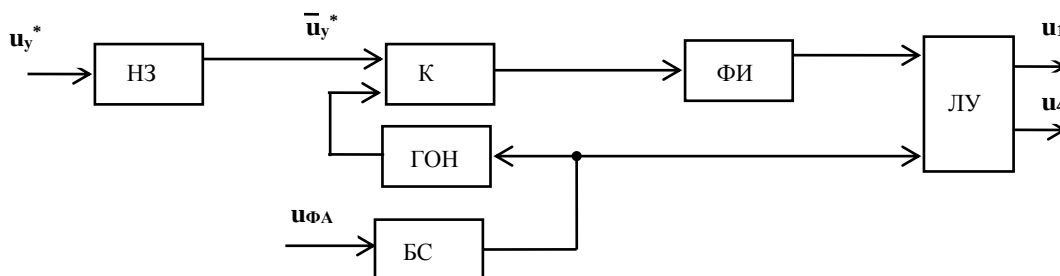


Рисунок 4 - Функциональная схема СИФУ.

Фазное напряжение $U_{\phi A}$, синхронизирующее работу СИФУ, поступает с трансформатора синхронизации на блок синхронизации (БС), который формирует прямоугольные импульсы синхронизации, соответствующие зонам работы тиристорov. Генератор опорного напряжения (ГОН) формирует пилообразное опорное напряжение. На

компараторе (К) происходит сравнение опорного напряжения и сигнала управления, которое подается на компаратор с нелинейного звена. Формирователь импульсов формирует прямоугольные импульсы управления для встречно параллельно включенных тиристоров одной фазы. В логическом устройстве (ЛУ) прямоугольные импульсы управления распределяются по тиристорам в соответствии с сигналами из блока синхронизации. Коэффициент передачи нелинейного звена в зависимости от момента включения соответствующего силового ключа будет иметь вид:

$$K_{из} = \frac{1}{\sqrt{(0,5 - 50t_1 + 0,08 \sin 628t_1)}} . \quad (4)$$

Кривая изменения $K_{из} = f(t_1)$ представлена на рис.3.

Техническую реализацию нелинейного звена лучше выполнить на цифровых элементах, так как при его аналоговом выполнении будет достаточно большая погрешность.

Выводы.

В работе доказана возможность реализации безаварийного пуска технологического процесса колонны синтеза аммиака даже при сниженном сопротивлении изоляции и при повышенной влажности катализатора в середине колонны. Проведен синтез системы автоматического регулирования температуры среды в колонне синтеза аммиака при постоянном контроле давления.

Получена регулировочная характеристика действующего значения выходного напряжения преобразователя от сигнала управления и коэффициента передачи тиристорного регулятора напряжения. Предложен метод линеаризации регулировочной характеристики преобразователя путем установки нелинейного звена в канале сигнала управления. Получено аналитическое выражение для коэффициента передачи нелинейного звена.

Перспективы дальнейших исследований. Для выяснения влияния преобразователя на питающую сеть необходимо определить установившиеся спектральные характеристики, т.е. амплитуды, частоты и фазы их составляющих для различных моментов включения силовых ключей. Спектральные характеристики кривых выходного напряжения и тока описывают технические свойства преобразователя. Практически важно определить коэффициент искажения входного тока, коэффициент сдвига фаз на входе, коэффициент мощности на входе, относительные амплитуды и частоты искажающих составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене — Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.
2. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 1998. — 380 с.
3. Gyugyi L., Pelly B. Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application. — New York, John. Wiley and Sons, 2004. — 442 с.
4. Pelly B. Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters: Operation, Control, and Performance. — New York, John. Wiley and Sons, 1997. — 434 с.
5. Баракін А.Г. Повышение безопасности производства аммиака / А.Г. Баракін, О.В. Квашнина, А.И. Кулинич // XII Науково-методична конференція. Одеса 2008.—С. 26-28.
6. Баракін О.Г. Система фазового управління електронагрівача колони синтезу аміаку / О.Г. Баракін, О.В. Квашнина // Вісник інженерної академії України № 2, 2012. — С. 275-278.
7. R. Carbone, P. Corsonello, M. Fantauzzi, A. Scappatura: "Power Factor Correctors for Single-phase Rectifiers: a Comparative Performance Analysis". 3th IASTED Intern. Conf. EUROPES 2003, September 3-5, 2003, Marbella, Spain.

УДК 614.843 (075.32)

Е.М. Гуліда, д.т.н., проф., І.О. Мовчан, к.т.н.
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙНЯТНОГО ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ ДЛЯ СОЦІАЛЬНО-КУЛЬТУРНИХ, ГРОМАДСЬКИХ ТА АДМІНІСТРАТИВНИХ СПОРУД

На підставі аналізу результатів статистики та використання методів математичної статистики були отримані залежності для визначення прямих збитків від пожеж і витрат на протипожежний захист споруд міста. Це дозволяє значно підвищити якість прогнозу при виконанні дій, які пов'язані з оптимізацією та управлінням пожежними ризиками, які залежать в першу чергу від прямих збитків, що виникли в результаті пожежі та витрат на спорядження протипожежного захисту об'єктів міста.

Ключові слова: прийнятний пожежний ризик, прямі збитки від пожежі, витрати на протипожежний захист.

Постановка проблеми. Результати аналізу статистичних даних показують, що з кожним роком кількість пожеж в містах України зростає з одночасним зростанням кількості загиблих людей унаслідок пожеж. Тому в державі необхідно впроваджувати такі заходи, які б зменшували кількість жертв в будь-яких надзвичайних ситуаціях. В цьому напрямку основним заходом попередження та запобігання надзвичайних ситуацій, в тому числі і пожеж, є визначення на підставі прогнозу пожежного ризику виникнення надзвичайних ситуацій.

У сфері пожежної безпеки користуються терміном «пожежний ризик», тобто це є міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкту захисту та її наслідків для людей і матеріальних цінностей. Гарантування пожежної безпеки об'єктів захисту складається з визначення, аналізу та оцінювання ризику, що дозволяє розробляти і впроваджувати відповідні заходи для зменшення їх значень до прийнятного значення. В свою чергу пожежний ризик вказує на відповідну імовірність виникнення пожежі на об'єкті. Тому, знаючи імовірність виникнення пожежі, очікувану величину втрат та здійснюючи управлінські заходи, можна уникнути пожежі або у випадку її виникнення мінімізувати наслідки від неї та передбачити ефективні компенсаційні заходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою аналізу та управління пожежними ризиками останнім часом займаються в багатьох країнах світу. Значний вклад в розвиток цього напрямку науки внесло багато вчених, у числі яких М.М. Брушлінський, В.В. Холщевніков, Д.О. Самошин, В.В. Бегун та інші.

В більшості випадків визначення пожежного ризику базується на статистичних даних [1]. При цьому неможливо розрахувати його значення для об'єктів, на яких не відбувалися пожежі, і відповідно неможливо виконати прогноз їх пожежної безпеки.

Згідно із рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я [2] пожежні ризики класифікують так: 1) незначний ризик $\varepsilon \leq 10^{-6}$; 2) прийнятний ризик $\varepsilon = 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$; 3) високий (терпимий) ризик $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$; 4) неприйнятний ризик $\varepsilon > 5 \cdot 10^{-4}$.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розроблення методу визначення та оптимізації пожежного ризику до прийнятного значення з урахуванням заходів з відповідними витратами для забезпечення пожежної безпеки об'єкту захисту. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розробити методологію визначення пожежного ризику з використанням основних положень теорії надійності та теорій імовірностей і математичної статистики, прийняти відповідний критерій оптимізації і на підставі оптимізації, визначивши прийнятне значення пожежного ризику.

Виклад основного матеріалу. Основною задачею в процесі використання теорії прийняття рішення є вибір оцінки для прийняття відповідного рішення, тобто вибір певного критерія для прийняття цього рішення [3]. Наприклад, для прийняття рішення P_{ij} його необхідно оцінити за відповідним варіантом (надуманою пожежною ситуацією) B_i та умовами U_j , які можуть характеризуватися відповідними економічними показниками. Такими показника-

ми можуть бути, наприклад, витрати у вигляді прямих збитків від пожежі та витрати пожежно-рятувальних частин [4]. Для оптимізації пожежного ризику такий підхід є дуже складним і не обґрунтованим.

Згідно із загальною класифікацією, критеріальні задачі поділяють на класи [5]. Задачі, які пов'язані з визначенням пожежних ризиків на різних об'єктах, можуть бути віднесені до третього класу. В цьому випадку технічна система повинна функціонувати в різних умовах, з яких для кожної якості функціонування характеризується деякими частковими критеріями. Часткові критерії мають у задачах цього класу однакову природу й однакову розмірність.

Для визначення часткових критеріїв, які можливо використовувати в процесі оптимізації пожежного ризику об'єктів міста, скористуємося статистичними даними, наприклад, для міста Львова [6]. Дані, які наведені в [6], розглядалися для останніх п'яти років, на підставі яких було визначено, що в місті Львові в середньому за один рік виникає всього приблизно 501 пожежа при загальній кількості $N_o = 85600$ споруд житлового сектору, виробничого призначення, торговельно-складського, соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення міста Львова за ЄДРПОУ. Із загальної кількості об'єктів споруди соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення складають $N_c = 81768$ при загальній кількості пожеж на цих спорудах $N_n = 391$. В цьому випадку пожежний ризик на цих об'єктах буде

$$\varepsilon = \frac{N_n}{N_c} = \frac{391}{81768} = 4,78 \cdot 10^{-3}. \quad (1)$$

Визначене значення пожежного ризику $\varepsilon = 4,78 \cdot 10^{-3}$ відповідає згідно із рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я неприйнятному ризику. Таке значення пожежного ризику дозволяє зробити висновок про те, що в місті на спорудах соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення можуть виникати пожежі.

Для того, щоб ліквідувати цю загрозу і забезпечити потрібний пожежний ризик, розглянемо **метод визначення та оптимізації пожежного ризику**, згідно якого необхідно:

1. *Отримати існуючі дані статистики (звітні)* за останній період про прямі збитки від пожеж та витрати на спорядження протипожежного захисту об'єктів міста в залежності від пожежного ризику ε . На підставі оброблення статистичних даних методом математичної статистики отримуємо кореляційні залежності:
для визначення прямих збитків Z від пожеж

$$Z = 3023,3 \ln(\varepsilon \cdot 10^5) + 14948, \text{ тис. грн}; \quad (2)$$

для визначення витрат B на протипожежний захист

$$B = 22837(\varepsilon \cdot 10^5)^{-0,083}, \text{ тис. грн}. \quad (3)$$

2. *Визначити на кінець звітного періоду існуючі збитки від пожеж і витрати на протипожежний захист на спорудах соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення за залежностями (2) і (3) при $\varepsilon = 4,78 \cdot 10^{-3}$:*
існуючі прямі збитки Z_1 від пожеж

$$Z_1 = 3023,3 \ln(4,78 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5) + 14948 = 33600,6 \text{ тис. грн};$$

існуючі витрати B_1 на протипожежний захист

$$B_1 = 22837(4,78 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5)^{-0,083} = 13685 \text{ тис. грн}.$$

3. Вибрати значення пожежного ризику, який необхідно забезпечити для споруд соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення, виходячи з рекомендованих даних. Для прийнятного пожежного ризику його значення змінюються в межах від мінімального $\varepsilon = 10^{-6}$ до максимального $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-5}$. Приймаємо середнє значення **прийнятного** пожежного ризику $\varepsilon = 2,5 \cdot 10^{-5}$;

4. Визначити для вибраного значення пожежного ризику сумарні прогнозовані витрати B_{Σ} на протипожежний захист за залежністю (3)

$$B_{\Sigma} = 22837(2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^5)^{-0,083} = 21164 \text{ тис. грн.}$$

5. Визначити додаткові прогнозовані витрати B_2 для зменшення пожежного ризику до **прийнятного** значення

$$B_2 = B_{\Sigma} - B_1 = 21164 - 13685 = 7479 \text{ тис. грн.}$$

6. Скласти заходи, згідно яких визначити придбання та облаштування споруд відповідними протипожежними засобами. Наприклад, влаштування на об'єктах торговельно-складського, соціально-культурного та адміністративного призначення, на яких знаходиться значна кількість людей, системи сповіщення та управління евакуацією людей III типу за витратами на придбання та влаштування 2100 грн, а також сповіщувачів пожежних теплових типу АРТОН СПД-3.5 за ціною 65,97 грн і влаштуванням за одну одиницю в сумі 24 грн.

Системи сповіщення та управління евакуацією людей III типу встановлюємо на об'єктах, на яких виникали пожежі, тобто на 391 об'єкті, а пожежні сповіщувачі по 4 штуки на 18500 об'єктах з великим значенням пожежного ризику. В цьому випадку дійсні витрати будуть складати

$$B_{20} = 2100 \cdot 391 + 89,97 \cdot 4 \cdot 18500 = 747888 \text{ грн} = 7478,9 \text{ тис. грн.}$$

7. Визначити прогнозоване значення пожежного ризику за залежністю (3)

$$(\varepsilon_{np} \cdot 10^5)^{0,083} = \frac{22837}{7478,9} = 3,05;$$

тоді $\varepsilon_{np} = 1,1 \cdot 10^{-5}$.

8. Визначити зменшення збитків ΔZ від пожежі від впровадження прогнозованого пожежного ризику $\varepsilon_{np} = 1,1 \cdot 10^{-5}$ в порівнянні з існуючим $\varepsilon = 4,78 \cdot 10^{-3}$

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2 = 33600,6 - [3023,3 \ln(1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 10^5) + 14948] = 18364,4 \text{ тис. грн,}$$

що відповідає зменшенню збитків на 54,6% при відповідному зменшенні пожежного ризику.

9. Визначити мінімально можливе оптимальне значення пожежного ризику, наприклад, для умов (2) і (3), з отриманням рівняння у вигляді функції у, яка формується як сума залежностей (2) і (3). Після цього від цієї функції беремо похідну та прирівнюємо її до нуля. Перевірку мінімуму пожежного ризику виконуємо за рахунок визначення зміни знака похідної зліва і справа від мінімального значення. Якщо знак міняється з мінуса на плюс, то значення пожежного ризику буде мінімальним. Тепер перейдемо до визначення мінімального значення пожежного ризику для міста Львова. Для цього записуємо значення функції у

$$y = 3023,3 \ln(\varepsilon \cdot 10^5) + 14948 + 22837(\varepsilon \cdot 10^5)^{-0,083}. \quad (4)$$

Після цього визначаємо похідну від функції (4) та прирівнюємо її значення до нуля

$$\frac{dy}{d\varepsilon} = \frac{3023,3}{\varepsilon \cdot 10^5} - 1895,5(\varepsilon \cdot 10^5)^{-1,083} = 0. \quad (5)$$

Результати розрахунку для міста Львова дозволили встановити, що оптимальне значення прийнятного пожежного ризику дорівнює $\varepsilon_{on} = 6,87 \cdot 10^{-6}$. При цьому умова мінімуму перевірялася за залежністю (5) зі значеннями $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-6}$ та $\varepsilon = 9 \cdot 10^{-6}$. Було встановлено, що знак похідної змінюється з «-» на «+», тобто умова мінімуму підтверджена.

10. *Визначити значення додаткових витрат B_{3on} при впровадженні оптимального пожежного ризику $\varepsilon_{on} = 6,87 \cdot 10^{-6}$ в порівнянні з прогнозованим пожежним ризиком $\varepsilon_{np} = 1,1 \cdot 10^{-5}$*

$$B_{3on} = B_{\Sigma on} - (B_1 + B_{2d}) = 22837(6,87 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5)^{-0,083} - (13685 + 7478,9) = 2395,9 \text{ тис. грн.}$$

11. *Визначити зменшення збитків ΔZ_{on} при впровадженні заходів, які б забезпечували оптимальне прогнозоване значення прийнятного пожежного ризику $\varepsilon_{on} = 6,87 \cdot 10^{-6}$ в порівнянні з існуючим $\varepsilon = 4,78 \cdot 10^{-3}$*

$$\Delta Z_{on} = Z_1 - Z_3 = 33600,6 - [3023,3 \ln(6,87 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5) + 14948] = 19787,6 \text{ тис. грн.}$$

Результати аналізу методу визначення та оптимізації пожежного ризику до прийнятного значення дозволяють, наприклад, для міста Львова отримати графічну залежність впливу величини пожежного ризику для споруд соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення на витрати для протипожежного захисту (рис. 1).



Рисунок 1 – Вплив величини пожежного ризику для споруд соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення на витрати для їх протипожежного захисту

При зменшенні, наприклад, пожежного ризику з величини $\varepsilon = 2,5 \cdot 10^{-5}$ до $\varepsilon = 0,687 \cdot 10^{-5}$, тобто в 3,64 рази, витрати на протипожежний захист збільшуються на 11,3%. Таким чином, вкладаючи кошти в протипожежний захист споруд різного призначення можна досягти і забезпечити для міста потрібний пожежний ризик.

Висновки.

1. Розроблено метод визначення та оптимізації пожежного ризику для споруд соціаль-

но-культурного, громадського та адміністративного призначення, який дозволяє при урахуванні відповідних заходів на протипожежний захист забезпечувати необхідний пожежний ризик для міста.

2. Розроблений метод визначення та оптимізації пожежного ризику можна використувати не тільки для споруд соціально-культурного, громадського та адміністративного призначення, а і для любых споруд виробничого призначення, торговельно-складських споруд, споруд житлового сектору тощо.

3. Встановлено, що між пожежним ризиком і витратами на протипожежний захист об'єктів міста існує нелінійна степенева залежність. Наприклад, при зменшенні пожежного ризику в 13 разів витрати на протипожежний захист збільшуються в 1,24 рази.

Перспективи подальших досліджень.

Як бачимо, проблема забезпечення прийняттого пожежного ризику для будівель і споруд різного призначення є доволі актуальною в наш час. Зараз дедалі більше уваги звертають на комплексну реалізацію цього питання в напрямку розгляду пожежного ризику цілих населених пунктів. Тому, необхідна подальша робота з метою удосконалення методу визначення та оптимізації пожежного ризику і спрощення прогнозування заходів на протипожежний захист міста.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Климась Р. Визначення ймовірності виникнення пожеж у будівлях і спорудах різного призначення / Р. Климась, Д. Матвійчук // Надзвичайна ситуація № 11, 2011. – с. 44-45.
2. Бегун В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: 2004. – 328 с.
3. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер // Перевод с нем.. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
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. Кіндрацький Б.І. Рациональне проектування машинобудівних конструкцій / Б.І. Кіндрацький, Г.Т. Сулим. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД, 2003. – 279 с.
6. Моніторинг оперативної обстановки на території Львівської області за 2008 рік. – Львів: ГУ МНС України у Львівській області, 2009. – 7 с.
7. Гуліда Е.М. Оцінювання пожежного ризику для споруд виробничого призначення / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 22.9, 2012 / Львів: НЛТУ. – С. 118-128.
8. Мовчан І.О. Метод визначення ризику евакуації людей із громадських і адміністративних споруд та споруд житлового сектора при пожежі з урахуванням її критичного часу / І.О. Мовчан, І.В. Паснак // Теорія та практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – С. 136-138.
9. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы/ Брушлинский Н.Н. – М: Стройиздат, 1981. – 96 с.

УДК 614.48

С.В. Жартовський, к.т.н., УкрНДІЦЗ

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВОДНОЇ ВОГНЕБІОЗАХИСНОЇ РЕЧОВИНИ ДСА-2

Представлена феноменологічна модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ДСА-2. Модель розкриває сутність механізму вогнезахисту деревини і може бути використана для вдосконалення існуючих та для розроблення нових ефективних засобів вогнебіозахисту деревини.

Ключові слова: феноменологічна модель, водні вогнебіозахисні речовини, вогнезахищена деревина.

Сучасні уявлення про процеси та механізми вогнезахисту деревини не знайшли необхідного відображення у відповідних феноменологічних моделях, а існуючі моделі є недосконалими оскільки ґрунтуються на розрізнених теоретичних та експериментальних даних стосовно процесів, які при цьому реалізуються. Навіть фундаментальні роботи, присвячені вогнезахисту деревини [1, 2], обмежуються загальними підходами до висвітлення зазначеної проблеми.

В теорії вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів виділяють три підходи, які рекомендовано використовувати при розробленні антипіренів для вогнезахисту деревини [1]. *Термодинамічний підхід* передбачає направляти піроліз деревини в сторону зменшення виходу горючих газів і збільшення виходу вуглецевовмісних залишків. *Кінетичний підхід* передбачає посилення механізму перетворення в конденсованій фазі шляхом змінення і розширення температурного інтервалу деструкції, змінення констант розкладу та збільшення енергії активації. *Технічний підхід* передбачає створення вогнезахисних ізолюючих покриттів, які без впливу на структуру деревини затримують тепло- та масоперенос.

Наведені тлумачення у своїй більшості стосуються сольових просочувальних речовин, які мають певні недоліки, зокрема, вони висолюються на поверхні деревини протягом експлуатації. На зміну їм прийшли водні вогнезахисні речовини комбінованого типу та вогнебіозахисні речовини комплексної дії, що об'єднують дії різних факторів вогнезахисту. В апріорі можна стверджувати, що чим більше отримано експериментальних даних та чим глибше розкрито теоретичні основи процесів термодеструкції деревини в умовах застосування антипіренів, тим досконаліше будуть феноменологічні моделі вогнезахисту деревини і тим спрямованіше та ефективніше можна буде використовувати вогнезахисні засоби.

Метою даної роботи є обґрунтування феноменологічної моделі вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ДСА-2.

Об'єктом дослідження є процеси вогнезахисту деревини водною вогнебіозахисною речовиною (ВВЗР) ДСА-2.

Предметом дослідження є чинники впливу на процеси вогнезахисту деревини ВВЗР ДСА-2.

Завданням даної роботи є дослідження теоретичних та експериментальних результатів хімічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей ВВЗР ДСА-2 на утворення вогнезахищеної деревини і обґрунтування феноменологічної моделі вогнезахисту деревини із застосуванням цієї речовини, яка є комплексним засобом, що об'єднує різні фактори вогнебіозахисної дії.

ВВЗР ДСА-2 складається з двох частин [3]: водного розчину сольової суміші сульфатів та фосфатів амонію зі змочувачем, водного розчину полімерного антисептика полігексаметиленгуанідингідрохлориду (фосфата). Деревина спочатку просочується водним розчином антипірену. Після сушки в капілярах і порах деревини залишаються кристалогідрати антипірену. В подальшому деревину обробляють водним розчином полімерного антисептика. Після сушіння поверхня деревини вкривається тонким шаром плівки полімерного антисептика. Така деревина стає вогнебіозахищеною.

Між звичайними сольовими антипіренами, що традиційно використовувались протягом минулих десятиліть, та ДСА-2 існують значні відмінності. Наприклад, вогнебіозахисний засіб МС, хоча також складається з антипірена та антисептика, має принципово інший механізм вогнезахисту. Антипірен засобу МС складається з подібної суміші фосфатів та сульфатів амонію, а в якості антисептика використовується фтористий натрій. Після просочення деревини зазначеним вогнебіозахисним засобом та після подальшого сушіння в капілярах і порах залишаються кристали (кристалогідрати) солей антипірена та антисептика. В подальшому при позитивній температурі відбуваються наступні процеси. При збільшенні вологості повітря молекули води адсорбуються капілярами та порами поверхні деревини. У воді розчиняються солі антипірена та антисептика, а капілярні сили виносять розчин на поверхню деревини. При подальшому зниженні вологості атмосфери знову висолюються в процесі випаровування води. Отже розглянуті фізичні процеси призводять до поступового висолювання антипірена та антисептика на поверхні деревини. З часом за рахунок гравітаційних сил солі обсипаються з поверхні деревини і тому ефективність вогнезахисту деревини неуклінно знижується і через декілька років досягає неприпустимого рівня.

Зовсім інший механізм зберігання вогнебіозахисних властивостей має деревина, що оброблена засобом ДСА-2. При позитивній температурі також відбувається рівноважний процес поглинання/випаровування парів води атмосфери. Але регулятором дифузійних процесів при цьому виступає полімерна плівка антисептика. Оскільки полімерна плівка має спорідненість до води, то молекули води за рахунок прискореної дифузії можуть поступати в капіляри та пори деревини і там утворювати кристалогідрати та розчини солей антипірена. При зниженні вологості повітря молекули води дифундують через полімерну плівку у зворотному напрямі, солі антипірена не можуть проникнути через плівку, що обумовлено відсутністю спорідненості молекул солей до зазначеного полімеру. Тобто полімерна плівка стає бар'єром для процесу висолювання, що також підтверджується морфологічними спостереженнями за станом поверхні вогнебіозахищених зразків деревини розміром 150×60×30 мм протягом 10 років. Полімерна плівка також служить дифузійним бар'єром для молекул кисню в капіляри і пори вогнебіозахищеної деревини, що підтверджується газово-хроматографічним аналізом продуктів термічної деструкції зразків деревини сосни (табл. 1).

Таблиця 1 – Якісний та кількісний склад газоподібних продуктів термічної деструкції соснової деревини невогнезахисної та вогнезахисної різними засобами [4]

Речовини	Вміст речовин в летких продуктах деструкції, %			
	Не захищена деревина	Деревина, оброблена засобом МС (антипірен – суміш фосфатів та сульфатів амонію, антисептик – фторид натрію)	Деревина, оброблена антипіреном – сумішю фосфатів та сульфатів амонію	Деревина, оброблена засобом ДСА-2 (антипірен – суміш фосфатів та сульфатів амонію, антисептик – ПГМГФ)
CO	39,08	18	15,8	11,8
CO ₂	51,93	2,1	Не виявлено	Не виявлено
CH ₄	6,05	1,2	0,54	Не виявлено
C ₂ H ₆ +C ₂ H ₄	0,45	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
C ₃ H ₈	0,19	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
C ₃ H ₆	0,32	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
H ₂	0,73	0,56	0,44	0,09
O ₂	0,26	0,13	Не виявлено	Не виявлено
N ₂	0,99	78,01	83,22	88,11

Як видно з таблиці 1, після деструкції необробленої та обробленої деревини вогнебіозахисними засобами ДСА-2 та МС суміші продуктів термічної деструкції суттєво відрізняються за вмістом азоту та кількістю і якістю горючих газів. Засіб МС, в складі якого присутній антисептик фторид натрію, при термодеструкції дає менше флегматизуючого азоту та гірше впливає на зменшення горючих газів у порівнянні з фосфатами та сульфатами амонію. Це обумовлюється тим, що фторид натрію є антагоністом до солей зазначеного антипірена. Порівнюючи ж склад газоподібних продуктів термодеструкції деревини, що захищена засобами ДСА-2 та МС, легко помітити, що у випадку з ДСА-2 (завдяки полімерній плівці) в продуктах піролізу відсутній молекулярний кисень, а вміст СО зменшується на 40% і зовсім відсутня речовина СО₂. Отже, наведені дані підтверджують той факт, що при застосуванні ДСА-2 деструкція деревини проходить з великим дефіцитом кисню повітря. До того ж спостерігається зменшення кількості горючих газів, особливо водню та метану.

Велика кількість азоту в газоподібних продуктах термічної деструкції вогнебіо захищеної деревини засобом ДСА-2 сприяє їх флегматизації. Це призводить до зміни параметрів і показників матеріалу, які характеризують його пожежовибухонебезпечність. Цілеспрямованими дослідженнями [5] було встановлено, що температура займання вогнебіо захищеної деревини збільшується на 180 °С (з 230 °С для необробленої деревини до 410 °С для вогнебіо захищеної деревини), а температура самозаймання – на 55 °С (з 435 °С для необробленої деревини до 490 °С для вогнебіо захищеної деревини). Наведені результати показують, що продукти термічного розкладу антипірену (суміш фосфатів та сульфатів амонію) роблять значний внесок в процес флегматизування продуктів деструкції макромолекул целюлози.

Експериментально дослідити такі процеси на даному етапі розвитку науки іще не можливо, тому були проведені теоретичні дослідження процесів, які відбуваються в капілярах та порах в поверхневому шарі вогнебіо захищеної деревини. Як засвідчують результати газово-хроматографічного аналізу продуктів термічної деструкції макромолекул целюлози вогнебіо захищеної деревини, в ній відбуваються ланцюгові реакції, що подібні до реакцій полум'яного горіння вуглеводнів [6]. Для зазначених процесів характерним є нижня концентраційна межа займання, при якій продукти термічної деструкції деревини, зафлегматизовані продуктами термічного розкладу антипіренів, здатні до самозаймання після досягнення значення температури в 490 °С.

Процес гальмування ланцюгових реакцій в поверхневому шарі вогнебіо захищеної деревини розглянемо з позицій утворення іон-молекулярних та іон-радикальних комплексів (ІМК, ІРК) між активними центрами продуктів термічного розкладу макромолекул целюлози (Н', О', ОН', СН'₃, СН', НО'₂ та інші) та продуктами термічного розкладу фосфор- і азотовмісних речовин (Н₂РО'₄, НРО'₄, РО'₄, РО'₃, РО'; NH'₄, NH'₃, NH'₂, NH', N₂, NO', NO'₂ та інші). Цей процес гомогенного і гетерогенного інгібування можливо змоделювати [7]. Одною з процедур моделювання буде розрахунок енергій активації (Е_{кул}) ІМК (ІРК) за запропонованим в [8] полуміричним методом, що ґрунтується на схемі розрахунку ефективних зарядів на атомах, іонах, радикалах.

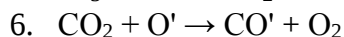
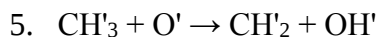
Зробимо ранжування і класифікацію величин енергій активації ІМК (ІРК). Горюча речовина, наприклад, метан взаємодіє з киснем повітря. Процес горіння відбувається за механізмом ланцюгових розгалужених реакцій. Горіння починається з гомолетичного розриву хімічних зв'язків речовин (відновника СН₄ та окисника О₂):

1. $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}'_3 + \text{H}'$
2. $\text{O}_2 \rightarrow \text{O}' + \text{O}'$

Радикали водню і кисню є першочерговими ініціаторами ланцюгових реакцій:

3. $\text{O}_2 + \text{H}' \rightarrow \text{O}' + \text{OH}'$
4. $\text{CH}_4 + \text{O}' \rightarrow \text{CH}'_3 + \text{OH}'$

Радикали $\text{OH}^\cdot$ і $\text{CH}_3^\cdot$ відносяться до радикалів, які розгалужують ланцюгові реакції.



Іноколи радикали, які містять водень, називають водневмісними радикалами (наприклад - $\text{H}^\cdot$, $\text{CH}_3^\cdot$, $\text{CH}_2^\cdot$). Радикали, які містять кисень, називають кисневмісними радикалами. Радикал $\text{OH}^\cdot$, який є одним із відповідальних за розгалуження (продовження) ланцюгових реакцій, можна відносити як до однієї групи радикалів, так і до іншої.

Наявність великої кількості активних центрів продуктів деструкції макромолекул целюлози та атомів, іонів, молекул вогнезахисних речовин обумовлюють іще більшу кількість ІМК та ІРК. Але нас будуть цікавити характеристичні властивості цих комплексів. В таблиці 2 наведено значення $E_{\text{кул}}$ для ІМК та ІРК фосфоровмісних речовин з кисневмісним та водневмісними активними центрами (АЦ), а в таблиці 3 наведено значення $E_{\text{кул}}$ для ІМК та ІРК азотовмісних речовин з кисневмісним та водневмісними активними центрами.

Таблиця 2 – Значення $E_{\text{кул}}$ для фосфоровмісних ІМК (ІРК)

ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ		ІМК (ІРК) з водневмісними АЦ	
Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль	Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль
$\text{PH}_4^+ \cdot \text{OH}_2$	14,0	$\text{PH}_3^+ \cdot \text{H}_2$	16,1
$\text{PO}_3^+ \cdot \text{OH}_2$	10,8	$\text{H}_2\text{PO}_4^+ \cdot \text{H}$	73,1
$\text{H}_2\text{PO}_4^+ \cdot \text{O}$	26,3	$\text{HPO}_4^+ \cdot \text{CH}_3$	69,8
$\text{HPO}_4^+ \cdot \text{O}$	22,1	$\text{PO}_3^+ \cdot \text{CH}_3$	49,4
$\text{PO}_4^+ \cdot \text{O}$	16,3	$\text{PO}^+ \cdot \text{H}$	37,7
$\text{PO}_3^+ \cdot \text{OH}$	21,2	$\text{PO}^+ \cdot \text{CH}_2$	56,3
$\text{PO}_2^+ \cdot \text{O}$	14,2	$\text{P}_2\text{O}_2^+ \cdot \text{H}$	79,1
$\text{P}_2\text{O}_2^+ \cdot \text{O}$	14,3	$\text{P}_2\text{O}_5^+ \cdot \text{CH}_3$	47,6
Середнє значення	17,4	Середнє значення	34,6

Таблиця 3 – Значення $E_{\text{кул}}$ для азотовмісних ІМК (ІРК)

ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ		ІМК (ІРК) з водневмісними АЦ	
Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль	Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль
$\text{NH}_4^+ \cdot \text{OCO}$	17,1	$\text{NH}_4^+ \cdot \text{CH}_4$	9,4
$\text{NO}_2^+ \cdot \text{H}_2\text{O}_2$	17,3	$\text{NH}_4^+ \cdot \text{H}_2$	4,4
$\text{CH}_3\text{NH}_3^+ \cdot \text{OCO}$	13,6	$\text{CN}^+ \cdot \text{H}_2$	26,6
$\text{NO}^+ \cdot \text{OH}_2$	29,5	$\text{NO}^+ \cdot \text{H}_2$	9,2
$\text{NO}^+ \cdot \text{O}_2$	14,6	$\text{CH}_2^+ \cdot \text{N}_2$	31,6
$\text{NO}_3^+ \cdot \text{H}_2\text{O}_2$	17,3	$\text{NH}_2^+ \cdot \text{H}$	33,2
$\text{NO}_2^+ \cdot \text{CO}_2$	7,7	$\text{NH}_2^+ \cdot \text{CH}_3$	87,3
$\text{H}_2\text{N}^+ \cdot \text{NO}_2$	13,5	$\text{NH}^+ \cdot \text{CH}_2$	92,3
Середнє значення	16,2	Середнє значення	36,7

Розглядаючи результати розрахунків $E_{\text{кул}}$ для ІМК (ІРК), що наведені в таблиці 2, можна стверджувати, що значення $E_{\text{кул}}$ значно більші для комплексів фосфоровмісних речовин з водневмісними АЦ, ніж для комплексів з кисневмісними АЦ. Така ж залежність значень $E_{\text{кул}}$ для комплексів азотовмісних речовин, що наведено в таблиці 3. Необхідно відзначити, що фосфоровмісні речовини утворюють більш міцні ІМК (ІРК) з водневмісними

АЦ, ніж азотовмісні речовини, і навпаки: азотовмісні речовини утворюють більш міцні ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ, ніж фосфоровмісні речовини.

Можна прогнозувати, що при використанні бінарних сумішей фосфоровмісних речовин (моноамонійфосфат, діамонійфосфат, комплексні сполуки фосфорної кислоти та інші) та азотовмісних речовин (сульфат амонію, карбамід, меламін та інші) з'явиться вибірковість кисневмісних АЦ (О', О'Н, НО₂' тощо) та водневмісних АЦ (Н', ОН', С'Н₃, С'Н₂ тощо) до різних продуктів термічного розкладу зазначених речовин, що в результаті може привести до підвищення ефективності як гомогенного, так і гетерогенного інгібування ланцюгових реакцій горіння різних органічних речовин, тобто до ефекту синергізму. Таке явище, в свою чергу, можна використати для підвищення ефективності вогнезахисту деревини при відпрацюванні рецептури антипірену на основі фосforo- та азотовмісних речовин.

Експериментальними дослідженнями [4] було встановлено наявність ефекта синергізму при гомогенному інгібуванні горіння Н-гептану сумішшю діамонійфосфата і сульфата амонію.

За допомогою термічних досліджень незахищеної деревини та деревини, вогнебіозахищеної засобом ДСА-2, можна визначити значні відмінності процесів їх термічної деструкції. За однаковий час нагрівання (~ 40 хв.) зразок незахищеної деревини втрачає до 50% своєї маси і перетворюється в кокс, а зразок вогнезахищеної деревини втрачає не більше 20%, і його поверхня перетворюється в модифікований антипіренами кокс. Через 75 хвилин при температурі 600 °С зразок незахищеної деревини втрачає 95% своєї маси, решту становить залишок неорганічних речовин. За той же час зразок вогнезахищеної деревини втрачає всього 60% своєї маси і нагрівається до 400 °С. Тільки через 120 хвилин цей зразок нагрівається до 650 °С і втрачає 80% своєї маси. Таким чином, спостерігається значне сповільнення процесів термодеструкції у зразків деревини, які оброблені засобом ДСА-2. Зазначені відмінності обумовлюються утворенням модифікованого антипіренами коксу на поверхні вогнезахищеної деревини. Саме цей шар стає бар'єром для прогрівання та деструкції внутрішніх шарів деревини.

Процес утворення модифікованого антипіренами коксу досліджували також під час вогневих випробувань дерев'яних конструкцій куполів культових споруд (ДКККС), найбільш поширених в Україні [10]. При випробуваннях необроблених брусків пожежної навантаги (64 МДж/м²) у вигляді макета ДКККС (рис. 1а) було встановлено, що максимальне значення температури досягає 977 °С (вигорання 5 л бензину марки А-76 протягом 300 с). Після вигорання вогнища класу В спостерігалось самостійне горіння дерев'яних брусків до моменту їх руйнування, яке відбулося через 40 хв. після початку вогневих випробувань (табл.4).

Таблиця 4 – Результати досліджень вогневих випробувань макету ДКККС, дерев'яні бруски якого необроблені та оброблені засобом ДСА-2

Зразки для випробування	Спосіб оброблення	Час впливу вогнища класу В, с	Критерій оцінювання			
			Максимальне значення температури під час горіння вогнища класу В, °С	Швидкість втрати маси, кг/хв.	Глибина обуглення, мм	Швидкість обуглення, мм/хв
Необроблені дерев'яні бруски	–	300	977	1,5	Повне вигорання за 40 хв.	0,8
Дерев'яні бруски, оброблені засобом ДСА-2	Поверхнєве нанесення	300	540	0,75	2,0	0,4
	Поверхнєве нанесення	720	563	0,75	5,0	0,4

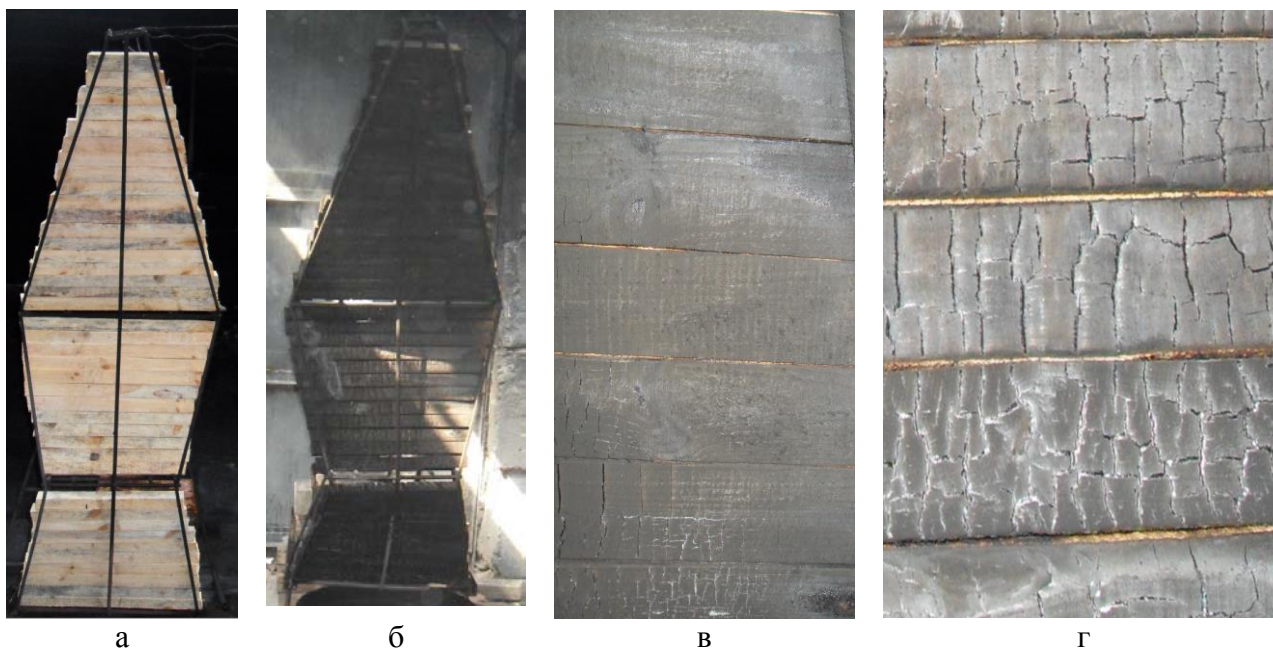


Рисунок 1 – Фрагмент натурних вогневих випробувань дерев'яних брусків макету пожежної навантаги куполу культової споруди, що були оброблені вогнебіозахисним засобом ДСА-2 способом поверхневого нанесення а) початковий вид макету пожежної навантаги до випробувань; б) вид макету пожежної навантаги після вигорання вогнища класу В; в) стан дерев'яних брусків макету пожежної навантаги після 300 с впливу вогнища класу В; г) стан дерев'яних брусків макету пожежної навантаги після 720 с впливу вогнища класу В.

Під час натурних вогневих випробувань макета ДКККС, дерев'яні бруски якого оброблені поверхневим нанесенням засобу ДСА-2, було встановлено, що максимальна температура складає 540°C в умовах впливу вогнища класу В впродовж 300 с, та 563°C за умови впливу вогнища протягом 720 с. Після вигорання вогнища класу В в обох випадках спостерігали відсутність полум'яного горіння та жару на поверхні дерев'яних брусків. Морфологічний стан поверхонь зразків дерев'яних брусків після вогневих випробувань наведено на рисунку 1 (в, г). Із тріщин модифікованого коксу (особливо після впливу вогнища класу В протягом 720 с) спостерігали вихід сизої пари продуктів термічної деструкції деревини, але у відсутності джерела займання їх горіння не відбулося. Критерії оцінювання вогнезахисної ефективності наведені в таблиці 4. Слід відзначити збереження швидкості обуглення на рівні $0,4\text{ мм/хв.}$ при збільшенні часу впливу вогнища класу В в 2,4 рази. Отже, при відсутності джерела займання на поверхні модифікованого коксу процес обуглення припиняється зовсім, що свідчить про високу ефективність вогнезахисту деревини засобом ДСА-2.

Для визначення відповідності вимогам державних будівельних норм [11] були проведені випробування з визначення показників пожежовибухонебезпечності згідно з методами стандарту [12] (табл. 5).

Як засвідчують результати таблиці 5, вогнезахищена деревина за показниками пожежовибухонебезпечності кардинально відрізняється від необробленої деревини, її використання має велику перспективу у вирішенні пасивного протипожежного захисту різних об'єктів.

Закономірності, які виявлені під час теоретичних і експериментальних досліджень, дозволяють побудувати феноменологічну модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ДСА-2.

Таблиця 5 – Показники пожежовибухонебезпечності за ГОСТ 12.1.044 необробленої деревини та вогнезахищеної деревини засобом ДСА-2

№ п/п	Показники	Необроблена деревина	Вогнебіо захищена деревина
1.	Група горючості	Горючий матеріал	Важкогорючий матеріал
2.	Індекс розповсюдження полум'я	> 25 поширює полум'я поверхнею	Не поширює полум'я поверхнею
3.	Кисневий індекс, КІ	21	> 60
4.	Коефіцієнт димоутворення: а) режим тління, м ² /кг б) режим горіння, м ² /кг	135 950	24 94
5.	Показник токсичності продуктів горіння	Високо небезпечні	Помірно небезпечні

В процесі вогнебіо захисного оброблення деревини засобом ДСА-2 утворюється захищений поверхневий шар деревини, який морфологічно складається з двох частин. Нижня, більша його частина (капіляри і пори) в залежності від вологості оточуючого середовища заповнена кристалами або кристалогідратами суміші неорганічних солей антипірену. Верхня його частина являє собою полімерну плівку антисептика полігексаметилenguанідингідрохлориду (фосфату), що вкриває капіляри і пори поверхні деревини. Ця полімерна плівка відіграє велике значення в механізмі вогнезахисту, оскільки виконує роль регулятора вологості деревини, служить бар'єром для висолювання антипірену на поверхні деревини, а також сприяє підвищенню концентрації солей антипірену в поверхневому шарі деревини та служить бар'єром для проникнення додаткового кисню в цей шар на початковій стадії впливу вогню на вогнезахищену деревину.

З підвищенням температури у вогнезахищеному шарі деревини до 75 °С в нижній його частині розпочинається плавлення кристалогідратів діамонійфосфату з утворенням моноамонійфосфата та газоподібних речовин (NH₃, H₂O, N₂). При досягненні температури значення 100 °С розпочинається випаровування води, вихід газів за механізмом дифузії через полімерну плівку антисептика. В той же час полімерна плівка є бар'єром для дифузії молекул кисню з повітря в капіляри і пори деревини, що позначається на процесі термодеструкції макромолекул целюлози і на якісному складі газів. В продуктах деструкції відсутній водень, а інші гази зафлегматизовані продуктами термічного розкладу фосфатів та сульфатів амонію. При температурі вище 175 °С в об'ємах капіляр і пор починаються ланцюгові реакції окиснення метану, етану та інших речовин, але в присутності продуктів термічного розкладу антипіренів будуть утворюватися іон-молекулярні та іон-радикальні комплекси між ними та активними центрами ланцюгових реакцій. Тобто відбуватимуться реакції гомогенного та гетерогенного інгібування горючих газів, що призводить до їх флегматизації.

При температурах 190 – 250 °С відбувається прискорення деструкції деревини, що призводить до утворення модифікованого антипіренами шару коксу. Цей шар виконує функцію термічного бар'єру по відношенню до глибших шарів деревини (не насичених антипіреном). Необхідно відзначити, що на поверхні модифікованого коксу не утворюється жар, тобто відсутнє конденсоване горіння коксу, що для звичайної деревини стає джерелом займання. При виході на поверхню шару модифікованого коксу газові продукти деструкції залишаються зафлегматизованими, полум'яне горіння відсутнє.

Найбільша інтенсивність деструкції деревини відбувається в температурному діапазоні 230 – 350 °С. На поверхні модифікованого шару коксу з'являються тріщини, які з підвищенням температури збільшуються і їх глибина досягає шару незахищеної деревини. По тріщинам прискорюється теплопередача до деревини, що прискорює, в свою чергу, її деструкцію, тобто концентрація горючих газів збільшується. Газове середовище над

модифікованим коксом поступово переходить з області нижньої концентраційної межі займання до зони горіння. При температурі 400 °С полімерна плівка антисептика також перетворюється на кокс.

Коли джерелом займання є відкрите полум'я, то при температурі 410 °С концентрація горючих газів деструкції вогнезахищеної деревини досягає межі горіння, і тому спостерігається стійке горіння. Тобто зазначена температура є температурою займання деревини, вогнезахищеної засобом ДСА-2. Слід зазначити, що при цьому на поверхні модифікованого коксу не утворюється необхідного жару, який міг би забезпечити рівноважну фазу горіння. Тому при відстороненні полум'яного джерела займання горіння газів припиняється. Для утворення жару на поверхні необхідний певний час впливу джерела займання і підвищення температури, вище температури самозаймання вогнезахищеної деревини, до температурного діапазону 490 – 563 °С. Такий широкий температурний діапазон пов'язаний з тим, що для досягнення рівноважного процесу горіння необхідне певне вигорання модифікованого коксу, а цей процес є неоднорідним по поверхні вогнезахищеної деревини.

Таким чином, розроблена феноменологічна модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ДСА-2 формує уяву про процеси вогнезахисту деревини сольовими антипіренами, що підсилені синергітичною дією полімерного антисептика. Зазначена модель розкриває сутність механізму вогнезахисту деревини і може бути використана для вдосконалення існуючих та для розроблення нових ефективних засобів вогнебіозахисту деревини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романенков И.Г., Левитас Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1991, – 270 с.
2. Тычино Н.А. Огнезащита и биозащита древесины и материалов на основе целлюлозы. Практическое пособие. – Минск, ИООО «Право и экономика», 2008. – 68 с.
3. ТУ У 24.6-32528450-001:2003 Суміші просочувальні для поверхневої вогнебіозахисної обробки деревини.
4. Жартовський С.В. Шляхи створення та використання просочувальних вогнебіозахисних засобів ДСА-1, ДСА-2 для деревини і фанери. Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – №5. – С. 36–55.
5. Жартовський В.М., Жартовський С.В., Добростан О.В., Коваленко В.В., Шеверев Є.Ю. Вибір методу оцінювання якості вогнезахисного оброблення дерев'яних будівельних конструкцій // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2012. – №1(23). – С.137 – 144.
6. Баратов А.Н., Молгадский И.С. Горение на пожаре. М.: ВНИИПО, 2011. – 503 с.
7. Ксандопуло Г.И. Химия горения. М.: Химия, 202 с.
8. Каганюк Д.С., Жартовский В.М. Полуэмпирический метод расчета ряда физико-химических параметров. Монография. – К.: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2006, – 273 с.
9. Жартовський С.В., Соколенко К.І., Рихліцький Д.І. Композиційна просочувальна речовина для вогнебіозахисту деревини і тканин // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ: УкрНДПБ – 2010. – № 2 (22). – С. 30–37.
10. Ніжник В.В., Жартовський В.М., Жартовський С.В., Гутнік О.П. Вогнебіозахист деревини та дерев'яних конструкцій куполів культових споруд // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ: УкрНДПБ – 2011. – № 2 (24). – С. 1 – 8.
11. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд, 2002. – 37 с.
12. ГОСТ 12.1.044 – 89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – 145 с.

УДК 614.842

В.І. Желяк, к.т.н., доц., О.В. Лазаренко, к.т.н., А.Я. Регуш, к.т.н.,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ДОСЛІДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ПАЛАЮЧОГО ШТАБЕЛЯ З ДЕРЕВИНОЮ

Проведено експериментальне визначення густини теплового потоку від штабеля з деревиною з подальшим порівнянням отриманих експериментальних значень з розрахунками, отриманими за двома відомими методиками. Порівняння отриманих результатів дає підстави вважати про більшу точність прогнозування теплового потоку при використанні однієї з методик, використання якої дозволяє краще прогнозувати необхідні сили та засоби для ліквідації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами на об'єктах відкритого зберігання лісоматеріалів.

Ключові слова: густина теплового потоку, штабель з деревиною, методика розрахунку.

Постановка проблеми. Деревообробна промисловість України виробляє більш ніж 300 найменувань товарної продукції, яка поставляється як на внутрішній, так і зовнішній ринок. За даними Державного комітету статистики України, обсяги виробництва продукції деревообробної промисловості складають близько 7796,5 млн. грн. Основні лісозаготівельні райони України Українські Карпати (Івано-Франківська і Закарпатська області) і Полісся (Волинська, Житомирська, Київська, Чернігівська області). Таким чином можна стверджувати, що об'єктів по зберіганню та переробки деревини на Україні є досить велика кількість і питання забезпечення пожежної безпеки на даних об'єктах є актуальним.

З точки зору пожежної безпеки дані об'єкти мають значне питома пожежне навантаження (від 200 кг/м² та більше) і гасіння пожеж на цих об'єктах супроводжується залученням значної кількості сил та засобів. Однією з особливостей гасіння пожеж на даних об'єктах є наявність значних теплових потоків значення яких може сягати до 40 КВт/м², що суттєво ускладнює проведення оперативних дій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. З метою забезпечення керівника гасіння пожежі інформацією про оперативно-тактичну характеристику об'єкта, надання можливості попереднього прогнозування можливої обстановки на об'єкті в разі виникнення пожежі, планування основних тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів по гасінню пожежі на об'єктах зберігання, переробки деревини і виробництва целюлози необхідно складати плани пожежогасіння [1]. Проте на сьогоднішній день відсутні вітчизняні методики та рекомендації, щодо визначення прогнозованої густини теплового потоку випромінювання від штабелів з деревиною, які горять, як в окремих методичних розробках, так і в рекомендаціях по гасінню пожеж на підприємствах деревообробної і целюлозно-паперової промисловості [2]. Для розрахунку прогнозованої густини теплового потоку випромінювання від штабеля палаючої деревини можна скористатися існуючими закордонними розробками, наприклад російськими [3, 4].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є здійснення аналізу відомих методик щодо розрахунку густини теплового потоку від штабеля з деревиною, а також порівняння із експериментальними результатами. За результатами аналітичного (з використанням існуючої методики розрахунку) та експериментального визначення визначити найбільш точний аналітичний опис визначення густини теплового потоку від штабеля з деревиною.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Проведений аналіз вказаних методик показав, що основним рівнянням для визначення густини теплового потоку на деякій відстані від штабеля деревини в них використовується наступне:

$$q = I_0 \cdot \varphi_{12} \quad (1)$$

де I_0 - густина теплового потоку в осередку палаючого штабеля;

φ_{12} - безрозмірний коефіцієнт взаємного опромінення.

Безрозмірний коефіцієнт взаємного опромінення, який визначається в залежності від параметрів x , y та b .

$$x = \frac{a}{r}, \quad y = \frac{b}{r}, \quad (2)$$

де: a – напівширина випромінюючої поверхні штабеля, м; b – напіввисота випромінюючої поверхні, м; r – відстань від випромінюючої поверхні штабеля до об'єкту захисту, м; (рис. 1).

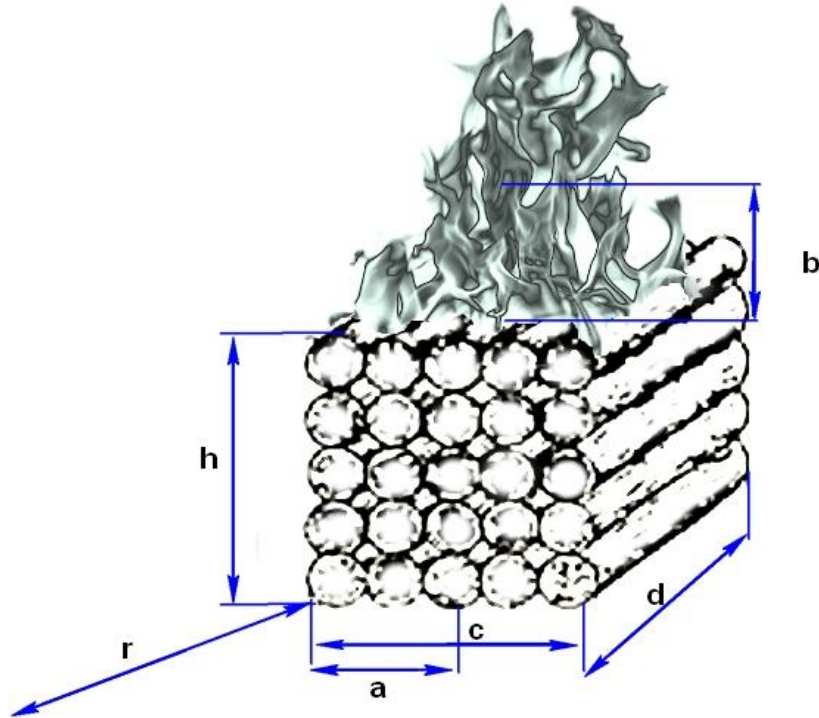


Рисунок 1– Геометричні параметри штабеля з деревиною.

В методиці, що наведено в роботі [3], напіввисота випромінюючої поверхні b визначається

$$b = \frac{h}{2}(1+k), \quad (3)$$

де: h – висота штабеля, м; k – коефіцієнт, який враховує висоту факела полум'я: $k = 2$ - для штабеля круглого лісу; $k = 3$ - для штабеля розпиляного лісу.

Але як стверджується в роботі [4], значення густини теплового потоку в осередку палаючого штабеля $I_0 = 162$ кВт/м² та використання залежності (2) для визначення напіввисоти випромінюючої поверхні b приводить до отримання завищених показників густини теплового потоку і як наслідок, необхідність залучення більшої кількості сил і засобів для гасіння пожежі. В роботі [4] запропоновано замінити значення I_0 на 111 кВт/м² та визначити величину b наступним чином:

$$b = \frac{h_{пол}}{2}, \quad (4)$$

де висота полум'я $h_{пол}$ визначається наступним чином:

- при висоті штабеля $h \leq 3$ м $h_{пол} = 3$ h;
- при висоті штабеля 3 м $< h \leq 6$ м $h_{пол} = 2,5$ h;
- при висоті штабеля 6 м $< h \leq 12$ м $h_{пол} = 2$ h.

Для порівняння адекватності отриманих значень густини теплового потоку в результаті обчислень за залежностями, запропонованими в роботах [3] та [4] нами було проведено експериментальне визначення густини теплового потоку випромінювання від штабеля деревини геометричними розмірами $c = 4$ м, $d = 3$ м, $h = 3$ м (рис. 1) з подальшим порівнянням отриманих значень з теоретичними розрахунками.



Рисунок 2 – Експериментальне визначення густини теплового потоку випромінювання від штабеля з деревиною.

Методика проведення експерименту:

- Штабель формувався з сухих соснових дощок складених одна на одну до формування штабеля відповідних геометричних розмірів;
- Після запалювання штабеля та досягнення густини теплового потоку, на відстані п'ять метрів від штабеля – 20 кВт/м² здійснювалось визначення густини теплового потоку через кожні 30 секунд;
- Визначення густини теплового потоку проводилося за допомогою приладу ВТП-01 з максимальною похибкою вимірювання 2%;
- За результатами серії експериментів були отримані значення густини теплового потоку, наведені в табл. 1.

Теоретичний розрахунок густини теплового потоку від штабеля з деревиною розмірами $c = 4$ м, $h = 3$ м, $d = 3$ м на відстані $r = 5$ м дав наступні результати:

- за методикою [3]:

$$x = \frac{2}{5} = 0,4, \quad x = \frac{4}{2} = 2, \\ y = \frac{6}{5} = 1,2, \quad b = \frac{3}{2}(1+3) = 6,$$

значення коефіцієнта φ_{12} становить: 0,30117.

$$q = I_0 \cdot \varphi_{12} = 162 \cdot 0,30117 = 24,8 \text{ кВт/м}^2.$$

- за методикою [4]:

$$x = \frac{2}{5} = 0,4, \quad a = \frac{4}{2} = 2, \\ y = \frac{4,5}{5} = 0,9, \quad b = \frac{3 \cdot 3}{2} = 4,5$$

значення коефіцієнта φ_{12} становить: 0,22370

$$q = I_0 \cdot \varphi_{12} = 111 \cdot 0,22370 = 24,8 \text{ кВт/м}^2.$$

Таблиця 1 – Результати вимірювання густини теплового потоку від штабеля з деревиною (4×3×3) на відстані 5 метрів

№ п.п.	Густина теплового потоку, кВт/м ²	Середнє значення густини теплового потоку, кВт/м ²
1.	20,5	22,63
2.	20,1	
3.	19,34	
4.	21,65	
5.	20,23	
6.	23,15	
7.	23,01	
8.	22,04	
9.	24,1	
10.	26,02	
11.	25,57	
12.	25,89	

Висновки. Порівняння розрахункових значень з експериментальними дає підставу стверджувати, що результати, отримані за залежностями, запропонованими в роботі [4] краще корелюються з значеннями густини теплового потоку, отриманими дослідним шляхом. Розбіжність між розрахунковим та середньоарифметичним експериментальним значенням складає 8,75%, що вказує на ефективність даної методики.

Таким чином можна стверджувати, що методика прогнозування величини густини теплового потоку від штабеля з деревиною, наведена в роботі [4] дає результат, близький до реального і може бути використана при розробці планів пожежогасіння на об'єктах відкритого зберігання лісоматеріалів.

Перспективи подальших досліджень. В подальших наукових дослідженнях доцільно провести експериментальні дослідження з визначення густини теплового потоку в залежності від виду деревини та її вологості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наказ МНС №1021 від 23.09.2011. Про затвердження Методичних рекомендацій зі складання та використання оперативних планів і карток пожежогасіння.
2. Наказ МНС України № 575 від 13.03.2012 року. Статут дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.
3. Рекомендации по тушению пожаров на открытых складах лесоматериалов. - М.: ВНИИПО МВД России. 1995. – 76 с.
4. Гундар С.В., Подгрушный А.В. О защите штабелей лесоматериалов от теплового излучения при пожарах на открытых складах // Докл. Тринадцатой научно-технич. конф. «Системы безопасности СБ-2004». – М.: АГПС МЧС России, 2004. – С. 187-189.

УДК 614.844; 614.845

Д.А. Журбинський, Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля,
В.М. Баланюк, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ

Флегматизувальна ефективність аерозолю залежить від багатьох факторів, зокрема від концентраційних меж та способу подачі аерозолю. Проведено експеримент з визначення флегматизувальної ефективності аерозолю при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я (КМПП). Виявлено, що аерозоль володіє флегматизувальними властивостями, вплив яких добре проявляється вже при концентрації 35 - 37 г/м³. Зроблено висновок, що для подальшого підвищення флегматизувальної ефективності в аерозольній системі необхідно збільшити концентрацію газів – CO₂, N₂, парів H₂O.

Ключові слова: флегматизувальна ефективність аерозолю, концентраційні межі, полум'я, гази флегматизатори.

Постановка проблеми. В даний час для газового пожежогасіння використовуються гази, які є складовими атмосфери і лише деякі з них є синтезовані та не входять в склад атмосфери.

Для визначення переваг та недоліків їх експлуатації необхідно розглянути їх характеристики. В основному, для гасіння використовуються такі гази – карбон діоксид, азот, водяна пара, хладони, зокрема хладон 23 (трифторметан), «Інерген».

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Карбон діоксид – безбарвний газ з густиною 1,98 кг/м³, що не має запаху, не підтримує горіння більшості речовин. Механізм флегматизування карбон діоксидом полягає в його здатності розбавляти концентрацію реагуючих речовин до меж, при яких горіння стає неможливим [1].

Хладон 23 (трифторметан) – легкий газ без кольору і запаху. У модулях знаходиться в рідкій фазі. Володіє високим тиском власної пари (48 кгс/см²), не вимагає наддуву газовим витискувачем. Екологічно безпечний (ODP=0). Рекомендується для захисту приміщень з можливим перебуванням людей. ГДК = 50 %, а вогнегасна концентрація – 14,6 %.

Азот використовується для флегматизації горючої пари і газів, для продування і осушення ємкостей і апаратів від залишків газоподібних або рідких горючих речовин. Балони із стислим азотом в умовах розвинутої пожежі представляють небезпеку, оскільки можливий їх вибух унаслідок пониження міцності стінок при високій температурі і підвищення тиску газу в балоні при нагріванні. Мірою, що запобігає вибуху, є випуск газу в атмосферу. Якщо це зробити неможливо, балон необхідно рясно зрошувати водою з укриття [2]. Азот не можна застосовувати для гасіння магнію, алюмінію, літію, цирконію і інших матеріалів, які утворюють нітрид, що володіє вибуховими властивостями. У цих випадках як інертний розчинник застосовують аргон, значно рідше - гелій [2].

Інерген – інертний, тобто нерозріджений, нетоксичний і негорючий газ. Він складається на 52 % з азоту, на 40 % з аргону і на 8 % з карбон діоксиду. Це означає, що він не завдає шкоди довкіллю, не ушкоджує устаткування і інші предмети. Механізм гасіння інергеном полягає у флегматизації горючого середовища.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є визначення факторів впливу та ефективність флегматизаційного впливу аерозолю при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Загальними недоліками вказаних флегматизаторів є висока вартість, складна технологія використання, необхідність евакуації людей з приміщення, що захищається, нанесення шкоди оточуючому середовищу. Таким чином, гази флегматизатори, які використовуються в наш час, володіють рядом характеристик, які не зовсім відповідають вимогам сьогодення, а саме: хлادони руйнують озоновий шар, карбон діоксид призводить до парникового ефекту, а азот не достатньо ефективний. Це основні недоліки, які можна доповнити рядом дрібніших. Таким чином, існує проблема високоефективного універсального флегматизатора, який би не володів вищевказаними недоліками. Найкраще для цього підходить газоаерозольна суміш, яка утворюється при згоранні аерозольутворювальних сполук (далі – АУС).

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Механізм флегматизуючої дії газових вогнегасних речовин полягає у декількох аспектах: зниження концентрації кисню, відбір тепла від зони горіння, розбавлення зони реакції горіння газовими компонентами.

Подальшого підвищення флегматизувальної ефективності можна досягти при забезпеченні додаткового інгібування початку реакції горіння. Ефективним інгібуючим ефектом володіє аерозоль на основі неорганічних солей калію, який утворюється при згоранні АУС.

Аерозоль, який утворюється при цьому, складається з дрібнодисперсних частинок солей та гідроксидів, зокрема, K_2CO_3 , KCl , KOH тощо, а також газів – продуктів згорання – CO_2 , CO , H_2O , N_2 [3]. Більшість авторів стверджують, що механізм вогнеподавляючої дії аерозолі полягає у інгібуванні реакції окислення, зниженні швидкості її протікання та відповідно, неможливості виникнення полум'яного горіння [4]. Газоаерозольна суміш, яка утворюється в результаті згорання аерозоль утворювальної сполуки, використовується в основному, для гасіння пожеж класів А₂, В, С, Е. Швидкість гасіння при цьому залежить від концентрацій аерозолі неорганічних солей калію та інертних газів [5]. Враховуючи компонентний склад газоаерозольної суміші та способу її утворення, залишається актуальним питання флегматизаційних властивостей аерозолі на основі неорганічних солей калію.

Флематизаційна дія аерозолів буде проявлятися за рахунок компонентів аерозолі з сильною інгібувальною дією та високими значеннями теплоємностей. Ці компоненти призводитимуть до зменшення кількості активних радикалів в зоні реакції та відповідно зменшення тепловиділення. Також, дотичні шари аерозолі будуть активно поглинати тепло реакції, що призводитиме до перерозподілу тепла, яке необхідне для підтримання нормальної швидкості горіння. Крім цього, в зоні реакції буде зростати концентрація інертних розріджувачів, що також позитивно впливатиме на флегматизувальну ефективність. Для виявлення ролі кожного із цих факторів необхідно розглянути процес утворення аерозолі з АУС. У більшості запропонованих рецептур АУС у якості окислювачів використовують KNO_3 , $KClO_4$ або їх суміш. В меншій мірі використовують нітроцелюлозу та інші окисники. Як паливо пропонують використовувати різноманітні синтетичні смоли – ідітол, епоксидну смолу, каучуки та інші, а також різноманітні добавки для регулювання процесу горіння АУС, так як в продуктах горіння АУС різного складу, який залежить від природи пального і окисників та їх співвідношення, може знаходитись різне співвідношення газових компонентів (CO_2 , CO , H_2O , N_2 , N_xO_y) і твердої фази у вигляді дрібнодисперсних частинок (K_2O , K_2CO_3 , $KHCO_3$, KOH , KCl , KNO_2), а також гідратовані форми цих сполук.

Для визначення ефективності флегматизувального впливу аерозолі на горючу пароповітряну суміш експеримент проводився при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я для гептану.

Експеримент проводився на установці (рис.1), яка складається з витратоміру, пальника та випаровувача н-гептану на водяній бані. Будова пальника передбачає можливість ежектування аерозолі разом з горючим газом і окисником в пальник, при його

відповідному розташуванні. Як видно з рис. 1, пальник розташований над поверхнею камери таким чином, щоб полум'я було зовні камери. При цьому аерозоль не обтікає полум'я, а потрапляє разом з повітрям в пальник при заданій концентрації аерозолю.

Опишемо методику визначення флегматизувальної ефективності в потоці аерозолю та горючої суміші. Пальник під'єднували до паропроводу гептану та кріпили його в верхній частині камери так, щоб газозабірник пальника контактував з аерозольним середовищем.

Подача парів гептану регулювалась витратоміром для отримання відповідних концентраційних меж. Витратоміром регулювали витрату парів н-гептану та знаходили нижню та верхню концентраційні межі, які для гептану відповідно становлять 1,07 % та 6,7 % [6]. Нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я досягались регулюванням витрат горючої пари гептану вентилем 6. Пара н-гептану подавалась по трубопроводу з випарника 3. Полум'я запалювалось потужною електричною іскрою відповідно при нижній та верхній концентраційній межі, після чого в потік горючого газу підмішувався аерозоль.

При досягненні стабільної подачі парів н-гептану пароповітряна суміш підпалювалась. Після досягнення стабілізації полум'я спалювалась наважка АУС. Аерозоль засмоктувався газозабірником пальника в пароповітряний потік.

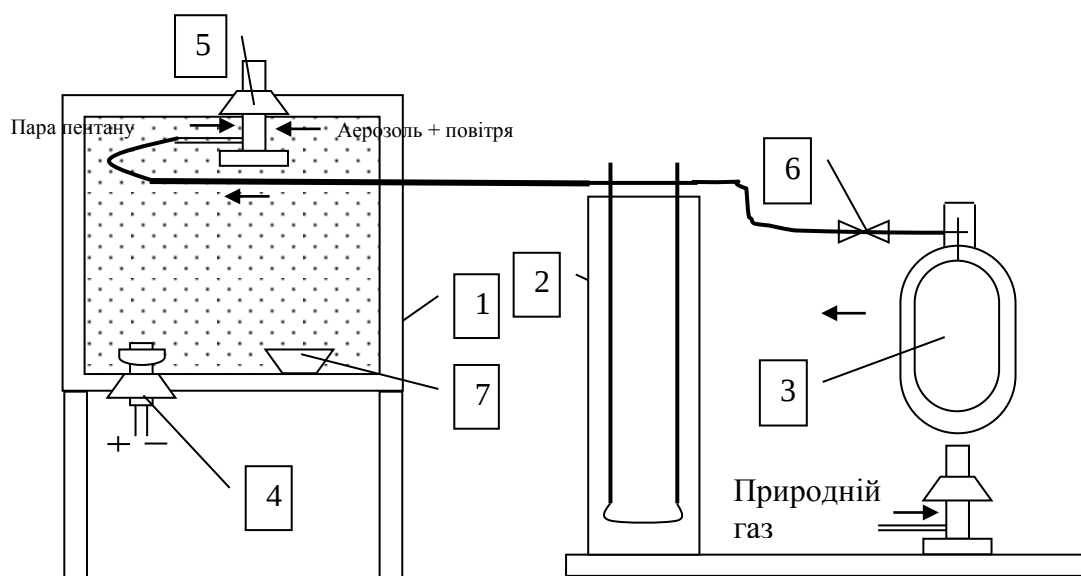


Рисунок 1 – Експериментальна установка для визначення ефективності флегматизувального впливу аерозолю на горючу пароповітряну суміш, де:

1. Камера.
2. Витратомір.
3. Випарник гептану.
4. Запалювач аерозольутворювальної сполуки.
5. Пальник.
6. Вентиль.
7. Вентилятор

В якості аерозольутворювальної сполуки використовувався аерозольутворювальний склад на основі нітрату і перхлорату калію та органічного горючого. Результати проведеного експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Флегматизувальні властивості аерозолі при НКМРП та ВКМРП

№ з/п	Концентрація аерозолі в камері, г	Концентрація аерозолі, г/м ³	КМПП %	Час гасіння, с	Результат	Примітка
1	2	3	4	5	7	8
1.1	0,12	10	1,07	-	-	Горіння стійке
			6,7	-	-	
2.1	0,14	12	1,07	-	-	Горіння стійке.
			6,7	-	-	
3.1	0,18	15	1,07	-	-	Горіння стійке. Невелика пульсація.
			6,7	-	-	
4.1	0,19	17	1,07	-	-	Горіння стійке. Невелика пульсація.
			6,7	-	-	
5.1	0,23	20	1,07	21	+	Горіння стійке. Невелика пульсація. Відрив полум'я.
			6,7	18	+	
6.1	0,27	23	1,07	18	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	16	+	
7.1	0,29	25	1,07	15	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	12	+	
8.1	0,32	27	1,07	14	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	10	+	
9.1	0,35	30	1,07	10	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	8	+	
10.1	0,37	32	1,07	7	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його незначний відрив.
			6,7	5	+	
11.1	0,41	35	1,07	4	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	2	МВК	
12.1	0,43	37	1,07	1	МВК	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	-	-	
13.1	0,45	39	1,07	4	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	2	МВК	
14.1	0,47	41	1,07	1	МВК	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.

Результати експерименту показали, що флегматизувальна концентрація при подачі аерозолі в пальник є достатньо високою як при нижній, так і при верхній концентраційних межах поширення полум'я. Викликане це декількома факторами: аерозоль не контактує з поверхнею полум'я і в процесі руху в потоці пари з окисником він зазнає попереднього нагріву, що негативно впливає на флегматизувальну ефективність [7]. Таким чином, з загальної суми факторів впливу вилучається один важливий фактор - зовнішній контакт

аерозолі з полум'ям, що веде до додаткового охолодження та флегматизувальну дію на зону кільцевого запалювання та газового простору навколо полум'я.

Флегматизувальна дія аерозолі є схожою на флегматизувальну дію порошків. При подачі порошків в полум'я помітну роль будуть відігравати дисперсність порошку та його компонентний склад.

Вогнегасний аерозоль складається з різного типу газів та солей, а саме вуглекислого газу, водяної пари, азоту. Дисперсні солі, які входять до складу аерозолі – K_2CO_3 , KCl , $KOH \cdot H_2O$, володіють різною вогнегасною та флегматизувальною концентрацією. Вогнегасна концентрація порошку на основі карбонатів та бікарбонатів лежить в межах 50-100 г/м³, причому частинки вищезазначених солей при нагріванні можуть забезпечувати додатковий вихід CO_2 та H_2O , які флегматизують зону горіння. Беручи до уваги те, що аерозоль містить додатково адсорбовані гази, в районі полум'я буде виділятися деяка кількість газів, яка буде сприяти посиленню конвективних потоків. В роботі автора [8] вказується, що невеликим потоком газу (повітря), направлено вздовж зовнішньої поверхні пальника (рис. 2,а), можна досить легко відділити полум'я від пальника, підняти його вгору, або зовсім здути, не змінюючи при цьому помітно швидкість витоку в основній частині струменя, і навпаки, якщо значно збільшити швидкість середньої частини струменя. Отже, спираючись на вище сказане, можна зробити висновок, що якщо порушити стабільність кільцевого джерела запалювання, то полум'я також буде зменшувати дифузійне горючого газу в повітря. Знову ж таки автор [8] вказує, що на периферії пальника існує область відносно невеликих швидкостей поширення полум'я. В цій області газ, який проникає з основного струменя, утворює кільце запалювання. Власне тому найбільш стійким є дифузійне полум'я, коли горіння відбувається завдяки навколишньому повітрю, а в зону горіння подається лише газ. Отже, при подачі аерозолі безпосередньо в потік газу з повітрям, він не буде флегматизувально впливати на кільцеву зону запалювання, піднімаючи її над гирлом пальника за рахунок зменшення швидкості горіння газопароповітряної суміші в ній.

В експерименті визначалась вогнегасна концентрація при нижній та верхній КМПП при ежектуванні аерозолі в полум'я разом з повітрям (рис 2, б).

При нижній КМПП час гасіння і в потоці, і в реальних умовах був більший за час гасіння при ВКМПП. Це добре видно з результатів експерименту, дані якого наведено в таблиці 1. З наведених даних видно, що мінімальна флегматизувальна концентрація при нижній концентраційній межі становить 37 г/м³, а при верхній концентраційній межі - 35 г/м³. Лише при ВКМПП час гасіння в потоці поступово зменшується, що підтверджує думку авторів [12] про більш ефективну дію інгібітору в «багатих» сумішах».

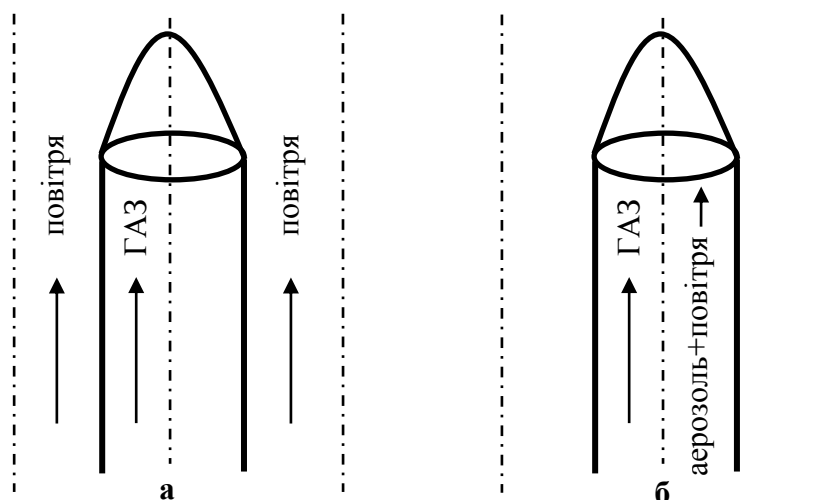


Рисунок 2 – Схема подачі в пальник суміші, де:

а – склад суміші повітря+газ;

б – склад суміші аерозоль+повітря

При збільшенні концентрації аерозолі до межі 35 г/м³ для ВКМПП та 37 г/м³ для НКМПП, за умови подачі в потік газоповітряної суміші (рис. 2, б), гасіння не досягалось і горіння продовжувалось необмежено довгий час. При такому способі подачі аерозолі спостерігались пульсації та певна нестабільність полум'я. При подальшому збільшенні концентрації аерозолі явища нестабільності полум'я проявлялись більш виразно. Збільшення нестабільності полум'я свідчить про зменшення швидкості поширення полум'я по газоповітряній суміші внаслідок інгібувальної та вогнеперешкоджаючої дії аерозолі. Це співпадає з результатами роботи авторів [9], які отримали значне зниження швидкості поширення полум'я в експерименті з виявлення впливу інертного пилу на нормальну швидкість поширення полум'я в горючих газових сумішах. Порівняно з поведінкою полум'я при гасінні аерозолем в реальних умовах, необхідно відмітити той факт, що міра нестабільності полум'я при дії такої ж концентрації аерозолі була більшою, і при подальшому збільшенні концентрації приводила до його відриву і гасіння, що збігається з висновками авторів [10], які теж спостерігали зниження швидкості поширення полум'я при добавлянні аерозолі в газоповітряну суміш.

Висновки. Експериментальне визначення ефективності показало, що аерозоль, який складається з дисперсних солей калію, володіє значною флегматизувальною ефективністю, але поряд з тим час існування самої аерозольної системи буде обмежений.

Перспективи подальших досліджень.

Шлях до подальшого підвищення флегматизувальної концентрації аерозолі полягає у збільшенні концентрації інертних газів (CO₂, N₂, водяна пара H₂O) в аерозольній системі. Це призведе до збільшення ролі газів флегматизаторів в аерозольній суміші за рахунок зменшення концентрації кисню та утворення в більшій мірі гідратованих форм солей калію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кашолкин Б. И., Мешалкин Е. А. Тушение пожаров в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 17
2. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А., Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. С. 133
3. Баратов А.Н. Физические и химические аспекты пожаротушения экономически эффективными системами основанными на сжигании пропеллантов. Пожаровзрывоопасность 6'2001, С. 26-32.
4. Баратов А.Н., Мышак Ю.А., Радченко С.А. Исследование огнетушащей способности аэрозольных составов. – Материалы 11 Всесоюзной конференции. ВНИИПО 1991, С.56-57.
5. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження впливу інертних розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів // Пожежна безпека. – 2005. – №5. – С. 113–116.
6. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. изд. – М.: Химия, 1987. – 269 с.
7. В.В. Агафонов, В.С. Большаков, В.Б. Голубчиков, Д.В. Поляков. Влияние начальных температур среды и аэрозолей АОС на эффективность объемного аэрозольного пожаротушения // Материалы 16 всероссийской научно – технической конференции С. 87-91
8. Хитрин А.Н. Физика горения и взрыва. – М.: Изд-во Московского Университета, Москва, 1957. – 442 с.
9. Шорин С.Н., Балин В.А. Влияние инертной пыли на нормальную скорость распространения пламени в горючих газовых смесях // Вопросы теории горения. Труды общемосковского семинара по теории горения: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1970. – С. 93–100.
10. Балин В.А., Шорин С.Н., Ермолаев О.М. Исследование нормальной скорости распространения пламени в запыленных газовых потоках // Теплоэнергетика. – М., 1969. – №4 – С. 75–77.

УДК 004.056

М.В. Захарова, к.т.н.,
Черкаський державний технологічний університет

МЕТОД ВИБОРУ КОМПЛЕКСІВ ЗАХОДІВ І ЗАСОБІВ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА АНАЛІЗ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

Робота присвячена вдосконаленню процесів вибору засобів протипожежного захисту з метою підвищення ефективності функціонування систем протипожежного захисту об'єкту. Розроблено метод вибору засобів захисту, який за рахунок використання нечіткої логіки дозволяє визначити здатність відповідної системи протипожежного захисту протистояти небезпечним факторам.

Ключові слова: система протипожежного захисту, ефективність, комплекс заходів і засобів захисту, небезпечний фактор.

Постановка проблеми. На сьогодні існують проблеми, пов'язані з необхідністю підвищення ефективності систем протипожежного захисту (СПЗ). Метою створення будь-якої СПЗ є забезпечення безпеки людей та майна від впливу небезпечних факторів (НФ) пожежі або обмеження його наслідків. Очевидно, що без достатнього технічного та матеріального забезпечення неможливо приймати правильні рішення, що безпосередньо впливають на долю підприємства або організації, на їх розвиток і життєздатність. Обстановка постійно змінюється, число рішень росте, їхні наслідки усе складніше прогнозувати, а ціна втрат з кожним днем підвищується. Тому розробка методів аналізу захищеності об'єкта та отримання на їх основі практичних методів вибору комплексів заходів і засобів (КЗЗ) протипожежного захисту (ППЗ) становить актуальну проблему, яка має наукове і практичне значення.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В сучасних публікаціях, присвячених методам і засобам забезпечення безпеки об'єкта недостатньо приділяється увага питанням розробки та вибору комплексів засобів ППЗ. У той же час деякі практичні посібники з розробки СПЗ присвячені рекомендаціям по визначенню засобів забезпечення безпеки, але дані рекомендації носять неформальний характер. З аналізу сучасної літератури з проблем проектування СПЗ [3] та захисту об'єкта від впливу НФ не зовсім зрозуміло, як здійснити вибір засобів захисту з урахуванням вимог захисту або оцінити ефективність СПЗ.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

При проектуванні ефективної СПЗ на об'єкті будь-якого типу необхідно сформулювати вимоги до системи, розробити методи визначення цінності ресурсів об'єкта та методи реагування на появу НФ [3]. Тому важливо створювати і застосовувати ефективні заходи та засоби ППЗ для реалізації функцій захисту об'єкта. Для забезпечення захисту на заданому рівні необхідне застосування КЗЗ щодо забезпечення безпеки, що поєднуються в єдину СПЗ.

Постановка задачі та її розв'язання.

Метою даної роботи є підвищення ефективності СПЗ за рахунок вибору заходів і засобів, використання яких в комплексі при мінімізації вартості дозволить досягти максимізації загального рівня захищеності всієї системи в цілому. Проектування будь-яких систем захисту фактично пов'язано з невідомими подіями в майбутньому і тому завжди містить елементи невизначеності, наприклад, етап проектування СПЗ природним чином супроводжує значна невизначеність, тому ефективним є застосування механізму нечіткої логіки, що дозволяє будувати моделі предметної області, адекватні реальним, на основі семантичного опису об'єкта дослідження і знань експертів, що набагато простіше за розробку складних математичних моделей. При цьому, за допомогою спеціалізованих методів обробки нечислової інформації забезпечуються досить точні рішення.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Оцінка ефективності ППЗ – процес встановлення відповідності між результатом захисту й поставленою метою. Із зростанням складності об'єктів аналізу, складу та характеристик НФ завдання кількісної оцінки захищеності залишається актуальним. Оцінка ефективності КЗЗ можлива на основі порівняння значення показника захищеності з нормативним значенням і на основі порівняння показників без вживання і в умовах вживання ефективного КЗЗ [5].

Наприклад, в якості об'єкта протипожежного захисту (ОЗ) можна розглядати об'єкт, що може бути підданий впливу НФ пожежі. Пожежна небезпека об'єкта захисту – стан, що характеризується можливістю виникнення і розвитку пожежі, а також впливу на людей і майно НФ пожежі [2].

Тому першим етапом процесу вибору КЗЗ є аналіз об'єкта захисту, його функціонального призначення, властивостей та визначення небезпечних для ОЗ факторів. Основою ефективного аналізу захищеності ОЗ є складання повного переліку потенційних небезпечних впливів, виділення з повного переліку узагальнених типів, їх опис та класифікація, дослідження можливості їх впливу на СПЗ.

На другому етапі кожному з засобів безпеки ставиться у відповідність деякий набір показників, наприклад, вартість, ресурсомісткість, рівень захисту, які характеризують ступінь впливу даного засобу на ймовірність впливу будь-якого НФ (рис. 1).

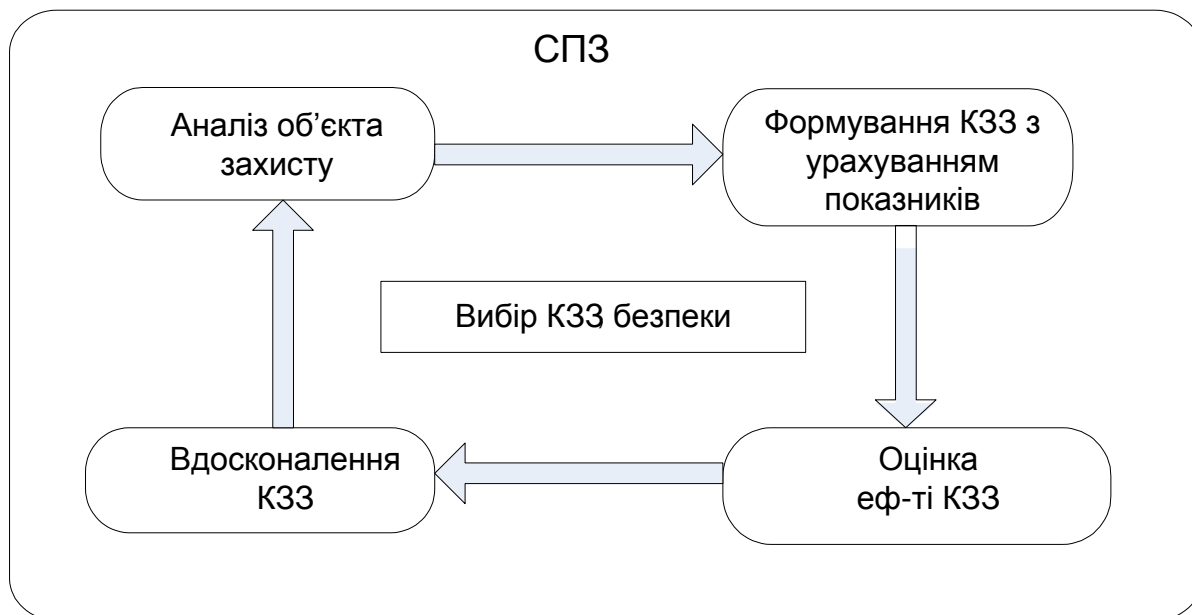


Рисунок 1 – Схематичне відображення методу вибору КЗЗ.

Таким чином, будь-який НФ реалізується за період часу з ймовірністю близькою до одиниці. Для кожного НФ $F = \{F_1, \dots, F_n, \dots, F_N\}$ визначений КЗЗ $Z = \{Z_{x_1}, \dots, Z_{x_k}, \dots, Z_{x_K}\}$ із заданими значеннями коефіцієнтів ефективності ППЗ $\varepsilon_{nk}, k = \overline{1, K}$ у вигляді нечітких чисел [6]. Використання ефективних КЗЗ впливає на значення ймовірності впливу НФ і коефіцієнта ризику. Зміна коефіцієнта ризику впливу НФ при застосуванні КЗЗ може бути задана у вигляді початкових даних.

НФ впливають на вибір КЗЗ, тому один із способів оцінки такого впливу заснований на зниженні коефіцієнтів ризику та ймовірності реалізації НФ в умовах захисту експертами за допомогою систем нечіткого виводу. Значення коефіцієнту ефективності захисту ε_{nk} не залежатиме від значення коефіцієнта ризику від НФ F_n і ймовірності впливу НФ P_r , а визначатиметься лише видом НФ та рівнем, до якого може бути знижений НФ і ймовірність його впливу [4].

Рішення про розширення класифікацій НФ та КЗЗ приймається відповідно до системи оцінок достовірності нейтралізації впливу НФ в розрізі окремих засобів захисту. Результати експертних оцінок представляють у вигляді матриці:

$$\begin{matrix} Zx_1 \\ Zx_2 \\ \dots \\ Zx_k \\ \dots \\ Zx_K \end{matrix} \begin{pmatrix} \alpha(\varepsilon_{11}) & \alpha(\varepsilon_{12}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{1n}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{1N}) \\ \alpha(\varepsilon_{21}) & \alpha(\varepsilon_{22}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{2n}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha(\varepsilon_{k1}) & \alpha(\varepsilon_{k1}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{kn}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{kN}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha(\varepsilon_{K1}) & \alpha(\varepsilon_{K1}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{Kn}) & \dots & \alpha(\varepsilon_{KN}) \end{pmatrix},$$

де $Z = \{Zx_1, \dots, Zx_k, \dots, Zx_K\}$ – множина КЗЗ, K – кількість засобів із заданими значеннями коефіцієнтів ефективності ППЗ $\varepsilon_{nk}, k = \overline{1, K}$ у вигляді нечітких чисел.

Коефіцієнти ефективності КЗЗ використовуються для обчислення стійкості P_Z , що дорівнює:

$$P_Z = 1 - \prod (1 - P_{Zx_{ni}}), \quad (1)$$

де $P_{Zx_{ni}}$ – ефективність i -го КЗЗ безпеки, що застосовується для побудови СПЗ.

На наступному етапі ефективність захисту ε_{nk} k -го КЗЗ для n -го виду НФ задається двома зв'язаними таблицями: таблиця D значень коефіцієнта ризику та таблиця ймовірностей впливу НФ в умовах застосування КЗЗ – H , що визначають, до якого рівня k -й КЗЗ знижує коефіцієнт небезпеки n -ого НФ та ймовірність його впливу відповідно [3].

Оцінити вплив НФ на вибір КЗЗ можна також за допомогою імітаційного моделювання, набору статистичних даних, в умовах застосування КЗЗ ППЗ в залежності від часу t , коефіцієнтів ризику та умовної ймовірності s -ної реалізації НФ $P(t/u_s)$. Він заснований на визначенні тимчасових залежностей коефіцієнта небезпеки $F_n(t)$ та ймовірності впливу НФ $P(t)$. Ефективність КЗЗ захисту в цьому випадку визначається у вигляді коефіцієнтів, залежних від часу, що зменшують коефіцієнт НФ $\lambda(t)$ і ймовірність реалізації $\varphi(t)$. В цьому випадку обчислення ефективності захисту у момент часу:

$$E(t) = \prod_n ((1 - \lambda(t)F_n(t) \cdot \prod_s P(t)\varphi(t)P(t/u_s))) \quad (2)$$

Останній етап – вдосконалення КЗЗ. Проводиться аналіз відповідності заданим вимогам: оцінка рівня захищеності. У випадку, коли рівень захищеності відповідає заданим вимогам, створюється СПЗ. Вимоги до ефективності КЗЗ ППЗ можуть істотно відрізнятися стосовно рішення конкретної задачі захисту. При оцінці ефективності захисту необхідно визначити можливі НФ і оцінити рівень адекватних заходів безпеки по кожному НФ, враховувати можливі вразливості СПЗ, для яких необхідно передбачити ефективні заходи і засоби протипожежної безпеки.

Встановлені та вжиті КЗЗ захисту, особливо в початковий період їхньої експлуатації, можуть забезпечувати як надмірний, так і недостатній рівень захисту. Для забезпечення можливості варіювання рівнем захищеності, засоби ППЗ повинні мати певну гнучкість. Тому захист полягає не тільки в створенні відповідних КЗЗ, а являє собою регулярний процес, що здійснюється на всіх етапах життєвого циклу системи при комплексному використанні всіх

наявних заходів і засобів ППЗ. При цьому всі засоби, методи й заходи безпеки повинні раціонально поєднуватися в єдиний цілісний механізм – СПЗ.

Якщо всі показники, які описують властивості засобів і заходів захисту, виражені кількісно, то проектування СПЗ зводиться до створення математичної моделі. Для перетворення якісних показників у кількісні, використовуються експертні оцінки.

Таким чином, при отриманні вхідних даних для проведення розрахунків ефективності КЗЗ використовуються інструментальні засоби, призначені для прийняття рішення, що базується на алгоритмах логічного виводу на основі системи правил, сформованих в умовах невизначеної інформації (НВІ).

Система нечіткого логічного виводу повинна містити модулі, що забезпечують формування і редагування функцій належності, введення і редагування системи нечітких продукційних правил (НПП) з можливістю приписування кожному правилу коефіцієнта достовірності (див. рис 2). Тому, у випадку завдання коефіцієнта НФ $\lambda(t)$ і коефіцієнта ймовірності реалізації $\varphi(t)$ в нечіткому вигляді, визначення $F_n(t)$ та $P(t)$, формулу для обчислення ефективності захисту в умовах нечіткості можна представити:

$$E(t) = \prod_n ((1 - \lambda(t)F_n(t) \cdot \prod_s P(t)\varphi(t)P(t/u_s))) \cdot (F_n'(t) \rightarrow E'), \quad (3)$$

де операції множення здійснюються за правилами теорії нечітких множин, що дозволяє надати наочні результати для правильного прийняття рішень.

До найбільш відомих моделей, призначених для обробки нечітких даних, відносяться нечіткі моделі з лінгвістичною та бальною шкалами [1], які використовуються для експертного оцінювання рівня захищеності ОЗ.

Основними процедурами нечіткого виводу є формування бази правил системи нечіткого виводу, фазифікація вхідних параметрів, агрегування, активізація та дефазифікація. Основний інструмент – функція належності (ФН). Це інструмент перекладу лінгвістичних змінних на математичну мову для подальшого застосування методу нечітких множин [1].

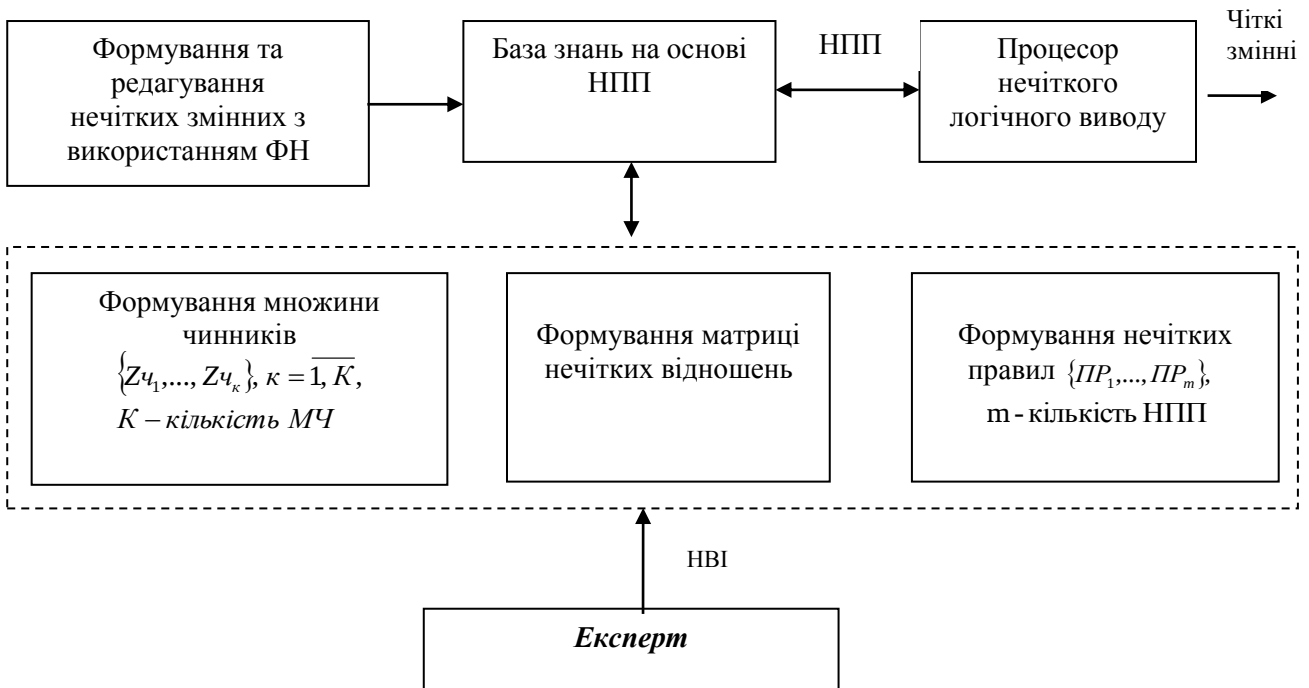


Рисунок 2 – Система нечіткого виводу.

ФН є математичною функцією, що задає ступінь або упевненість, з якою ресурси деякої множини належать заданій нечіткій множині. Ступінь належності визначається деяким дійсним числом з інтервалу [0,1].

При аналізі ефективності СПЗ визначаються, які КЗЗ використовуються на об'єкті, застосовуються відповідні критерії оцінки, щоб визначити, чи є дані комплекси сильними або слабкими в порівнянні з іншими реалізаціями цих же засобів ППЗ. Для цього вирішуються задачі прийняття рішень, які є одними із розповсюджених методів, що мають практичну реалізацію, які часто використовуються в таких умовах, коли поставлені цілі, наявні обмеження і наслідки, що породжуються можливими діями, точно не відомі. Для опрацювання неточно відомих величин часто застосовують методи теорії ймовірностей, прийняття рішень. При цьому реальні нечіткості ототожнюють з випадковостями, які пов'язані з невизначеністю щодо належності чи неналежності об'єкта до традиційної множини.

Висновки.

Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність СПЗ, обґрунтовано вибрати оптимальні КЗЗ ППЗ, що знижують ризики до допустимих рівнів і володіють найбільшою ефективністю, розробити рекомендації з проведення регулярних перевірок СПЗ. Оцінка ефективності комплексів заходів і засобів безпеки виконується за допомогою механізмів нечіткої логіки, використовуються коефіцієнти зниження впливу НФ пожежі. Рациональний вибір КЗЗ безпеки дозволяє здійснити побудову СПЗ на об'єкті будь-якого типу при обмежених витратах на реалізацію захисту та підвищити ефективність протипожежного захисту в цілому.

Перспективи подальших досліджень.

Підготовка науково обґрунтованих рекомендацій управління КЗЗ безпеки конкретних об'єктів захисту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Нечеткая оптимизация: Учеб. пособие / Ю.П. Зайченко. – К.: Высш. шк., 1991. – 191 с.
2. ДСТУ 2272–93. ССБП. Пожежна безпека. Терміни та визначення.
3. Конев И.Р. Информационная безопасность предприятий / И.Р.Конев, А.В. Беляев. – СПб: БХВ-Петербург, 2003. – 752 с.
4. Корченко А.Г. Методология синтеза механизмов защиты информационных ресурсов / А.Г. Корченко, Є.В. Паціра, М.В. Захарова // Защита информации: Сборник научных трудов. –К.: НАУ, 2008. – С. 99–102.
5. Рожков А.П. Пожежна безпека: Навч.посібник для студентів вищих закладів освіти України / А.П. Рожков. – Київ: Пожінформтехніка, 1999. –256 с.
6. Рындюк В.А. Повышение защищенности информационных ресурсов за счет определения коэффициентов эффективности механизмов защиты / В.А. Рындюк, М.В. Захарова // Сборник статей по материалам докладов участников II Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в гуманитарном образовании», 22-23 апреля 2009 г. – Пятигорск: ПГЛУ, 2009. – С. 398–404.

УДК 614.842.83

Каракоця А.В., Яценко І.П., Гненний О.П.,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ДЛЯ СИСТЕМ УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ОРС ЦЗ УКРАЇНИ

В роботі розглядається проблема дослідження характеристик фазованих антенних решіток, які використовуються в радіолокації, радіонавігації та в авіаційних системах зв'язку, а також можливість застосування такого типу антен в системах радіозв'язку оперативно-рятувальної служби, як одного з шляхів підвищення ефективності таких систем.

Ключові слова: антенні решітки, адаптивні антени, діаграма направленості.

Актуальність роботи. Діяльність ОРС ЦЗ пов'язана з виконанням широкого спектру задач, які вимагають відповідного технічного та інформаційного забезпечення. Необхідно відмітити, що технічне оснащення та рівень організації зв'язку в ДСНС України знаходиться далеко не в найкращому стані. Особливо ця проблема стає дуже актуальною в останні роки, коли значно погіршилась радіоелектронна обстановка. Велика кількість радіоперешкод в ефірі практично паралізує канали радіозв'язку. Така ситуація пояснюється, перш за все, наявністю величезної кількості радіоелектронних засобів, велика частина яких експлуатується безконтрольно. В зв'язку з цим перед розробниками засобів радіозв'язку для відомчих організацій постає задача завадозахищеності каналів зв'язку. Одним із перспективних напрямків вирішення таких задач є розробка адаптивних антен, які являють собою фазовані антенні решітки. Така антена, маючи гостру діаграму направленості, здійснює механічне сканування простору в заданому просторовому куті та вибирає оптимальний напрямок на кореспондента. В цьому напрямку коефіцієнт підсилення антени буде максимальним, а в напрямках на перешкоди – мінімальним. На сьогоднішній день всі підрозділи ДСНС України для зв'язку на ультракоротких хвилях використовують найпростіші антени з круговою діаграмою направленості, які приймають корисні сигнали та сигнали перешкод з однаковим коефіцієнтом підсилення, що абсолютно не дозволяє зменшити рівень перешкоди. Запропонований тип антен з керованою діаграмою направленості не застосовується ні в одному підрозділі ДСНС України.

Постановка задачі. Сьогодні технічне вирішення антени з гострою діаграмою направленості являє собою антенну решітку, в вузлах якої розміщені найпростіші випромінювачі електромагнітної енергії. Кола живлення цих випромінювачів організовані так, що випромінювання кожного елемента когерентне з випромінюванням всіх елементів, в той час як фаза змінюється по заданому закону. Зміна розподілу фаз на елементах дозволяє зформувати діаграму направленості в заданому напрямку.

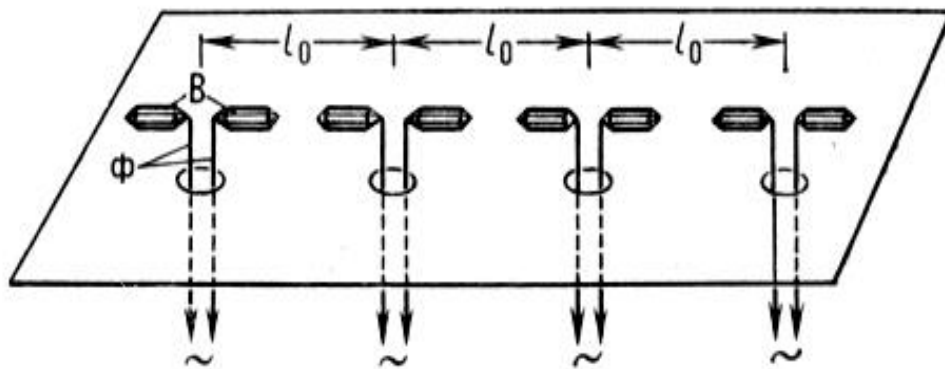


Рисунок 1 – Схема антенної решітки.

Оскільки радіозв'язок оперативно-рятувальної служби України здійснюється між радіостанціями, які розміщені на площині земної поверхні, тому діаграма направленості антени повинна переміщуватись в одній площині. Вхід антени може з'єднуватись з радіостанцією коаксіальним кабелем. Вібратори V розміщені на одній прямій, відстань між ними l_0 . (рис.1). В практичних конструкціях ця відстань, зазвичай, дорівнює довжині хвилі, або її половині. Між входом антени та виходом передавача розміщується фідер Φ [1,2]. Метою даної статті є аналіз характеристик фазованих антенних решіток для можливого подальшого застосування такого типу антен в підрозділах МНС України, що дозволить значно підвищити ефективність та надійність каналів УКХ зв'язку.

Вирішення задачі. Згідно з законами дифракції електромагнітних хвиль ширина діаграми антени визначається відношенням довжини хвилі до розміру антени:

$$\Delta\theta \cong \frac{\lambda}{L}, \quad (1)$$

де $\Delta\theta$ - ширина діаграми направленості, λ - довжина хвилі, L - розмір антени, [2].

Припустимо, лінійка випромінювачів складається із N вібраторів, d – відстань між сусідніми вібраторами. Тоді, щоб забезпечити нахил фазового фронту на кут θ_k , фазовий зсув між сусідніми вібраторами повинен бути

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta_k. \quad (2)$$

Різниця фаз між сусідніми випромінювачами повинна бути в межах:

$$-\pi < \Delta\varphi < \pi. \quad (3)$$

Якщо фазовий зсув виходить за визначені межі то це приведе до неоднозначності положення діаграми антени. Співставляючи формули (2) та (3) находимо межі коливання променя:

$$\theta_{kmin} = -\arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right), \quad \theta_{kmax} = \arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right) \quad (4)$$

Тепер можна визначити ширину сектора сканування променя:

$$\Delta\theta_k = \theta_{kmax} - \theta_{kmin} = 2\arcsin\left(\frac{\lambda}{2d}\right). \quad (5)$$

В разі $d \gg \lambda$ формула (5) набуває спрощеного вигляду:

$$\Delta\theta_k = \frac{\lambda}{d}. \quad (6)$$

При $d > \frac{\lambda}{2}$ за межами сектора коливання виникнуть додаткові дифракційні максимуми і діаграма антени перестане бути одно направленою. Разом з тим ці максимуми можна подавити, якщо вибрати елементарні випромінювачі такими, щоб індивідуальна діаграма направленості кожного елементарного випромінювача забезпечувала подавлення випромінювання за межами вибраного сектора коливання променя всієї антени в цілому.

Знайдемо відношення сектору коливання променя до ширини самого променя лінійки випромінювачів:

$$\frac{\Delta\theta_k}{\Delta\theta} = \frac{L}{d} = N, \quad (7)$$

де N – число випромінювачів антени.

Формула (7) визначає число елементів, з яких повинна складатись антена. Кожний елемент складається з випромінювача, або вібратора, фазообертача та кіл управління фазообертачем. Так, наприклад, антена з гострою діаграмою направленості повинна мати ширину променя $\Delta\theta = 1^\circ$. Якщо ж $\Delta\theta_k = 90^\circ$, тоді $N=90$, тобто конструкція лінійки вібраторів стає достатньо габаритною, а при використанні низькочастотних каналів зв'язку така антена може займати площу в декілька гектарів [3]. Сьогодні системи ультракороткохвильового зв'язку ДСНС України в основному переведені в частотний діапазон 430-450 МГц, що відповідає довжині хвилі 70см. Довжина одиночного найпростішого вібратора для такої довжини хвилі дорівнює 35 см, а площа антени для розрахованої вище кількості вібраторів дорівнює приблизно 10м^2 , що для антени стаціонарної радіостанції є доволі прийнятним.

В загальному випадку при збудженні антенних решіток амплітуда збудження елементів вибирається таким чином, щоб огинаюча співпадала з розподілом збудження відповідного безперервного розкриття. Можливо показати, що отримані при цьому діаграми направленості практично співпадають. Розглянемо можливість еквівалентності діаграм таких систем та необхідні для цього умови.

Позначимо $F(u)$ діаграму направленості лінійного вібратора, де $u = \pi \sin \theta$, а $\Phi(u)$ – діаграма направленості лінійної решітки. В цьому випадку, якщо $f(p)$ ($p = \frac{2x}{\lambda}$ – просторова координата) – безперервна функція, яка створює $F(u)$, то тоді:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(p) e^{ipu} dp. \quad (8)$$

Звідки:

$$f(p) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{-ipu} du. \quad (9)$$

Якщо врахувати, що $F(u)=0$ при $|u| > \pi$, то отримаємо:

$$f(p) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(u) e^{-ipu} du. \quad (10)$$

Діаграма направленості дискретної решітки, яка складається з $2N+1$ одиночних вібраторів, які знаходяться на відстані $\lambda/2$ один від одного має вид:

$$\Phi(u) = \sum_{-N}^N A_n e^{-inu}. \quad (11)$$

Оскільки функції $e^{-i\omega t}$ ортогональні на інтервалі $(-\pi, \pi)$, то:

$$A_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi(u) e^{-inu} du. \quad (12)$$

Цей вираз співпадає з (10), якщо замінити p на n . Тому при $F(u)=\Phi(u)$ на інтервалі $(-\pi, \pi)$ маємо:

$$A_n = f(n). \quad (13)$$

Таким чином, рівняння $F(u)=\Phi(u)$ буде мати місце в тому випадку, коли перетворення Фур'є від $F(u)$ є огинаючою коефіцієнтів Фур'є функції $\Phi(u)$. Умова $f(p)=0$ при $|p|>M$ є також необхідною для того, щоб $F(u)=\Phi(u)$. Допустимо, що на інтервалі $-\pi \leq u \leq \pi$ визначена ортонормована система функцій $\{f_n(u)\}$ і $F(u)$ задовольняє початковим умовам. Тоді:

$$\sum \Upsilon_n f_n(u) \Rightarrow F(u), \text{ якщо } \Upsilon_n = \int_{-\pi}^{\pi} F(u) f_n(u) du. \quad (14)$$

Оскільки функції $\frac{e^{\pm i n u}}{2\pi}$ при $n \rightarrow \infty$ створюють повну ортонормовану систему, то:

$$F(u) = \sum_{-\infty}^{+\infty} A_n e^{i n u}, \quad A_n = \frac{\Upsilon_n}{\sqrt{2\pi}}. \quad (15)$$

При $|n|>M$ $A_n = 0$ тому:

$$F(u) = \sum_{-\infty}^{+\infty} A_n e^{i n u} = \Phi(u). \quad (16)$$

Рівнянням (16) $F(u)$ визначено тільки для $|u| \leq \pi$ і дискретна решітка із $2M+1$ елементів відтворює діаграму $F(u)$ тільки на цьому інтервалі. За межами інтервалу реальних кутів рівність функцій $F(u)$ та $\Phi(u)$ порушується, що пов'язано з різницею між рядом та інтегралом Фур'є. Крім того, неможливо добитися, щоб за межами інтервалу реальних кутів $F(u)$ та $\Phi(u)$ зменшувались однаковим чином. Дійсно, діаграма решітки через свою періодичність взагалі не зменшується. На практиці внаслідок направленості випромінювачів решітки різниця між $F(u)$ та $\Phi(u)$ зменшується.

Висновки. Таким чином, дифракція хвиль при великому числі елементів фазованої антенної решітки формує головний промінь антени, який визначає той напрямок, в якому антена забезпечує максимум випромінювання, або найбільше підсилення при прийманні. Крім цього, діаграма направленості кожної антени має напрямки де її підсилення дорівнює нулю. Міняючи розподіл фаз на елементах антени, ми маємо можливість керувати напрямком нульового приймання. Тому фазована антенна решітка може бути налаштована на максимум підсилення в потрібному напрямку та на нульове підсилення в напрямку на перешкоду. Використання таких антен суттєво підвищує надійність функціонування кожної радіотехнічної системи, в тому числі і системи зв'язку. Переведення системи ультракороткохвильового зв'язку оперативно-рятувальної служби з діапазону 148 МГц на більш високочастотний діапазон 450 МГц дозволяє розробити фазовану антенну решітку порівняно невеликих розмірів, яка може значно підвищити ефективність діючих систем зв'язку ДСНС України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. – М.: Радио и связь, 1994. – 592с.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. –М.: Радио и связь, 1986.-448с.
3. Ротхаммель К. Антенны: Пер.с нем. -3-е изд., доп. – М: Энергия, 1979. -320с.
4. Настанова по службі зв'язку і АСУ пожежної охорони МВС України (додаток №2 до наказу №755 МВС України від 9.06.1992р)
5. Бурлай І.В., Орел Б.Б., Джулай О.М. Системи радіозв'язку та їх застосування оперативно-рятувальною службою. Учебний посібник. 2007р. -288с.

УДК 614. 842

И.В.Карпенчук, к.т.н., доц., П.В.Максимов,
ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОЗОЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ОГNETУШАЩЕЙ СМЕСИ

Представлена методика расчёта газодинамического охладителя по типу сопла Лавалья огнетушащей смеси в аэрозольных установках пожаротушения.

Ключевые слова: генератор огнетушащего аэрозоля, аэрозолеобразующие огнетушащие составы, сопло Лавалья.

Постановка проблемы. Проблема обеспечения пожарной безопасности объектов является весьма актуальной. Ее успешное решение во многом связано с созданием и использованием эффективных огнетушащих веществ, надежных и экономичных установок пожаротушения.

В этой связи весьма перспективными являются направления работ, связанных с внедрением новой разновидности экологически безопасных средств объемного пожаротушения-твердотопливных аэрозолеобразующих огнетушащих составов (АОС). Современные аэрозольные средства по огнетушащим и технико-эксплуатационным показателям превосходят все средства, ранее используемые для тушения пожара.

Под твердотопливными составами понимаются специальные рецептурные композиции, основой которых являются гетерогенные смеси кислородосодержащих и горючих компонентов с добавками (или без них). Смеси такого типа широко используются в пиротехнике, производстве порохов, твердых ракетных топлив. В нормальных условиях твердотопливные составы обладают химической стабильностью, но при нагреве (от электроспирали, пиропатронов.) способны интенсивно реагировать (гореть) и обеспечивать получение веществ с требуемыми свойствами.

В общем виде процесс горения различных составов можно условно разделить на три стадии: иницирование, воспламенение (горение по всей поверхности) и непосредственно горение (распространения в глубину). Для начала горения состава требуется внешнее тепловое воздействие (иницирование), то есть нагревание хотя бы части состава до температуры воспламенения. После воспламенения (горения по всей поверхности) состава нет необходимости в дальнейшем нагревании, так как количества теплоты, выделяющееся при этом, достаточно для протекания самоподдерживающейся реакции горения.

Процесс горения твердотопливных составов представляет собой комплекс экзотермических химических реакций. Реакции горения начинаются на поверхности состава, а заканчиваются в газовой фазе (в пламени). Соединения металлов, получаемые в процессе химических реакций в пламени в газообразном или парообразном состоянии, попадая в окружающую среду, охлаждаются. При этом происходит их конденсация с образованием в потоке выделившегося газа субмикронных размеров твердых частиц, например, различных соединений щелочных и щелочноземельных металлов. Получаемую в процессе реакции горения двухфазную систему (смесь газов и твердых частиц) называют твердофазным аэрозолем.

Вместе с тем анализ эксплуатации установок аэрозольного пожаротушения выявил специфические особенности их практического применения. Незнание или неучет выявленных особенностей может привести к тому, что аэрозольные установки автоматического пожаротушения могут не только не обеспечивать тушение пожара, но и являться его источником или способствовать его развитию.

В настоящее время для противопожарной защиты объектов в Республике Беларусь находят все большее распространение системы автоматического пожаротушения на основе генераторов огнетушащего аэрозоля (ГОА).

В качестве источника огнетушащего вещества в них используются аэрозолеобразующие огнетушащие составы (АОС), которые представляют собой специальные твердотопливные или пиротехнические композиции, способные к самостоятельному горению без доступа воздуха с образованием инертных газов, высокодисперсных солей и окислов щелочных металлов. Смесь этих продуктов обладает высокой огнетушащей способностью. Однако, при работе ГОА имеет место образование высокотемпературных зон за счет продуктов, нагретых до высокой температуры. Многие из генераторов не оснащены устройством для эффективного снижения температуры образующейся аэрозольной смеси. Поэтому при их работе температура продуктов на выходе из генератора может превышать 1000-1200 °С, что является источником дополнительной пожарной опасности.

Анализ последних достижений и публикаций. В последнее время внедряются генераторы "холодного" аэрозоля. Снижение температуры аэрозольной смеси в генераторах "холодного" аэрозоля достигается либо за счет изменения химического состава АОС, либо в результате применения специальных охлаждающих насадок. В последнем случае масса охлаждающего состава может в 1,5-2,0 раза превышать массу заряда АОС, находящегося в генераторе. В результате применения охладителей удастся снизить температуру газоаэрозольных продуктов на выходе генератора до 200-600°С.

Постановка задачи и ее решение. Реализацию поставленной задачи предлагаем осуществить с использованием охладителя выполненного по типу сопла Лавалля. При движении в сопле Лавалля, газ, проходя критическое сечение, приобретает скорость, равную местной скорости звука, и далее, проходя диффузор, при расширении газ ускоряется до сверхзвуковых значений скоростей. При этом плотность газа резко уменьшается, и в соответствии с уравнением Менделеева – Клапейрона резко уменьшается температура газа [1].

Выделение нерешённых ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.

Истечение струи огнетушащего газа с температурой 150 – 200 °С и более, может привести к возгоранию древесно – клееных и синтетических конструкций. Следовательно, возникает необходимость еще большего охлаждения струи огнетушащего газа до температур ниже температуры воспламенения строительных конструкций, в первую очередь из древесины. В статье предлагаем устройство для охлаждения огнетушащей смеси и методику расчёта рассматриваемого охладителя.

Выкладка основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Последовательность расчета охладителя огнетушащего газа, выполненного по типу сопла Лавалля, с учетом специфики рассматриваемой системы пожаротушения заключается в следующем:

Задаемся исходными параметрами, а именно:

p_1 – давление на входе в сопло (может быть определено по параметрам горения источника огнетушащего вещества).

$T_1 = t + 273$ – абсолютная температура.

Q – объемный расход.

1. Расчет входного сечения.

Плотность газа во входном сечении может быть определена из уравнения состояния газа.

$$\rho_1 = \frac{p_1}{R \cdot T_1}, \quad (1)$$

где R – газовая постоянная.

Массовый расход газа равен:

$$m = \rho_1 \cdot Q, \quad (2)$$

где ρ_1 – плотность огнетушащего состава.

Диаметр входного сечения d_1 будет определяться конкретными монтажными условиями (следовательно, в каждом конкретном случае необходим расчет, учитывающий особенности данной схемы).

2. Расчет критического сечения.

Рассмотрим критическое сечение, в котором скорость газа достигает значения местной скорости звука, т. е. число Маха $M=1$.

Плотность в критическом сечении можно определить:

$$\rho_* = \rho_1 \left(\frac{2}{K+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (3)$$

где k – показатель адиабаты смеси газов.

Критическое давление в критическом сечении:

$$p_* = \beta \cdot p_1, \quad (4)$$

где ρ_1 – плотность огнетушащего состава.

Температура газа в критическом сечении равна:

$$T_* = T_1 \frac{2}{k+1}. \quad (5)$$

Определяем скорость в критическом сечении, которая равна скорости звука при данных условиях:

$$V_* = \varphi \cdot \sqrt{k \frac{p_*}{\rho_*}}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент скорости (в данных условиях можно принять, как для коноидального насадка, т. е. $\varphi=0,97$).

Так как из закона сплошности массовый расход равен:

$$m = \rho \cdot V \cdot S = \rho_* \cdot V_* \cdot S_*, \quad (7)$$

Тогда площадь критического сечения будет равна:

$$S_* = \frac{m}{\rho_* V_*}. \quad (8)$$

Очертание проточной части от входного сечения (рисунок 1) можно построить по формуле Витошинского:

$$r = \frac{r_*}{\sqrt{1 - \left[1 - \left(\frac{r_*}{r_0} \right)^2 \right] \frac{\left(1 - \frac{3\tilde{\sigma}^2}{\ell'^2} \right)^2}{\left(1 + \frac{\tilde{\sigma}^2}{\ell'^2} \right)^2}}}, \quad (9)$$

где r_0 - радиус входного сечения;

r_* - радиус критического сечения;

$\ell' = \frac{\ell}{\sqrt{3}}$, где ℓ - длина рассчитываемого участка.

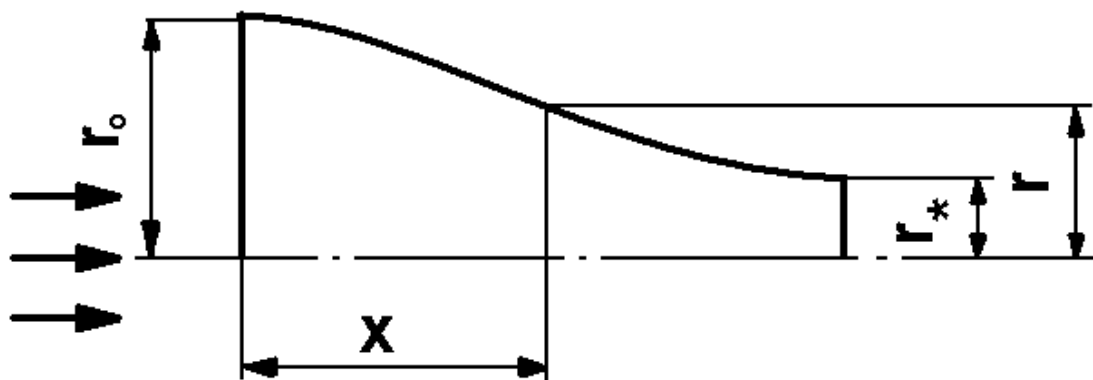


Рисунок 1 - Построение сужающейся части.

3. Расчет выходного сечения.

Для нормальной работы сопла необходимо, чтобы давление в выходном сечении было равно внешнему давлению окружающей среды. Если давление в выходном сечении будет больше внешнего, то это означает, что газ еще не полностью расширился и еще не достигнуто максимально возможное понижение температуры истекающего газа при данных условиях. Если давление в выходном сечении будет меньше внешнего, то в сопле произойдет прямой скачок уплотнения, связанный с большими гидравлическими потерями энергии и торможением потока газа, которое вызывает повышение температуры. Плотность и температура в выходном сечении определяется по уравнениям адиабаты и газового состояния.

$$\frac{p}{\rho^k} = const, \quad (10)$$

$$\frac{p}{\rho} = RT. \quad (11)$$

Константу можно определить по параметрам газа в критическом сечении:

$$\text{const} = \frac{p_*}{\rho_*^k}; \quad R = \frac{Ri}{M},$$

где Ri – универсальная постоянная для смеси газов, M – молярная масса смеси газов.

Тогда определим плотность смеси и температуру в критическом сечении:

$$\rho_2 = \left(\frac{p_2}{\text{const}} \right)^{\frac{1}{k}} \text{ и } T_2 = \frac{p_2}{\rho_2 R}.$$

Скорость в выходном сечении определится в соответствии с уравнением Сен-Венана:

$$v_2 = \varphi_c \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (12)$$

где $\varphi_{\tilde{n}}$ - коэффициент сопла, который можно определить по формуле:

$$\varphi_{\tilde{n}} = \sqrt{1 - \frac{2}{k-1} \frac{1}{M_{2t}} \left(\frac{1}{E_0} - 1 \right)}, \quad (13)$$

где M_{2t} - теоретическое значение числа Маха в выходном сечении;

$E_0 = \frac{p_{02}}{p_{01}}$ - отношение давлений торможения на выходе и на входе в сопло;

В рассматриваемом процессе p_{01} можно принять $p_{01} = p_1$; а p_{02} – можно определить из выражения

$$\frac{p_{02}}{p_1} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Коэффициент $\varphi_{\tilde{n}}$ можно также определить по графикам [1].

Площадь выходного сечения сопла определяется:

$$S_2 = \frac{m}{\rho_2 v_2}; \quad d_2 = 2 \sqrt{\frac{S_2}{\pi}}.$$

Угол диффузора можно принимать равным $\alpha_d = 10-12^\circ$, как оптимальный для расходящихся насадков, тогда длина диффузорной части будет равна:

$$L = \frac{d_2 - d_1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_d}{2}}.$$

Для расчета конкретных условий работы и параметров охладителя, выполненного по типу сопла Лавала применяемого для охлаждения пожаротушащей смеси, задаваясь необходимой температурой, можно находить необходимое давление на входе в сопло, т. е. рассчитывать массу исходного компонента.

Выводы: Данная методика расчета сопла позволяет сконструировать охладитель, значительно снижающий температуру огнетушащего газа ГОА, обеспечивая охлаждение горящих веществ и понижение температуры в защищаемом объеме, наряду с объемным механизмом тушения огнетушащим аэрозолем (аналогичного механизму действия огнетушащих порошковых составов на основе солей щелочных металлов).

Перспективы дальнейших исследований. Непосредственный интерес представляет возможность расчета охладителей огнетушащей смеси, это наиболее актуально при конструировании генераторов огнетушащего аэрозоля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейч, М.Е. Техническая газодинамика / Дейч Михаил Ефимович. - Москва: Госэнергоиздат, 1961, 670 с.

УДК 614.841.332

П.Г. Круковский, д.т.н., проф., ИТТФ НАН Украины, И.В.Чалая, ЛДУБЖД,
М.С.Перепелица, ИТТФ НАН Украины

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛОНН СТАДИОНА НСК «ОЛИМПИЙСКИЙ» ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА (вопросы верификации)

На примере анализа теплового состояния металлической несущей колонны стадиона НСК «Олимпийский» рассмотрены вопросы верификации результатов расчета распределения нестационарных температур конструкций крупных сооружений в условиях реальных пожаров для последующей оценки их огнестойкости при применении полевого метода (CFD-технологии). Приведены результаты верификации выбранной модели и полученных результатов расчета температур колонны стадиона путем применения различных CFD-программ (для рассматриваемого примера программ FLUENT и FDS)

Ключевые слова: металлические конструкции, тепловое состояние, реальные условия пожара, огнестойкость, моделирование.

Постановка проблемы. Сохранение несущей способности строительных конструкций (колонн, балок и ферм) при пожаре в течение заданного времени является важной задачей пожарной безопасности [1-2].

Для таких конструкций при их испытании на огнестойкость предельным состоянием является потеря несущей способности. Предел огнестойкости строительных конструкций определяется либо по наступлению предельных значений температур в объеме конструкции, либо по потере несущей способности. Так, например металлические колонны, балки и фермы, выполненные из конструкционных сталей, теряют свои прочностные свойства при температуре выше 500°C. Однако, наиболее правильным критерием определения огнестойкости элементов металлических конструкций является критерий потери устойчивости конструкции, что приводит к ее разрушению в условиях пожара.

В процессе развития реального пожара происходит тепловое воздействие горячих газов на элементы конструкций и они нагреваются. При этом температура конструкций зависит от таких факторов, как:

- величина и калорийность выгораемой пожарной нагрузки;
- взаимное расположение пожарной нагрузки и конструкции;
- расстояние от пожарной нагрузки до конструкции;
- направление и скорость движения горячих продуктов сгорания, которые для закрытых пожаров определяются формой и размерами помещения, в котором происходит пожар;
- степень задымленности горячих продуктов сгорания и воздуха и др.

Для ряда строительных конструкций экспериментальное определение их пределов огнестойкости в огневых печах при стандартном температурном режиме ISO 834 [3] связано с большими затратами или вообще не возможно в виду их больших габаритов. В этом случае наиболее эффективным методом анализа огнестойкости таких конструкций является расчетный или расчетно-экспериментальный методы. При этом характер изменения температуры возле исследуемой конструкции и на ее поверхности при реальном пожаре может быть произвольным.

В качестве основных методов, позволяющих проводить расчеты динамики развития пожара, нагрева строительных конструкций и анализа ее огнестойкости в условиях реальных пожаров можно перечислить интегральные, зонные (зональные) и полевые (CFD-технологии) методы [4]. Интегральные и зонные методы имеют ограниченную область применения из-за использования ряда упрощений и допущений, связанных с необходимостью осреднения температур, скоростей и физических характеристик потоков по

отдельным частям газовой среды с источником пожара. Полевые методы, модели и технологии, обозначаемые в зарубежной литературе аббревиатурой **CFD** (**Computational Fluid Dynamics**), лишены этих недостатков и могут быть применены для рассмотрения любого сценария развития пожара.

В настоящее время создан целый ряд компьютерных программ (например [5-7]), реализующих полевой метод моделирования, которые достаточно точно описывают поля скоростей, температур и концентраций на всех стадиях пожара, а также тепловое состояние исследуемых конструкций произвольной формы и размеров, что позволяет проводить последующую оценку огнестойкости этих конструкций по выбранным критериям. Общие требования применения расчетных методов для оценки огнестойкости конструкций приведены в [8].

Однако технология применения полевого метода моделирования динамики развития реального пожара и оценки огнестойкости конструкций является не простой, требует определенной квалификации и опыта ее пользователей, а также четкого выполнения определенных правил и требований ее применения. Поэтому главной проблемой применения полевого метода и реализующих их компьютерных программ является достоверность выбранных пользователем моделей и получаемых с их помощью результатов расчета температур анализируемых строительных конструкций.

Анализ публикаций. Вопросу достоверности (верификации) выбранных пользователем моделей и получаемых с их помощью результатов расчета температур анализируемых строительных конструкций с помощью полевых методов в литературе уделяется определенное, но не достаточное внимание, поскольку такая верификация достаточно сложно реализуется. Эту верификацию возможно проводить либо путем сравнения с экспериментальными измерениями температур конструкций, либо путем сравнения с результатами, полученными с помощью других моделей и компьютерных программ, реализующих полевой метод. Проведение экспериментальных работ является, как указывалось выше, сложным и в большинстве случаев не возможным способом в виду больших габаритов несущих конструкций, что приводит к еще большему усложнению - необходимости проведения таких огневых испытаний на открытом воздухе.

Поэтому способ сравнения с результатами, полученными с помощью других моделей и компьютерных программ, реализующих полевой метод, является более доступным, но также не простым, т.к. необходимо квалифицированно применять эти другие программы. Вопросы методики использования полевого метода рассмотрены в [4,9]. При применении других программ для верификации результатов моделирования возможна кооперация пользователей разных программ, однако следует помнить, что создание и отладка сложных моделей реальных строительных конструкций является весьма трудоемкой и продолжительной работой, особенно для конструкций стадионов, чему посвящена данная работа. Примером такой работы является моделирование динамики развития пожара и анализа огнестойкости несущих металлических конструкций навеса над трибунами стадиона "МЕТАЛЛУРГ" (г. Днепропетровск) в условиях пожара под этими конструкциями, вызванного выгоранием зрительских кресел [9].

Целью данной работы является верификация результатов анализа теплового состояния металлической несущей колонны стадиона НСК «Олимпийский» в условиях реального пожара под колонной при применении полевого метода и различных CFD-программ.

Описание объекта исследования и постановка задачи. Металлические конструкции навеса над трибунами стадиона НСК «Олимпийский» являются сложным сооружением, состоящим из несущих колонн, каждая из которых состоит из двух частей – нижней 1 и верхней 2, которые соединяются между собой частями нижних 3 и верхних 4 колец (рис.1). Общее количество несущих колонн 80, высота каждой колонны составляет около 40 метров.

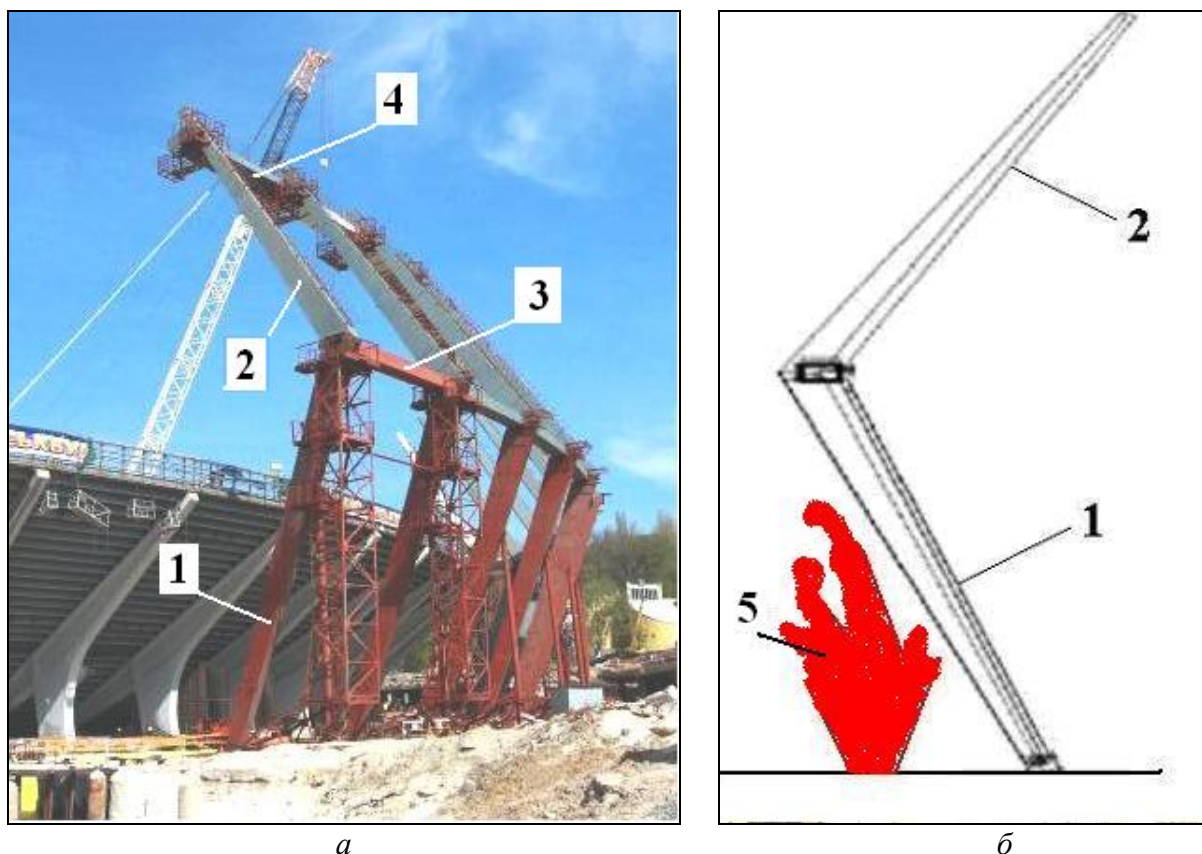


Рисунок 1 – Фото строящихся (а) и схема отдельной из несущих металлических колонн навеса над трибунами НСК «Олимпийский» (б): 1 – нижняя, 2 – верхняя части колонн, 3 – нижняя, 4 – верхняя части колец, 5 – очаг пожара под колонной.

Колонны (рис.1,а) с переменными по высоте сечениями и кольца имеют коробчатую сварную структуру с многочисленными перегородками и изготовлены из листовой стали различной толщины (рис.2).



Рисунок 2 – Средние по высоте сечения нижней (а) и верхней (б) колонн и верхнего и нижнего колец (в) навеса с номерами линий (1-4), идущих перпендикулярно рисунку, вдоль которых выводились распределения температур.

Пожар вызван горением объекта, расположенного под одной из несущих металлических колонн навеса (рис.1, б). Площадь условного очага пожара 5 (рис.1,б) принималась 20 м². Геометрические размеры модели расчетной области приведены на рис.3 и учитывает следующие особенности:

1. достаточные размеры объема, в котором происходит пожар, и конструкции, на которые влияет пожар;
2. реальное геометрическое расположение и размеры очага пожара;

3. движение вентиляционных потоков, включая все свободные поверхности для движения этих воздушных масс;

4. распределение температур, скоростей и давлений в трех пространственных измерениях (трехмерная модель), поскольку распределение пожарной нагрузки носит, как правило, локальный характер.

Расчетная область решения (рис.3) имеет размеры $20,5 \times 28,3 \times 41,8$ м и включает в себя нижнюю и верхнюю части колонн, часть трибуны верхнего яруса, части колец и место расположения пожара под колонной.

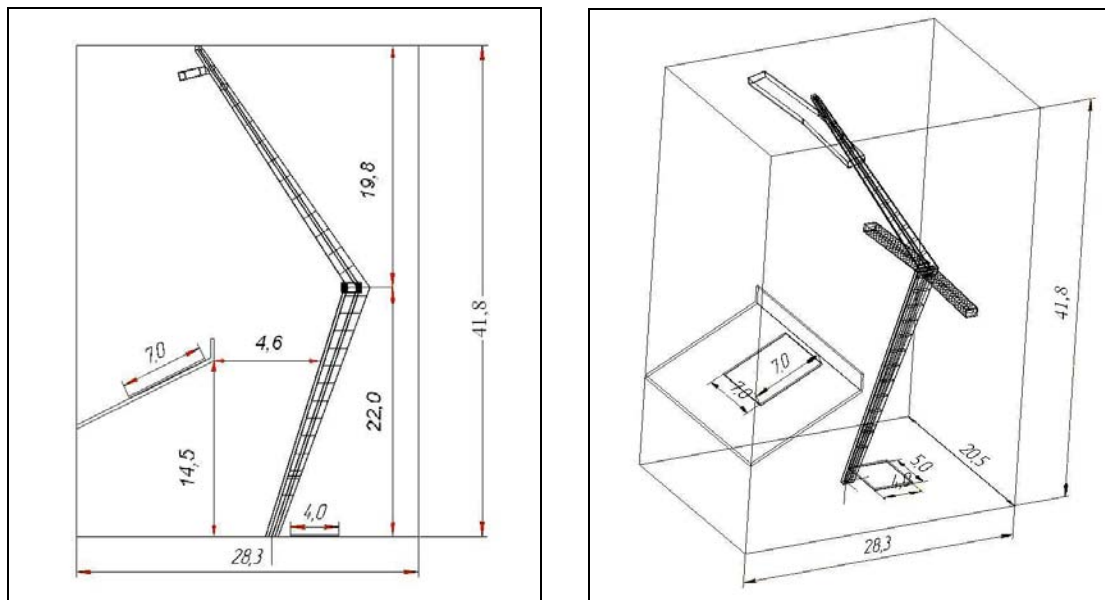


Рисунок 3 – Геометрия и основные размеры расчетной области решения для анализа динамики развития пожара и теплового состояния несущих конструкций навеса над трибунами НСК "Олимпийский"

Удельная пожарная нагрузка объекта, расположенного под колонной (рис.1,б), принимается 1389 МДж/м^2 , что в пересчете на эквивалент древесины с теплотой сгорания $18,4 \text{ МДж/кг}$ составляет 75 кг/м^2 . Площадь условного очага принимается 20 м^2 , массовая скорость выгорания пожарной нагрузки составляет $8,33 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ [10].

Теплофизические характеристики газовой среды и металлических конструкций в моделях задаются в виде зависимостей от температуры. Начальная температура конструкции и среды принимается $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Модель учитывает все основные процессы теплообмена в газовом объеме между источниками пожара и металлическими конструкциями, и также:

- Скорость выгорания пожарной нагрузки, которая задается как максимальная массовая скорость его выгорания.
- Подъем горячих газов, образующихся при горении, вверх и в стороны к металлическим конструкциям, нагревая их путем свободной конвекции.
- Модель выгорания пожарной нагрузки принимается при достаточном количестве кислорода, необходимого для сгорания выделяющихся горючих газов.
- Теплота сгорания и горячие продукты сгорания выделяются в объеме и над объемом очага пожара в течение времени выгорания пожарной нагрузки. Время выгорания пожарной нагрузки рассчитывается.
- Используется модель идеального газа.
- Конвективно-радиационный теплообмен между горячими газами, поднимающимися над очагом пожара и металлическими конструкциями, учитывается с помощью, так называемой, сопряженной постановки задачи, то есть расчет теплового состояния конструкций и объема горячих и холодных газов вокруг этих конструкций выполняется

одновременно и не требует задания коэффициентов теплоотдачи на поверхностях конструкций.

Рассматриваемая модель позволила провести расчет нестационарных полей температур в объеме около рассматриваемых конструкций, который, в свою очередь, позволил рассчитать локальные, максимальные и средние по поперечному сечению температуры металлических конструкций (рис.3-5) для последующей (не вошедшей в эту работу) оценки их огнестойкости по выбранным критериям.

Основные расчетные уравнения и соотношения полевого метода для моделирования рассмотрены в [4-7]. Расчеты полей скоростей, температур и концентраций при пожаре проводились с помощью программы ANSYS FLUENT. Расчетная сетка модели имела около 500 тыс. расчетных контрольных объемов. На рис.4,а приведены результаты расчета полей температур в конструкции колонны в конечный момент времени выгорания пожарной нагрузки 150 мин.

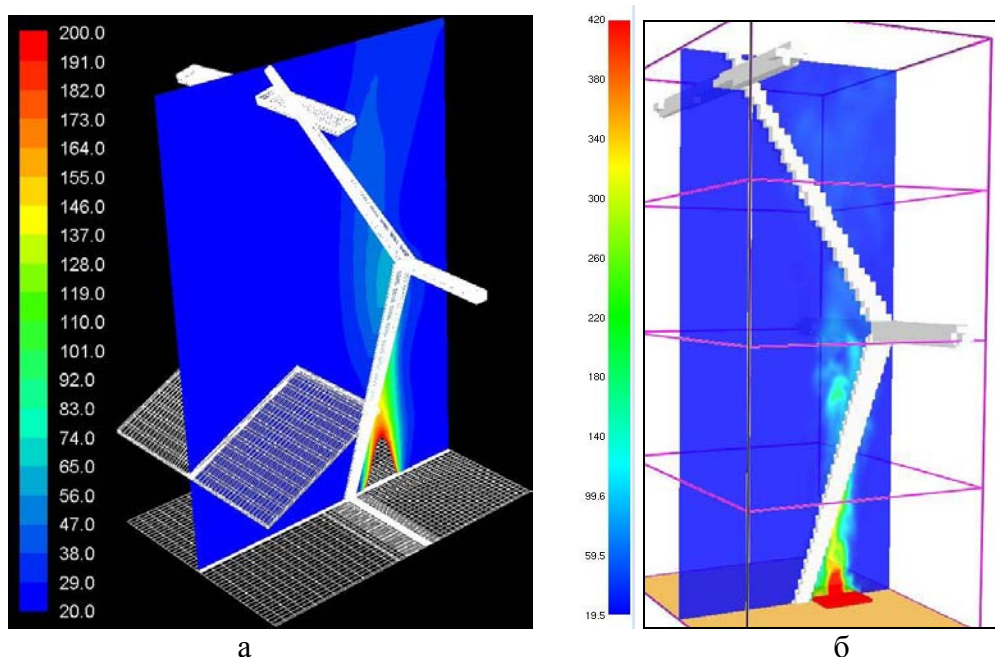


Рисунок 4 – Поля температур в плоскости симметрии, проходящей через колонну, очаг пожара и трибуну в момент времени 150 мин, полученных с помощью программ FLUENT (а) и FDS (б).

Необходимое для анализа огнестойкости распределение температуры на поверхностях нижней (отметки 0-21 м) и верхней (отметки 21-42 м) колонн в наиболее нагретых по высоте местах в конечный момент времени выгорания пожарной нагрузки 150 мин приведено на рис.5 (сплошная кривая). Наиболее нагретые места на нижней колонне находятся на ее части, обращенной на улицу (от футбольного поля), а на верхней колонне, на части, обращенной к футбольному полю (рис.4). Естественно, что обе эти части находятся на вертикали очага пожара на высоте примерно 8 и 23 м, где поднимаются наиболее горячие газы.

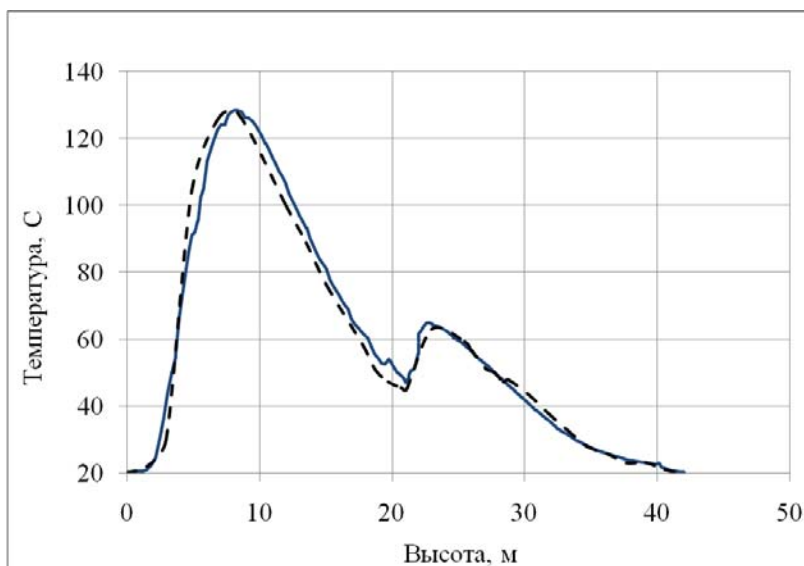


Рисунок 5 – Распределение температуры на поверхностях нижней (отметки 0-21 м) и верхней (отметки 21-42 м) колонн в наиболее нагретых по высоте местах в момент времени 150 мин, полученных с помощью программ FLUENT (сплошная кривая) и FDS (пунктирная кривая)

Таким образом, при сценарии пожара, когда на протяжении 150 мин выгорает объект, расположенный под нижней колонной, и ветер со стороны футбольного поля отсутствует, максимальная температура расположена в средней по высоте части нижней колонны и составляет 128 °С.

Результаты расчетов полей температур в конструкциях колонн и колец при условиях реального пожара были использованы для расчетов напряжений и деформаций при силовых нагрузках металлических конструкций и в дальнейшем для оценки огнестойкости конструкций навеса над трибунами НСК «Олимпийский».

Характер изменения температуры на поверхностях нижней и верхней колонн в наиболее нагретых по высоте местах носит сложный характер (рис.5) и зависит от правильности выбора достаточно сложных физической и компьютерной моделей, а также правильности задания многих параметров этих моделей, часть из которых рассмотрена выше. Естественно возникает вопрос проверки достоверности результатов, полученных с помощью программы FLUENT, часть из которых представлена на рис.5. Поэтому, как отмечалось выше, способ сравнения с результатами, полученными с помощью других моделей и компьютерных программ, реализующих полевой метод, является более доступным по сравнению с экспериментальной проверкой этих результатов. Для такого сравнения была выбрана программа FDS [7], в среде которой была воспроизведена модель, аналогичная модели в программе FLUENT. На рис.4,б приведены результаты расчета полей температур в конструкциях колонн в конечный момент времени выгорания пожарной нагрузки 150 мин, а на рис.5 – распределение температуры на поверхностях нижней и верхней колонн в наиболее нагретых по высоте местах в момент времени 150 мин, полученных с помощью программы FDS (пунктирная кривая). Сравнение этих полей и зависимостей температур по высоте показывает их удовлетворительную качественную и количественную близость, что подтверждает достоверность полученных результатов моделирования.

Таким образом, поскольку технология применения полевого метода моделирования динамики развития реального пожара и расчета теплового состояния конструкций для оценки ее огнестойкости является не простой и требует определенной квалификации и опыта пользователей соответствующих программ, а также четкого выполнения определенных правил и требований ее применения, то необходимо проводить верификацию полученных результатов расчета. Общие требования применения и проверки расчетных методов для оценки огнестойкости конструкций приведены в [4,8], а предложение по разработке специального методического обеспечения использования полевого метода в [9].

Рассмотренное выше предложение по способу верификации полученных результатов расчета распределения нестационарных температур конструкций крупных сооружений в условиях реальных пожаров при применении полевого метода необходимо добавить в методическое обеспечение использования полевого метода, приведенное в [9].

Выводы.

1. На примере анализа теплового состояния металлической несущей колоны стадиона НСК «Олимпийский» рассмотрен способ верификации полученных результатов при применении полевого метода (CFD-технологии) для расчета нестационарных температур конструкций крупных сооружений в условиях реальных пожаров путем применения различных CFD-программ (для рассматриваемого примера программ FLUENT и FDS).
2. Рассмотренный способ является трудоемким, но часто единственным способом подтверждения достоверности полученных результатов моделирования, когда экспериментальная проверка является не возможной.

Перспективы дальнейших исследований.

Рассмотренный способ верификации полученных результатов при применении полевого метода (CFD-технологии) для расчета нестационарных температур конструкций крупных сооружений в условиях реальных пожаров рекомендуется включить в методическое обеспечение использования полевого метода, приведенное в [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Предупреждение дефектов в строительстве. Защита материалов и конструкций / А. Грасник, Э. Грюн, В. Фикс, в. Хольцапфель, Х. Ротер. Пер. с англ. – 1981. – 184 с.
2. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.
3. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
4. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.
5. STAR-CD version 3.15, Methodology, CD Adapco Group, Computational Dynamics Limited, 2001.
6. ANSYS FLUENT 12.0/12.1 Documentation.
<https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent12/index.htm>
7. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide - NIST Special Publication 1018-5 - July 30, 2008.
8. Общие требования к расчетным методам определения предела огнестойкости строительных конструкций ДБН В.1.1. – 7–2002.
9. Использование расчетных методов для оценки огнестойкости металлических конструкций в условиях реальных пожаров / П.Г.Круковский, И.В.Чалая, А.С.Полубинский // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. – №22. – С. 15–23.
10. Пожаровзрывобезопасность веществ, материалов и средств их тушения. Справ. Кн.1/ Баратов А.Н. и др., – М., Химия, 1990, – 496 с.

УДК 004.722:681.5.01

С.В. Куценко, к.т.н., Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля,
М.П. Мусиенко, д.т.н., проф., В.Ю. Савинов,
Черкасский государственный университет им. Б. Хмельницкого,
П.И. Заика, к.т.н., доц., Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ Ф-МЕТОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ

Предложено использование Ф-метода при разработке систем пожарной автоматики. Разработан алгоритм применения Ф-метода в решении задач размещения пожарных извещателей на потолке. Разработан программный продукт, который подтвердил применимость Ф-метода в задачах размещения пожарных извещателей.

Ключевые слова: задача покрытия и размещения, Ф-метод, пожарные извещатели.

Постановка проблемы. При разработке различных систем пожарной автоматики одной из типичных задач является задача оптимального размещения элементов противопожарной безопасности: размещение элементов обнаружения возгорания (потолочные или настенные извещатели), элементов тушения пожаров и т.д. Для некоторых типичных случаев, например, размещение извещателей на потолке – эта задача не представляет сложностей и необходимые расчетные соотношения для ее выполнения представлены в специализированных источниках [1].

Однако, не редко возникает задача размещения элементов как обнаружения, так и тушения пожаров на сложном участке – сложных профилей или с наличием множества преград. Для решения таких задач предложенные решения не являются оптимальными и требуют дальнейшего исследования.

Анализ последних достижений и публикаций. В задачах размещения элементов пожарной безопасности наиболее часто встречаемой задачей является размещение первичных преобразователей пожарных сигнализаций (ПППС) – тепловых, дымовых, ионизационных, пламени и тому подобное. Для ее решения чаще всего используют несколько методов размещения: прямоугольное, треугольное, секционно-регулярное покрытие, размещение в помещениях произвольной формы. При этом определение размеров и параметров размещения четко определено нормами [1].

Однако следует отметить, что определение этих параметров определяется только геометрическими размерами комнаты и не зависит, например, от местоположения опасных объектов в помещении. Согласно [2, 3], время срабатывания ПППС зависит от того, где находился преобразователь – прямо над объектом или в стороне. Поэтому решение задач оптимального размещения ПППС на потолке с учетом размещения опасных объектов в помещении может сократить время на определение пожара, а, значит, эффективнее проводить тушение пожаров (за счет раннего обнаружения возгорания).

В существующих моделях и методах размещения не предусмотрен учет дополнительных элементов, которые бы корректировали полученное решение. Проблема заключается в том, что при первоначальном размещении ПППС существенно изменяется первоначальное изображение зоны покрытия. Последующее применение любого из существующих методов приводит к значительным перерасходам (лишним ПППС) из-за возникшей картины нерегулярного покрытия. Таким образом, ни одно из решений не является оптимальным и требуется разработать новый метод размещения элементов пожарной автоматики (ПА).

При этом выдвигаются следующие требования к разрабатываемому методу:

- необходимость учета граничных размеров помещения произвольной формы;
- возможность учета сторонних объектов внутри исследуемой зоны;

- учет приоритетности установки элементов ПА (над опасными объектами), что приводит к искажению первоначальной зоны покрытия за счет учета зоны уже размещенных в модели ПППС.

Проведенный авторами анализ существующих методов решения задач покрытия и размещения показал, что оптимальным для решения указанной задачи является использование Ф-метода в качестве меры близости объектов, который позволяет производить поэтапное размещение ПППС с учетом всех указанных ограничений и усложнений зоны покрытия.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является разработка метода оптимального размещения элементов противопожарной безопасности в системах пожарной профилактики на основе использования в качестве меры близости объектов Ф-метода. Решение задачи осуществлялось путем приведения аналитических выражений к особенностям предметной области исследования (для систем пожарной автоматики), разработки соответствующего программного обеспечения и сравнении разработанного метода с известными.

Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

В результате первоначального размещения ПППС над опасными объектами, что соответствует удалением из покрываемой зоны территорий, которые контролируются размещенными ПППС, получаем территорию сложной формы, которую необходимо покрыть кругами площадями S с радиусом r .

В общем случае при перекрытия зоны двумя кругами C_1 и C_2 с радиусами r_1 и r_2 Ф-функция кругов будет иметь вид [1]:

$$\Phi_{12}(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} - r_1 - r_2. \quad (1)$$

Значения функций $\Phi_{12}(x_1, y_1, x_2, y_2)$ равны кратчайшим расстояниям между кругами $C_1(x_1, y_1)$ и $C_2(x_2, y_2)$ в случае, если $C_1(x_1, y_1) \cap C_2(x_2, y_2) = \emptyset$.

В случае размещения однотипных ПППС радиусы r_1 и r_2 будут равны. Тогда формула (1) преобразуется к виду:

$$\Phi_e(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} - 2r, \quad (2)$$

Для решения задачи покрытия используем следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) &\geq \Phi_e - \zeta, \\ d(O_i, O_j) &\leq 2r, \\ \zeta &= -r/8; \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

где $\Phi_e(x_1, y_1, x_2, y_2)$ – функция, которая определяет эталонную меру близости;

$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j)$ – функция, которая определяет меру близости между i -ым и j -ым кругами;

$d(O_i, O_j) \leq 2r$ – евклидово расстояние между центрами i -го и j -го кругов;

ζ – допустимая ошибка.

При использовании данного метода решается вопрос нахождения множества точек допустимого расположения центров последующих кругов, покрывающих объект, относительно предыдущих, и определение значений функции цели.

Для определения множества допустимых точек необходимо сформулировать правила их нахождения. Правила для размещения следующих покрывающих кругов должны учитывать следующие замечания:

- площадь покрытия области каждым из кругов должна быть максимальной;
- значение Ф-функции должно быть максимальным.

Определим правило нахождения следующего покрывающего круга. Рассмотрим пересечение двух кругов T_i, T_j (рис. 1).

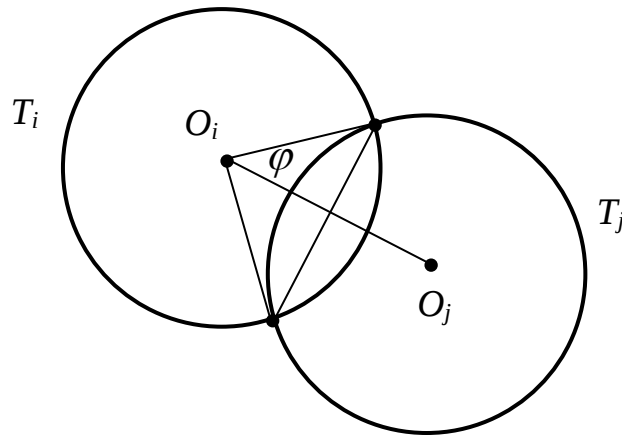


Рисунок 1 – Изображение пересечения двух кругов.

Пусть $p_{il} \in frT_i \cap frT_j$. Для нахождения точки размещения центра O_k следующего круга T_k такого, что функция цели достигает в этой точке своего минимума, необходимо провести биссектрису угла φ , образованного касательными к кругам T_i, T_j (p_{il}).

На данной биссектрисе на расстоянии R от точки p_{il} буде находится искомая точка O_k .

Рассмотрим пошагово алгоритм решения задачи с использованием Ф-функции.

Шаг 1. Размещаем реперные точки:

$$A = a; \quad B = b; \quad N_1 = 0; \quad i = 0; \quad X_i = X; \quad Y_i = Y; \quad i = 0 \dots N; \quad N_1 = N_1 + 1;$$

где N – количество реперных точек,

N_1 – общее количество кругов,

X_i – абсцисса объекта покрытия,

Y_i – ордината объекта покрытия;

A, B – длина и ширина объекта покрытия;

X, Y – координаты реперных точек.

Шаг 2. Размещаем следующий объект таким образом, чтобы выполнялось:

$$X_{N+1} = X_i + 1.25 \cdot r, \quad Y_{N+1} = Y_i + 1.25 \cdot r, \\ X_{N+1} \leq A, \quad Y_{N+1} \leq B, \quad i = 1 \dots N;$$

где X_{N+1} – следующая после реперных абсцисса покрывающего объекта;

Y_{N+1} – следующая после реперных ордината покрывающего объекта.

Шаг 3. Ищем такие O_i и O_j , для которых выполняется:

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq 2r,$$

где d – евклидово расстояние между O_i и O_j ,

Вычисляем Ф-функцию по формуле (2).

Находим следующий покрывающий объект O_k . Вводим:

$$N_1 = N_1 + 1; \quad X_{N_1} = X_k; \quad Y_{N_1} = Y_k; \quad 0 \leq X_k \leq A; \quad 0 \leq Y_k \leq A.$$

Шаг 4. Проверяем, остались ли такие (x, y) , для которых:

$$d = \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} < r,$$

где (x_k, y_k) – координаты объекта покрытия, $k = 1...N_1$.

Если да, то:

$$\zeta = \zeta + \Delta,$$

где Δ – некоторое заданное число.

И переходим к шагу 3.

Если нет – переходим к шагу 5.

Шаг 5. Завершаем алгоритм.

Таким образом, в конце выполнения алгоритма получается дискретное пространство, в точках которого находятся ПППС.

Для программная реализация предложенного алгоритма была разработана программа с использованием языка программирования C++. Начальное окно показано на рис. 2, а. Данная программа позволяет задавать размеры комнаты, а также радиус зоны покрытия одного ПППС. При этом есть возможность выбора режима работы: или по традиционной схеме (прямоугольное – рис. 2, б) или по разработанному в работе алгоритму (рис. 2, в, г).

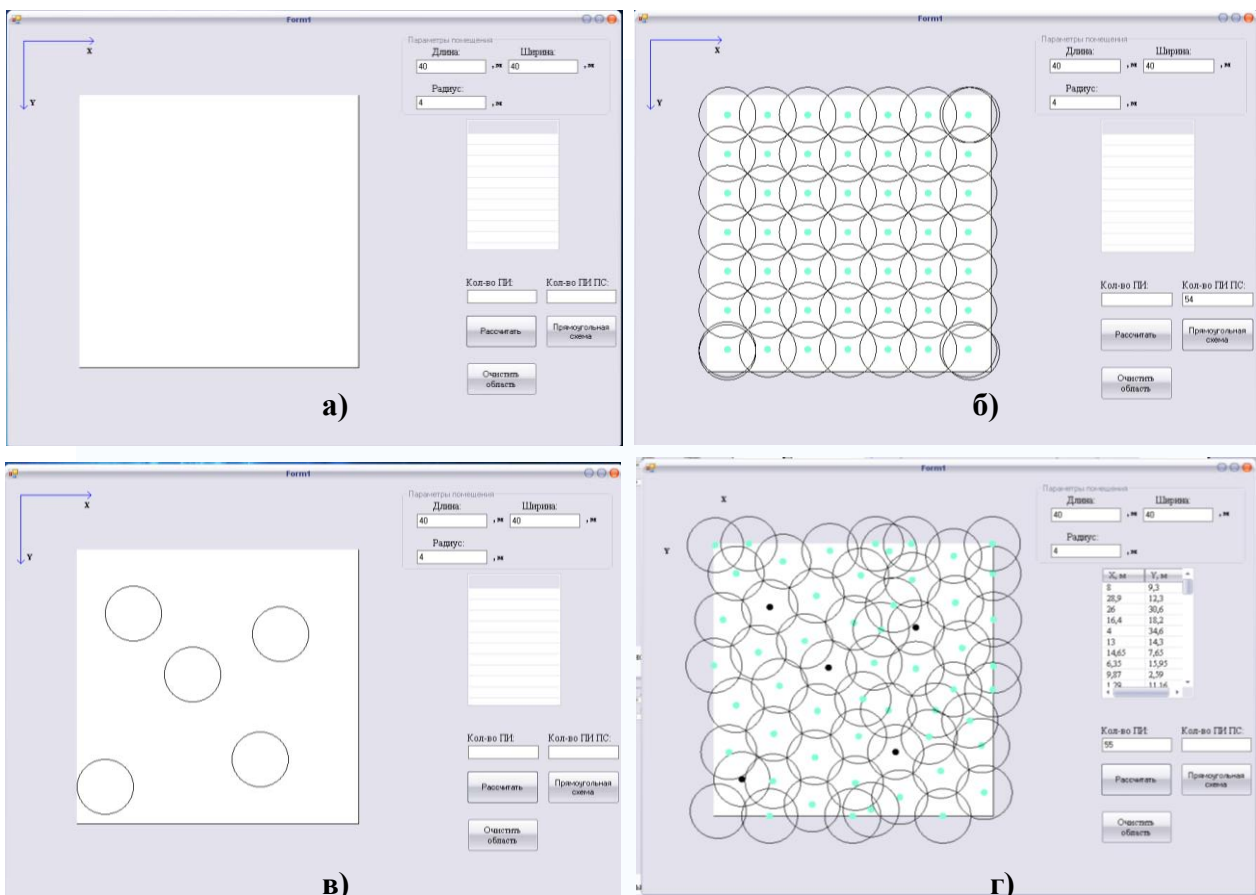


Рисунок 2 – Окна программы размещения ПППС, где:

а – начальное окно программы расстановки ПППС;

б – пример работы программы при традиционном (прямоугольном) покрытии;

в – пример работы программы при выполнении начального этапа – расстановки начальных точек над опасными объектами (в примере выбрано 5 точек);

г – пример работы программы при реализации разработанного алгоритма.

В результате работы программы подсчитывает количество ПППС, которые необходимы для покрытия всей площади, а также выдает значения координат каждого ПППС.

В примере на рис. 2, в показан случай расстановки 5 начальных точек в прямоугольном помещении 40 х 40 метров с зоной покрытия одного ПППС кругом с радиусом 4 м.

На рис. 2, г показана реализация разработанного алгоритма – заполнение оставшейся неконтролируемой области с помощью секционного регулярного покрытия [1]. При этом, как видно из рис. 2, программа подсчитала количество ПППС и выдала значения всех их координат.

Из рис. 2, б и 2, г следует, что использование предложенного метода увеличило количество ПППС на одну единицу (54 по сравнению с 55), что вполне оправдано с точки зрения раннего срабатывания пожара (за счет расположения начальных ПППС над очагами возможного возгорания). Проведенные расчеты с использованием математических соотношений скорости распространения пожара [2, 3] показали (табл. 1), что предложенное первоначальное размещение ПППС с использованием реперных точек (т.е. мест над очагами возможного возгорания) позволяет уменьшить время обнаружения факта возгорания до 40 % [4].

Таблица 1 – Расчет времени обнаружения пожара (радиус зоны охвата ПППС равняется 4 м)

Принцип размещения ПППС	Размер помещения, м	Количество ПППС	Время срабатывания ПППС, с (при пожаре над реперными точками)
Традиционный	40 х 40	54	7,3-11,1
Разработанный (5 репер. точек)		55	5,2
Традиционный	40 х 50	61	7,8-10,7
Разработанный (4 реперные точки)		63	5,2

Как видно из табл. 1, при незначительном увеличении количества извещателей (до 2-3 %) удастся сократить время на определение факта пожара до 40 %, что является важным практическим результатом построенной системы обнаружения пожара.

Выводы. Предложенное использование Ф-метода в качестве меры близости двух объектов может быть применимо при решении задач разработки систем пожарной автоматики. В работе показано применение Ф-метода в решении задач размещения пожарных извещателей на потолке. Использование первоначального расположения извещателей над возможными очагами возгорания с последующим заполнением оставшейся зоны с применением Ф-метода позволяет сократить время на определение факта возгорания до 40 % при незначительном увеличении числа извещателей (до 2-3 %). Для проверки работоспособности предложенного алгоритма была разработана (с использованием языка C++) и протестирована программа, которая подтвердила применимость Ф-метода в задачах размещения пожарных извещателей.

Перспективы дальнейших исследований.

Разработанный метод решения задач размещения с использованием Ф-метода применим для двумерных моделей (например, размещения ПППС на потолке и пр.). Однако на практике встречаются задачи, которые требуют использования трехмерных моделей – например, объединения потолочных и ручных извещателей в единую сеть в пределах одного помещения. Таким образом, целью дальнейших исследований является разработка метода построения систем пожарной автоматики, которые были бы реализованы в трехмерных системах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5.-56:2010 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту".
2. Деревянко А.А. Применение и эксплуатация приборов пожарной автоматики: Практическое пособие / А.А. Деревянко, А.А. Антошкин, С.Н. Бондаренко, В.А. Дурев, М.Н. Мурин. – Х.: УГЗУ, 2007. – 205 с.
3. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 337 с.
4. Шаровар Ф.И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1983. – 335 с.
5. Куценко С.В. Модели, методы и компоненты для компьютерных систем пожарных сигнализаций на базе технологии ZigBee: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. – Черкаси, 2011. – 178 с.

УДК 620.197.6 : 678.043

О.І. Лавренюк, к.т.н.,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ВПЛИВ ДИСПЕРСНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ГОРЮЧІСТЬ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Розглянута проблема зниження горючості композиційних матеріалів на основі епоксидних смол. Проведено комплексне дослідження впливу дисперсних наповнювачів, зокрема каоліну, на фізико-механічні властивості та пожежонебезпечність матеріалів на основі модифікованих полівінілпіролідом епоксиамінних композицій.

Ключові слова: фізико-механічні властивості, горючість, пожежонебезпечність, каолін, епоксиамінні композиції.

Постановка проблеми. Пожежі, викликані горінням полімерних матеріалів, щорічно наносять великих матеріальних втрат, в них гинуть тисячі людей [1]. Тому в світовій практиці постійно ведеться пошук шляхів зниження горючості полімерів і зменшення виділення диму і токсичних продуктів при їх горінні.

На сьогоднішній день в різних галузях промисловості широко використовуються полімерні матеріали на основі епоксидних смол. Порівняно з іншими смолами (наприклад, акриловими, фенольними, поліестерними) епоксидні олігомери мають ряд суттєвих переваг: рідкі епоксидні смоли та їх затверджувачі утворюють малов'язкі системи, які легко піддаються обробці; структурування епоксидних олігомерів відбувається при температурах від 5°C до 180°C. На відміну від фенольних смол, під час тверднення яких виділяється вода, та акрилових чи поліестерних смол, в яких відбувається перегрупування та переорієнтація при переході з рідкого в гелеподібний стан, що супроводжується значною усадкою, епоксидні смоли характеризуються малою усадкою при твердненні. Епоксиполімери мають високу адгезію до твердих поверхонь, що забезпечується наявністю полярних груп у структурі епоксидних смол. Епоксидні матеріали характеризуються високими діелектричними властивостями; затверділі епоксидні смоли мають високу стійкість до дії лугів і задовільну – до дії кислот. Вони стійкі в атмосфері хімічних підприємств, ґрунті, прісній і морській воді, в умовах дії органічних розчинників і реагентів. Однак їм притаманні такі недоліки як підвищена горючість і димоутворююча здатність, що часто обмежує їх застосування.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Одними з перспективних шляхів зниження горючості епоксидних полімерних матеріалів є їх модифікація сполуками, що містять галогени, фосфор, азот, а також введення в полімерну матрицю наповнювачів [2].

З галогенвмісних антипіренів для зниження горючості композиційних матеріалів на основі епоксидних олігомерів використовують хлоровані парафіни, гексабромбензол, декабромдифеніл, пентабромтолуол, октабромдифенілоксид, пентабромфеноксібензол, тетрабром(хлор)бісфенол А, пентабром- і трибромфенол, тетрахлорфталевий ангідрид, дибромбутендіол і дибромнеопентилгліколь. Їх використовують в поєднанні зі Sb_2O_3 чи органічними фосфатами (крезилдифеніл-, трибутил-, три(β -хлоретил)-, триізопропілфеніл-фосфат). Ефективними є ізопропілтри(діоктилпірофосфат)титанат, хлорований поліфосфат, ефіри фосфонові кислоти.

Серед неорганічних сполук для зниження горючості епоксидних полімерів найчастіше застосовують $\text{Al}(\text{OH})_3$, амонію фторборат, барію метаборат, цинку борат і амонію ортофосфат.

В роботі [3] показана перспективність застосування оксидів перехідних металів, зокрема ZnO , V_2O_5 , CuO , для зниження горючості композиційних матеріалів на основі епоксидних смол. Зазначено [4], що такі оксиди металів змінної валентності як MnO_2 , Fe_2O_3 і

особливо CuO зменшують вихід карбон оксиду в продуктах розкладу і димоутворюючу здатність епоксидних полімерів в режимі піролізу. Сполуки ванадію (ванадій оксид, ванадій хлорид, ванадієва бронза, кобальт ванадат) підвищують термостійкість полімерів, знижують інтенсивність екзоефектів окислення та сприяють зменшенню виходу горючих продуктів піролізу. Високу ефективність мають сумішеві антипірени, а саме суміші фенол-формальдегідних полімерів, затверджених уротропіном в присутності тризаміщеного амоній фосфату і ванадієвої бронзи.

Ще одним напрямком зниження горючості епоксидних композиційних матеріалів є застосування мікрокапсульованих трихлоретил- і три(дибромпропіл)фосфату, хладонів чи карбон хлориду. Як оболонку використовують желатин, полівініловий спирт чи полікарбамід. Механізм дії мікрокапсульованих антипіренів полягає не лише у флегматизації полум'я та інгібуванні газофазних реакцій, а й інтенсивному виносі матеріалу при наближенні джерела запалювання.

Органічні волокнисті наповнювачі збільшують горючість матеріалів на основі епоксидних смол. Використання ж термостійких важкогорючих волокон із ароматичних поліамідів, поліімідів і поліімідоамідів, поліоксидіазолів чи целюлозних волокон, модифікованих фосфоровмісними антипіренами, дозволяє одержати вогнезахисті матеріали.

Однак, як свідчать літературні дані, зниження горючості епоксидних матеріалів часто супроводжується погіршенням їх технологічних і експлуатаційних властивостей. В зв'язку з цим виникає проблема створення негорючих чи зниженої горючості полімерних матеріалів на основі епоксидних смол, які не поступалися б за фізико-механічними властивостями своїм горючим аналогам.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розробка реакційноздатних композицій на основі епоксидних смол та дослідження їх горючості і фізико-механічних властивостей.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Для досліджень була вибрана епоксидна смола ЕД-20, модифікована полівінілпіролідоном (ПВП). Як наповнювач використовували каолін. Затвердження композицій проводили поліетиленполіаміном (ПЕПА) протягом 2 годин при кімнатній температурі з подальшою термообробкою 3 години при температурі 90°C . Адгезійну міцність зв'язку сталь – полімерне покриття, скло – полімерне покриття при нормальному відриві визначали методом “грибків” за ГОСТ 14760-69, поверхневу твердість – на консистометрі Хеплера, ударну в'язкість – на електронному маятниковому копрі за ГОСТ 4647-80. Горючість композиції оцінювали методом “керамічної труби” (ГОСТ 12.1.044-89). Для випробувань використовували зразки матеріалу розміром $150 \times 60 \times 5$ мм. Підготовлені зразки витримували у вентильованій сушильній шафі при температурі $(60 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ не менше 20 год., потім охолоджували до температури навколишнього середовища, не виймаючи їх із шафи. Випробування зразків проводили у скло-тканинному мішечку. Температуру займання визначали на приладі ОТП за ГОСТ 12.1.044-89.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Вивчали зміну властивостей епоксидних композицій від вмісту наповнювачів при оптимальному, визначеному в попередніх дослідженнях, вмісті ПВП 3 мас. ч. [5-7]. Відомо, що при введенні наповнювачів відбувається їх седиментація, а це негативно впливає на формування однорідних композитів, що в кінцевому результаті призводить до погіршення їх властивостей. Основною умовою стійкості до седиментації є висока дисперсність і участь частинок у броунівському русі. З метою досягнення рівномірного розподілу частинок в композиції використовували полідисперсний наповнювач, гранулометричний склад якого приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Гранулометричний склад наповнювача

Розмір частинок, мм	0,05	0,1	0,16	0,2	0,315	0,4	0,63
Вміст наповнювача, %	1,97	6,07	8,60	32,72	19,80	16,88	13,96

Експериментально встановлено, що наповнення полімерної матриці невеликою кількістю дисперсних частинок каоліну мало впливає на адгезійну міцність при рівномірному відриві (рис.1). Зокрема, при вмісті каоліну в композиції 15 мас. ч. міцність при відриві становить 59,14 МПа, тоді як для ненаповненої композиції ця величина сягає значень майже 65,8 МПа. Із подальшим збільшенням вмісту наповнювача відбувається поступове перенаповнення системи та погіршення структуроутворення композита. Ймовірно, умови взаємодії макромолекул в'язучого з наповнювачем погіршуються, внаслідок чого зменшується товщина межових прошарків [8], що запобігає формуванню ґраткових структур наповнювача у покритті, а відповідно, і зменшується когезійна міцність матеріалу. Крім того, в таких композиціях кількість рідкої фази недостатня для рівномірного змочування усіх частинок, вміст полімеру в поверхневих шарах незначний, що теж є причиною зменшення адгезії.

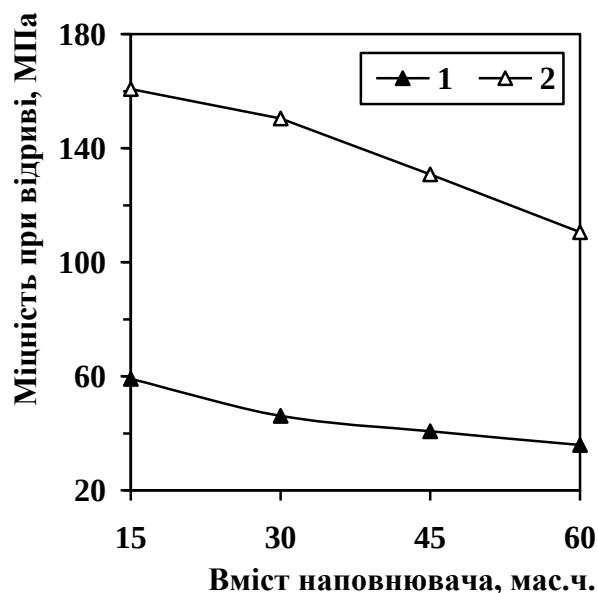


Рисунок 1 – Залежність адгезійної міцності модифікованих епосиамінних композицій від вмісту наповнювача (1 - сталеві підкладка; 2 - скляна підкладка).

На адгезійну міцність наповнених композицій значною мірою впливає природа підкладки. Так, наприклад, адгезійна міцність покриттів, нанесених на сталеву підкладку, є суттєво нижчою за адгезійну міцність покриттів до скляної підкладки. Причому в обох випадках композиції характеризуються найвищою адгезією при вмісті наповнювача 15 мас. ч. на 100 мас. ч. в'язучого. Це пояснюється певною спорідненістю між матеріалом наповнювача і підкладки і можливою взаємодією (як фізичною, так і хімічною) між інгредієнтами композиції та наповнювача в умовах затвердження покриття.

Введення наповнювача викликає зростання поверхневої твердості та ударної в'язкості. Наведені дані (рис. 2) свідчать про те, що найвищу поверхневу твердість (78,97 МПа) мають покриття на основі композицій з вмістом каоліну 60 мас. ч., а це майже в 4 рази більше, ніж для ненаповнених композицій, поверхнева твердість яких становить 21,18 МПа.

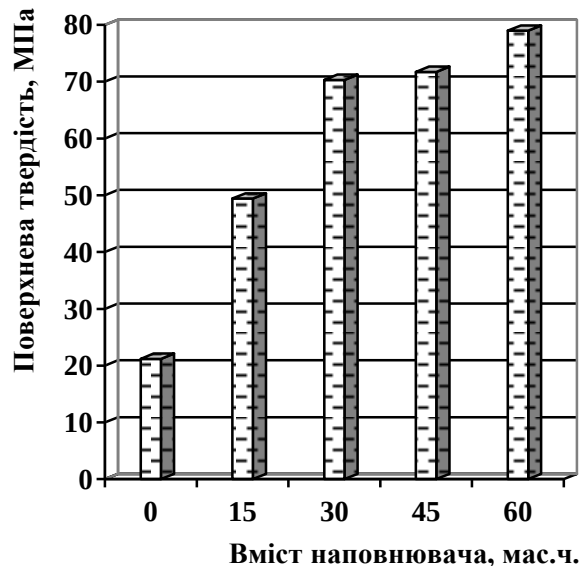


Рисунок 2 – Залежність поверхневої твердості модифікованих епоксидних композицій від вмісту наповнювача.

Встановлено, що найбільшою ударною в'язкістю характеризуються композити, що містять 30 мас. ч. каоліну на 100 мас. ч. в'язучого (таблиця 2). Значення ударної в'язкості для такої композиції підвищується на 50% в порівнянні з ненаповненою композицією. Це пояснюється умовами проходження фізико-хімічних процесів при формуванні епоксикомпозитних матеріалів, при якому характерний рівномірний розподіл наповнювача в композиті [9].

Таблиця 2 – Вплив наповнювача на ударну в'язкість композицій

Вміст наповнювача, мас ч.	0	15	30	45	60
Ударна в'язкість, кДж/м ²	3,40	4,85	5,10	4,64	4,38

Отже, наповнення каоліном модифікованих ПВП епоксидних матеріалів дозволяє підвищити міцнісні характеристики, що є передумовою їх використання як компаундів різноманітного призначення поряд з захисними покриттями та герметиками, шпаклівками чи, навіть, преміксами.

В результаті визначення показників пожежної небезпечності епоксиполімерів встановлено, що час досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння зразка на основі модифікованої полівінілпіролідом епоксидної композиції з додатками каоліну (при його оптимальному вмісті) суттєво зростає порівняно з композицією без наповнювача і становить 275 с. Введення каоліну дозволяє підвищити температуру займання матеріалу на 10°C. Втрати маси зразка на основі наповненої композиції не перевищує 60%, а максимальний приріст температури менший 60°C, що дає можливість віднести матеріал до групи важкогорючих за ГОСТ 12.1.044-89.

При дії полум'я пальника спостерігали горіння зразка на основі наповненої композиції, однак після видалення зразка з полум'я самостійне горіння не підтримувалось. Натомість в місці дії полум'я на поверхню зразка спостерігалось утворення карбонізованого шару піни.

Результати досліджень матеріалів на основі ненаповнених композицій свідчать про те, що такі матеріали належать до горючих, середньої займистості, час досягнення максимальної

температури газоподібних продуктів горіння лежить в межах 0,5-4 хвилини. При дослідженні такої композиції відбувалося займання і подальше горіння зразка.

Таблиця 3 – Показники пожежної небезпечності матеріалів на основі епоксидних смол

Показники пожежної небезпечності	композиція без наповнювача	композиція, наповнена каоліном
Температура реакційної камери до введення зразка, °С	200	200
Максимальна температура газоподібних продуктів горіння, °С	850	252
Час досягнення максимальної температури, с	150	275
Втрата маси зразка, %	89	42
Температура займання, °С	290	300

Висновки. Отже, на основі отриманих даних можна зробити висновок, що наповнення каоліном модифікованих полівінілпіролідом епоксидних композицій, сприяє зниженню пожежної небезпечності та покращенню фізико-механічних властивостей матеріалів на їх основі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Асеева Р.М. Горение полимерных материалов / Асеева Р.М., Заиков Г.Е. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
2. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / Берлин А.А. // СОЖ. – 1996. – №9. – С.57-63.
3. Яковлева Р.А. Влияние добавок на процессы термоокислительной деструкции наполненных эпоксиполимеров / Р.А.Яковлева, А.Н.Григоренко, А.М.Безуглый // Вісник КНУТД. – 2005. – Вип.5(25), Т.2. – С.192-196.
4. Пожарная опасность строительных материалов / [А. Н. Баратов, Р. А. Андрианов, А. Я. Корольченко и др.] под ред. А. Н. Баратова. – М: “Стройиздат”, 1988. – 380с.
5. Вплив полівінілпіролідону на структурування епоксидних композицій / Гуменецкий Т.В., Лавренюк О.І., Молчан О.В., Суберляк О.В. // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2002. – №447. – С.71-73.
6. Направленное модифицирование эпоксидных смол / Лавренюк Е.И., Суберляк О.В., Гуменецкий Т.В., Лининская Е.Д. // Материалы Девятой Международной конференции по химии и физикохимии олигомеров “Олигомеры 2005”. – Москва-Черноголовка-Одесса. – 2005. – С.319.
7. Фізико-механічні властивості епоксидних покриттів, модифікованих полівінілпіролідом / Суберляк О.В., Гуменецкий Т.В., Лавренюк О.І., Лінинська О.Д. // Материалы Двадцать пятой Юбилейной международной конференции “Композиционные материалы в промышленности”. – Киев. – 2005. – С.456-458.
8. Липатов Ю.С. Физико-химические процессы на границе раздела в полимерных композициях // Физическая химия полимерных композиций / Липатов Ю.С. – К.: Наукова думка, 1974. – С.3-17.
9. Букетов А.В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / Букетов А.В., Стухляк П.Д., Кальба Є.М. – Тернопіль: Збруч, 2005. – 182с.

УДК 614.838; 623.459.59

А.Д. Левченко, к.т.н., доц., Д.Є. Левченко, В.М. Кришталь, О.М. Землянський, к.т.н.,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

КОМПЛЕКС РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

Представлений комплекс раннього виявлення можливих надзвичайних ситуацій на ранніх стадіях їх виникнення.

Ключові слова: комплекс раннього виявлення надзвичайних ситуацій, потенційно небезпечні об'єкти, концентрація.

Постановка проблеми. Безпека потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) залежить від часу виявлення джерела безпеки та швидкості розповсюдження небезпечних речовин в навколишньому середовищі.

Потенційно небезпечні об'єкти в значній мірі забезпечені засобами (приладами) моніторингу навколишнього середовища, на базі яких створюють системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій. Проблема раннього виявлення надзвичайних ситуацій знайшла відображення в нормативних документах [1].

Мета дослідження – створення комплексу раннього виявлення надзвичайних ситуацій на ранніх стадіях їх виникнення.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Згідно наказу МНС України №288 від 15.05.2006 р. та доповненнями №793 від 03.08.2011 р. затверджені Правила улаштування, експлуатації та технічного обслуговування систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення людей у разі їх виникнення - повинні бути обладнані всі ПНО. Сьогодні тільки біля 5% ПНО обладнані системами раннього виявлення та оповіщення про надзвичайні ситуації.

Зазначені Правила зобов'язують, щоб комплекс раннього виявлення надзвичайних ситуацій (КРВНС) складався із систем:

- раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій;
- виявлення надзвичайних ситуацій;
- оповіщення керівного складу та працюючого персоналу потенційно-небезпечних об'єктів про загрозу чи виникнення надзвичайних ситуацій;
- система оповіщення населення, що проживає або знаходиться в прогнозованих зонах ураження небезпечними чинниками потенційно небезпечних об'єктів та інші.

Забезпеченням виконання наказу займається значна кількість проектно-конструкторських організацій, фірм, отримана велика кількість патентів (особливо Росія).

В Україні основним базовим приладом прийнято «Дозор С», виробництво НВП «Оріон» м. Харків. Зазначений прилад працює на електрохімічних та каталітичних датчиках (сенсорах).

Система раннього виявлення надзвичайних ситуацій базується на видачі сигналів – поріг (P_1 , P_2) [4].

До недоліків роботи приладів «Дозор С» в системі раннього виявлення надзвичайних ситуацій необхідно віднести:

- сенсори мають перехресну чутливість – при визначенні концентрацій шкідливих речовин, при наявності 5-8 інгредієнтів, особливо на малих концентраціях, селективність практично відсутня;
- при визначенні концентрацій вибухонебезпечних газів використовується каталітичний датчик, який калібрують по метану, а прилад забезпечує визначення 143

пожежовибухонебезпечних газів. Похибки визначення концентрацій „тяжких” та „легких” газів по відношенню до метану, значно збільшуються. І відповідно, сигнали P_1 , P_2 будуть нечіткими та невизначеними, в залежності від фізичних властивостей газів.

Прилади «Дозор С» та їм подібні [8] калібрують і повіряють при нормальних кліматичних умовах, при цьому їх додаткова похибка від кліматичних змін не враховується і може бути більша від основної.

В багатьох країнах світу займаються розробками газоаналізаторів на низькі концентрації продуктів горіння, які виділяються на перших фазах горіння. Це H_2 (0,001-0,002)%, CO (0,002-0,008)%.

Але ці розробки мають інноваційний характер, масове виробництво відсутнє і вони мають високу вартість.

Для забезпечення виконання зазначених завдань створення систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій можливо використовувати і стрічкові, таблеткові газоаналізатори, але вони мають вихідний сигнал також як критичний.

В розробках систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій термін «ранне» характеризується в оперативному (швидкісному) оповіщенні усіх інстанцій про надзвичайну ситуацію, але для запобігання її виникнення часу вже немає.

Постановка задачі та її розв’язання.

Необхідно створити комплексну систему раннього виявлення надзвичайних ситуацій, яка б дозволила на ранніх стадіях її виникнення сповістити технічний персонал про можливість виникнення надзвичайної ситуації.

Розв’язання поставленої задачі необхідно виконувати в таких напрямках:

1. В системах раннього виявлення надзвичайних ситуацій враховувати зовнішні фактори впливу на процеси вимірів фізичних величин.
2. Розробити системи раннього визначення можливих надзвичайних ситуацій.
3. Забезпечити врахування стану технологічного обладнання (процесу).
4. Підвищити селективність первинних датчиків – «Дозор».

Необхідно в системі раннього виявлення надзвичайних ситуацій вводити корективи на властивості речовини, концентрація якої визначається.

Вирішення загальної проблеми.

Існуючі методи визначення концентрації небезпечних речовин враховують тільки один фактор – сигнал критичної ситуації на рівні гранично допустимої концентрації (ГДК), або встановлюють пороги (P_1 , P_2).

Додаткові похибки, які виникають від впливу зовнішніх факторів в СРВНС, не враховуються, але вони можуть бути більше основних похибок.

До зовнішніх факторів впливу на процеси вимірювання необхідно віднести:

- стан навколишнього середовища;
- технічні характеристики об’єкту та його розташування
- організаційні заходи по забезпеченню надійної роботи об’єкту та інші.

При використанні масових засобів контролю навколишнього середовища, таких як індикаторні трубки, використовують поправочні коефіцієнти на температурні та тискові похибки. Але ці засоби одноразового використання, їх використати в автоматичних СРВНС неможливо.

Стан навколишнього середовища – це множина динамічних природних та технічних факторів, які впливають на процеси, пов’язані з виникненням НС, та показники приладів, які забезпечують визначення критичного стану.

До основних факторів природного впливу можливо віднести: температура більше $20^{\circ}C$, менше $20^{\circ}C$, вологість повітря, тиск повітря, напрям та швидкість повітря, дощ, сніг, туман, радіаційні випромінювання та інші.

Технічні фактори впливу на процеси визначення НС різноманітні та впливові, а інколи можуть бути і вирішальними, тому їх необхідно враховувати. Це такі як:

- місце розташування об’єкту на місцевості (рельєф місцевості);

- розташування серед інших об'єктів;
- конфігурація об'єкту;
- технічний стан об'єкту;
- властивості забруднювачів;
- можливості ініціації вибухів та багато інших.

Організаційні фактори впливу на створення НС на об'єктах можуть бути впливові, а в окремих випадках і з летальними наслідками. Це такі як: якість підготовки кадрів, своєчасність і якість проведення профілактичних робіт, дисциплінарні фактори та інші.

Зовнішні фактори впливу необхідно враховувати як коефіцієнти впливу.

Природні фактори впливу визначаються як, змінні коефіцієнти в постійній динаміці, а технічні та організаційні – періодично в залежності від зміни умов експлуатації об'єкту.

Визначення коефіцієнтів впливу проводилося шляхом експертної оцінки. Результати експертної оцінки коефіцієнтів впливу необхідно фіксувати у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Фактори впливу

№ п/п	Фактор впливу	Позначення фактору впливу	Величина коефіцієнта впливу
I. Фактори стану середовища			
1.	температура повітря	X _{1.1}	B _{1.1}
2.	температури речовини	X _{1.2}	B _{1.2}
3.	температура конструкцій	X _{1.3}	B _{1.3}
4.	вологість повітря	X _{1.4}	B _{1.4}
5.	тиск повітря	X _{1.5}	B _{1.5}
6.	швидкість руху повітря	X _{1.6}	B _{1.6}
7.	напрямок руху повітря	X _{1.7}	B _{1.7}
8.	атмосферні опади	X _{1.8}	B _{1.8}
9.	наявність туману	X _{1.9}	B _{1.9}
10.	сонячне випромінювання	X _{1.10}	B _{1.10}
II. Фактори постійного впливу			
11.	розташування об'єкту	X _{2.1}	B _{2.1}
12.	конфігурація об'єкту	X _{2.2}	B _{2.2}
13.	рельєф місцевості	X _{2.3}	B _{2.3}
III. Змінні технічні фактори			
14.	технічний стан обладнання	X _{3.1}	B _{3.1}
15.	технологічність процесів	X _{3.2}	B _{3.2}
16.	якість профілактичних робіт	X _{3.3}	B _{3.3}
17.	рівень підготовки кадрів	X _{3.4}	B _{3.4}
18.	джерела запалювання	X _{3.5}	B _{3.5}

Вираховування зовнішніх факторів впливу на процеси визначення фізичних величин (концентрацій хімічнонебезпечних речовин) дозволить з відповідною точністю визначати параметри фізичної величини в даний час на даному об'єкті.

Крім цього, зазначений підхід дозволяє використати існуючі прилади визначення концентрації шкідливих речовин.

Загальний коефіцієнт впливу буде виражений функцією в залежності від всіх факторів зовнішнього впливу $K_v = f(x_{11}, x_{12} \dots x_{1n}; x_{21} \dots x_{2n}; x_{31} \dots x_{3n})$.

Сучасні прилади, які використовуються в системах виявлення НС, працюють по принципу – «факт здійснення». Сигнали тривоги подають в залежності від встановленого порогу (P_1 , P_2). Часу для прийняття технічного рішення по запобіганню НС не вистачає. Як правило, пороги (P_1 , P_2) встановлюють на граничнодопустимі концентрації (ГДК) даної речовини.

Пожежні сповіщувачі також спрацьовують від ознак пожежі (температура, полум'я, дим та ін.) в той час, коли НС здійснюється.

Сенсори на малі концентрації оксиду вуглецю та водню, як початок горіння, на даний час носять інноваційний характер.

В системах РВНС хімічно вибухового характеру використовуються прилади «Дозор С», в яких подача сигналу тривоги регулюється (зміщується) з допомогою P_1 , P_2 .

Крім цього, селективність приладів недостатня (наявність перехресної чутливості, калібрування приладів виявлення вибухонебезпечних газів та парів рідин здійснюється тільки по метану, але прилад виявляє 143 пожежовибухонебезпечних речовин, та інші) не дозволяє в повній мірі використати як базу для створення КРВНС. Але на цьому принципі будуються СРВНС.

Підприємства «Інтерпром», «НАФТОГАЗ КАРД», «ТЕЛЕКОМ-КОМПЛЕКТ», «Атомекосистема» та інші використовують за базові датчики прилади «Дозор С». Системи на базі зазначених приладів працюють на критичну ситуацію P_1 , P_2 , метеорологічні параметри подають на монітори для візуального визначення, але з великою швидкістю через всі види зв'язку (провідний, бездротовий) передають по системі до ДСНС України (рис. 1).

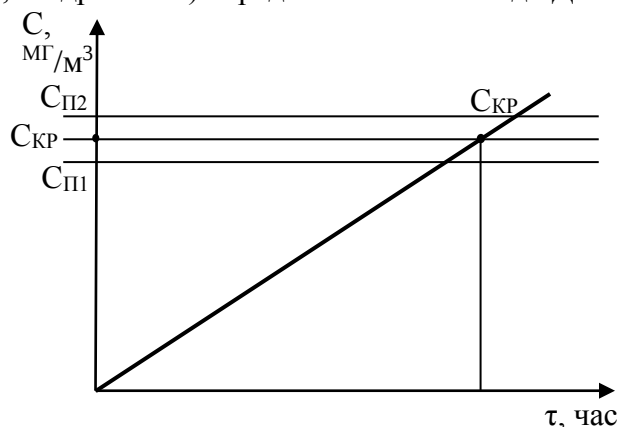


Рисунок 1 – Динаміка наростання концентрації.

При виникненні надзвичайних ситуацій, концентрації хімічно-пожежо-вибухово небезпечних речовин збільшуються з визначеною швидкістю. Зазначений фактор швидкості збільшення концентрації можливо визначити на перших стадіях виникнення НС.

Швидкість нарощування концентрації можливо виразити кутом α . $\tan \alpha$ визначає критичний час можливого критичного стану (рис.2).

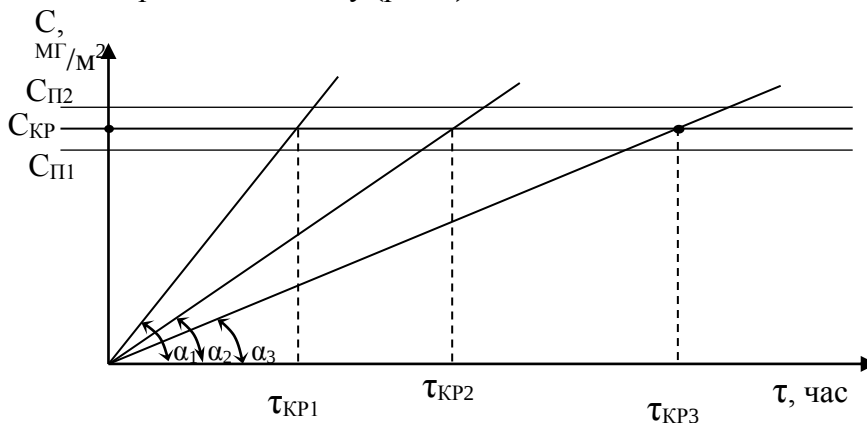


Рисунок 2 – Залежність швидкості наростання концентрації.

При визначенні швидкості нарощування концентрації ($\operatorname{tg} \alpha$) необхідно вибрати дві точки (заміри концентрації, як середні показники), і між ними провести пряму. Утворений кут α – швидкість нарощування концентрації.

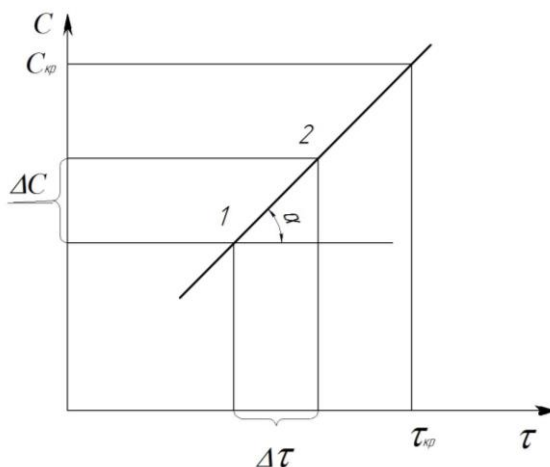


Рисунок 3 – Визначення швидкості наростання концентрації.

Після визначення кута α можливо визначити конкретно час виникнення НС – $\tau_{кр}$.

Такий підхід, що заснований на визначенні швидкості нарощування концентрації, дасть змогу виявити НС на самих ранніх стадіях розвитку (виникнення), слідкувати в динаміці та вжити завчасно технічні та організаційні заходи для її ліквідації.

Крім цього, такий підхід до створення СРВНС дозволяє використати існуючі прилади, які виготовляються промисловістю України – «Дозор-С», «Сеніс», перетворювач газоаналітичний GS-D та інші.

Виклад основного матеріалу.

Для створення СРВНС, яка б відповідала вимогам чинних законів України, необхідно врахувати всі чинники (фактори) зовнішнього впливу на систему заміру шкідливих факторів:

- фактори стану навколишнього середовища, що визначаються метеорологічною станцією «струна» та іншими;
- фактори постійного впливу, що визначаються, як постійні величини і змінюються при зміні технічних характеристик об'єкту;
- змінні технічні фактори – відносно постійні, але періодично корегуються при інспекторських спеціальних обслідуваннях.

Фактори впливу, які характеризують той чи інший фізичний процес, потрапляють в інтерфейсову систему, де відпрацьовуються сигнали у вигляді коефіцієнтів впливу B_{11} , B_{12} , ... B_{1n} ; B_{21} , B_{22} ... B_{2n} ; B_{31} ... B_{3n} і далі потрапляють в систему фіксації факторів впливу та їх відпрацьовують у вигляді коефіцієнту впливу

$$K_{вп} = f(x_{11}, x_{12} \dots x_{1n}; x_{21} \dots x_{2n}; x_{31} \dots x_{3n}), \quad (1)$$

де x_{1n} – фактори стану навколишнього середовища, x_{2n} – фактори постійного впливу, x_{3n} – змінні технічні фактори.

Для визначення факторів впливу використаємо систему нечітких продукційних правил. Припустимо, що на об'єкті необхідно встановити однотипні датчики. Вважатимемо, що надзвичайна ситуація виявлена, якщо спрацював хоча б один датчик. Позначимо ймовірність спрацювання датчика, якщо має місце надзвичайна ситуація, p . Кількість експертів, висновки яких використовуються для передбачення факторів впливу, – m .

Схема системи раннього виявлення надзвичайної ситуації

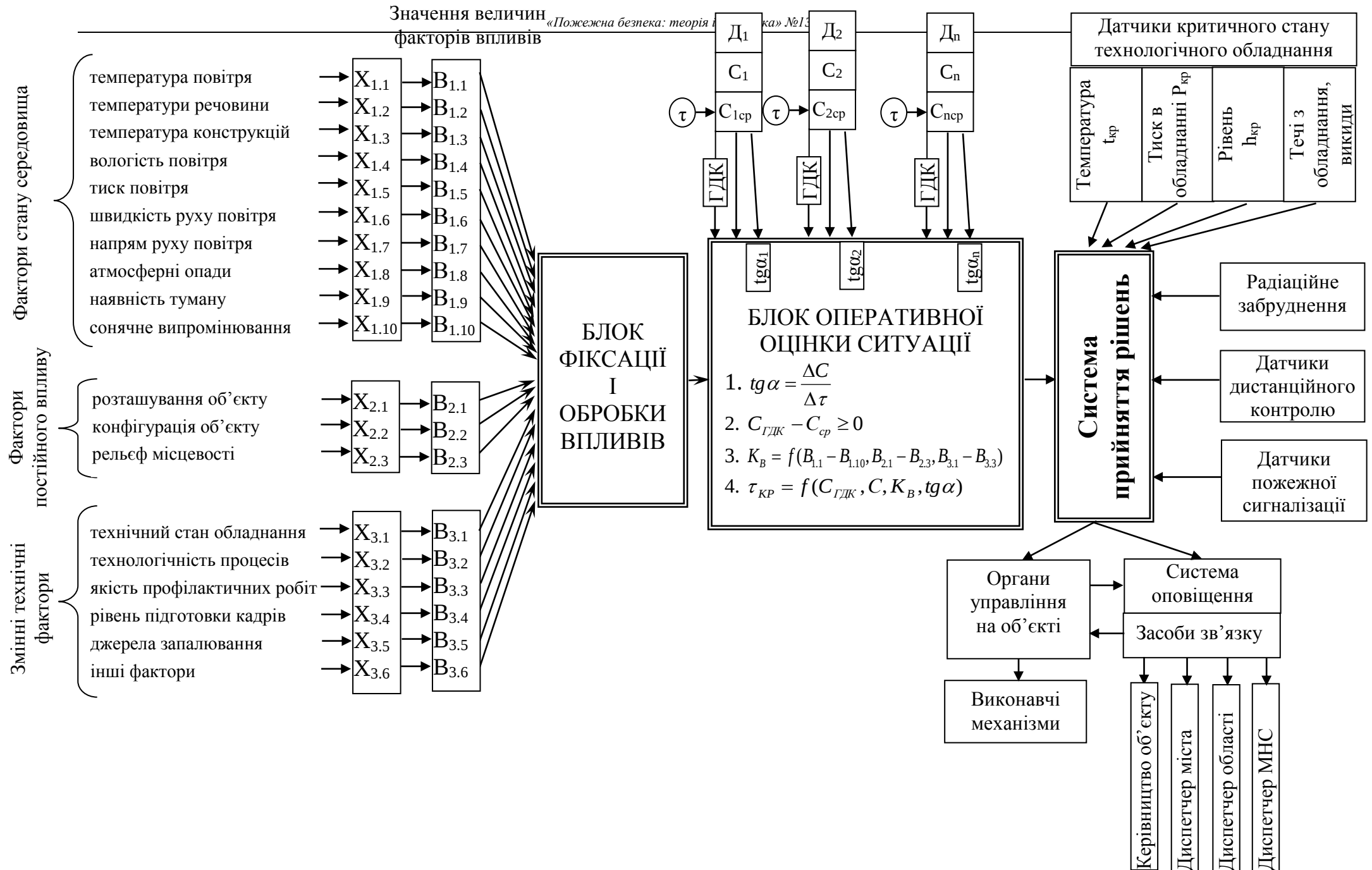


Рисунок 4 – Комплекс раннього виявлення надзвичайних ситуацій техногенного характеру

При створенні КСРВНС доцільно включати дистанційні датчики контролю (наприклад, на бойові отруйні речовини, компоненти ракетних палив, сильнодіючі органічні речовини та інші), а також пожежні сповіщувачі (теплові, димові, світлові та інші).

Далі відпрацьований сигнал із системи прийняття рішень потрапляє в:

- органи об'єктового управління;
- органи управління об'єктом;
- органи регіонального управління;
- органи державного управління.

Як первинні датчики шкідливих речовин необхідно використовувати системи «Дозор-С», перетворювач газоаналітичний GS-D та «Сенсіс», метеорологічні станції «Струна».

В системі фіксації факторів впливу та відпрацювання коефіцієнтів впливу можливо використати концентратор СИ-767, в якому вирішення задач здійснюється за допомогою нейронних сіток.

Обладнання інших систем визначення (дистанційних, пожежних, тощо) та оповіщення використовується стандартне.

Висновки. Запропоновано комплекс раннього виявлення надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що відповідає наказу МНС України №288 від 15.05.2006 р. та доповненнями №793 від 03.08.2011 р., в якому враховується вплив зовнішніх факторів, технічний стан об'єкту. Алгоритм роботи комплексу дозволить виявити надзвичайну ситуацію на ранній стадії розвитку з урахуванням швидкості нарощування концентрації. Це дасть змогу вчасно вжити заходів по ліквідації і мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій.

Перспективи подальших досліджень. Подальші наукові дослідження необхідно проводити в напрямках конкретного підходу до кожного об'єкту, а також введення в КСРВНС врахування зміни метеорологічних параметрів (рози вітрів) на можливе виникнення застійних зон – як джерела виникнення надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України №73110. Спосіб раннього виявлення надзвичайних ситуацій на об'єктах / Левченко А.Д., Левченко Д.Є., Кришталь М.А., Кришталь В.М. (Україна). – №u201202703 заявл. 06.03.12; опубл. 10.09.12, Бюл. №17.
2. Сигнализаторы-анализаторы газов Дозор-С-х-хх-х23х-х-х, Дозор-С-х-хх-х36х-х-х. руководство по эксплуатации. АГАТ.468514.004.-36РЭ. НПП «Орион» г. Харьков, 2009. – 52 с.
3. Напівпровідникові сенсори: Теорія, конструкція, застосування / Буданов П.Ф., Калугін В.Д. та ін. // За ред. Ю.Г. Даника. – Харків: Вид-во Нац. ун-ту внутр. справ, 2001. – 252 с.
4. Комплексна система раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення. Підприємство «Интерпром». Проект 8.0530.000. – 260 с.
5. „Сигналізатор-аналізатор газів багатокомпонентний Дозор С-М”. Керівництво по експлуатації. ОКДМ.468514.004-36ПС.
6. Левченко А.Д. Окремі аспекти комплексних систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій / А. Д. Левченко, Д. Є. Левченко, В. М. Король, В. М. Кришталь, О. М. Землянський, О. М. Землянський // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – № 5. – С. 76-80.

УДК 159.9:316.6:614.84

Л. М. Мандрик, І. П. Яценко, А. В. Каракоця,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕНОМЕНУ АГРЕСИВНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті розкрито феномен агресивності майбутніх фахівців Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Поняття «агресивності» розглядається як результат спотворення професійних та особистісних якостей фахівця під впливом негативних факторів діяльності і навколишнього середовища.

Ключові слова: агресія, агресивність, фрустрація, мотив агресії, рівні агресії, теорії агресії, індивідуальність, особистість.

Постановка проблеми. Питання, пов'язані з людською агресивністю, розглядаються у багатьох соціологічних і психологічних дослідженнях. Існує безліч теоретичних обґрунтувань виникнення агресії, сутності природи і чинників, що впливають на її прояви. Теоретичні пояснення агресії можна умовно поділити на біологічні та психологічні, які можна розглядати як конкуруючі чи навіть протилежні, але ми віддаємо перевагу розгляду їх як взаємодоповнюючих, адже вони вивчають різні аспекти агресії як складної форми соціальної поведінки. Особливої значущості ці питання набувають в умовах професійної діяльності взагалі й у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України).

Варто зазначити, що агресивність об'єктивно може виступати дестабілізуючим фактором у підготовці курсантів, впливати на їх здатність контролювати і регулювати власні психічні стани та поведінкові реакції, які необхідні для забезпечення нормальної та ефективної навчальної і службової діяльності. Крім того, враховуючи, що курсанти належать до категорії психічно здорових осіб, прояви ними агресивності можуть бути свідченням відсутності оптимальних психолого-педагогічних умов їх підготовки. Неприпустимими є прояви агресивності у майбутній службовій діяльності фахівця як суб'єкта професійного спілкування.

Відтак, агресивність розвивається під впливом факторів, які відносять до зовнішнього середовища діяльності (спілкування із потерпілими), а також факторів внутрішньосистемної взаємодії (ставлення до керівництва і товаришів по службі, спільне виконання службових завдань тощо). Актуальність дослідження полягає в тому, що гармонійно розвинута особистість передбачає наявність певної долі агресивності, що й робить її соціально адаптованою і корисною (наприклад, для подолання життєвих перешкод), у протилежному випадку відбувається втрата індивідуальності, суб'єкт стає пасивним, конформним, знижується його соціальний статус, і, як наслідок, – це не сприятиме ефективній професійній діяльності фахівців ДСНС України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні аспекти агресивної поведінки людини, її сутність та витоки глибоко досліджені вітчизняними і зарубіжними психологами та педагогами. Серед першовідкривачів – західні фахівці – З. Фрейд, К. Лоренц, Е. Фромм, Т. Гоббс, Л. Берковіца, Д. Майерс, С. Фешбах, М. Кляйн, Ж. Лакан, А. Адлер, К. Хорні, Х. Хекхаузен та ін. Питанням агресивності приділялася досить велика увага і з боку вітчизняних вчених – А. Бандура, І. Бойко, Л. Бурлачук, М. Качаєва, С. Кравчук та ін.

Відомі українські науковці також досліджували питання сутності агресії (О. Бандурка, В. Барко, А. Зелінський, Л. Казміренко, С. Максименко, В. Медведєв, О. Морозов, О. Тімченко, С. Яковенко та ін.).

Аспекти агресивності, які пов'язані із психологічними особливостями особистості, специфікою діяльності працівників ДСНС, знайшли своє відображення у дослідженнях В. Андросюка, Л. Балабанової, В. Лефтерова, Т. Морозової, О. Тімченка й ін.

Натомість питання вивчення агресивності майбутніх фахівців державної служби України з надзвичайних ситуацій вивчені недостатньо.

Постановка задачі та її розв'язання. З огляду на зазначене, основні цілі цієї статті полягають у тому, щоб на основі аналізу психологічних джерел систематизувати теоретичні підходи щодо вивчення агресивності майбутніх фахівців державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Звертаючись до дефініцій поняття, зазначимо, що «Словник-довідник із соціальної роботи» (1997) визначає агресію як прояв деструктивних тенденцій у галузі суб'єктивних взаємин. У академічному «Психологічному словнику» (1998) дається визначення агресії як мотивованої поведінки, яка суперечить усім принципам.

У психологічному словнику дається поняття агресії (від латинського «aggređi» – «gradus» – крок, «ad» – на, тобто «нападати», «рухатися на») як індивідуальної або колективної дії, спрямованої на нанесення фізичної або психологічної шкоди, збитку або на знищення іншої людини або групи людей. У первинному сенсі бути агресивним означало «рухатися у напрямі мети без зволікання, без страху і сумніву» [4].

У сучасній психології поняття «Агресивність людини» має кілька значень. Розрізняють агресію як наслідок фрустрації; інструментальну агресію, ситуативну агресію; агресивність як властивість особи. Агресивність розуміється як риса вдачі, як одна із найважливіших характеристик дій і вчинків, які визначають і встановлюють взаємини між людьми; а також як дія індивіда.

Викладаючи свої думки, І. Бойко пропонує типологію, за якою виділяється відкрита (поведінка з високою конфліктністю, частими образами, бійками), прихована (зовнішньо завуальований варіант агресивної поведінки) ситуативна або адаптивна (стиль поведінки, що відповідає стереотипам даного соціального середовища) та патологічна (обумовлена будь-яким психічними розладами) агресії [2].

Аналізуючи вищевказані типології агресивної поведінки переконуємося, що майже усі вони, певною мірою, носять умовний характер.

Варто зазначити, що агресія – більш широке поняття, нейтральне в морально-етичному плані, оцінка якого нерідко залежить від обставин його застосування. В деяких випадках агресія може виконувати і позитивні функції, а інколи – бути просто необхідною. Виходячи із цього, слід звернути увагу, що кожна особистість повинна мати певний рівень агресивності. Її відсутність може призвести до пасивності, конформності людини.

Відтак, питання про природу агресії, агресивної поведінки, залишається одним із невіршених до кінця проблем психологічної науки. Аналіз сучасних теоретичних обґрунтувань дозволив встановити, що агресія – це:

- вроджений інстинкт людини;
- результат фрустрації;
- результат соціального навчання;
- результат впливу біохімічних факторів.

Зрештою, ми можемо стверджувати, що враховуючи велику кількість висунутих протилежних теоретичних обґрунтувань щодо поглядів на причини виникнення агресії, сутності природи і факторів, які впливають на її прояви, то більшість із них підпадає під одну з чотирьох наступних категорій. Так, агресія, в першу чергу, стосується:

- вроджених спонукань або задатків;
- потреб, що активуються зовнішніми стимулами;
- пізнавальних і емоційних процесів;
- актуальних соціальних умов у поєднанні із випереджувальним навчанням.

Існує біологічне і психологічне пояснення агресивної поведінки та її виникнення. Біологічне пояснення включає в себе три підходи: етіологічний (агресія, як внутрішня енергія), соціобіологічний (агресія, як продукт еволюції) і генетика поведінки (агресія, як спадкова схильність) [2].

Отже, існують й інші визначення агресії і агресивної поведінки.

По-перше, під агресією розуміється активність, прагнення до самоствердження. Так, Л. Бендер, наприклад, стверджувала, що агресія – це тенденція наближення до об'єкта чи віддаленість від нього, а Ф. Алан описує її як внутрішню силу (не пояснюючи походження), що дає людині можливість протистояти зовнішнім силам.

По-друге, під агресією розуміються акти ворожості, атаки, руйнування, тобто дії, які шкодять іншій особі або об'єкту. Наприклад, Х. Дельгаро стверджує, що «людська агресивність є поведінкова реакція, яка характеризується проявом сили у спробі завдати шкоди або збитку особистості чи суспільству».

Зауважимо, що основоположником теорії агресивної поведінки є Зігмунд Фрейд, який вважав, що агресивна поведінка за своєю природою неминуча, так як носить інстинктивний характер. У людині існує два найбільш потужних інстинкти: сексуальний (Лібідо) та інстинкт потягу до смерті (Танатос). Енергія першого типу спрямована на зміцнення, збереження і відтворення життя, другого — на його руйнування і припинення. З. Фрейд стверджував, що уся людська поведінка є результатом складної взаємодії цих інстинктів, і між ними існує постійна напруга. З огляду на те, що існує гострий конфлікт між збереженням життя (Ерос) та його руйнуванням (Танатос), інші механізми служать меті спрямовувати енергію Танатоса назовні у напрямку від «Я». А якщо енергія Танатоса не буде звернена назовні, то це незабаром призведе до руйнування самого індивіда. Таким чином, Танатос побічно сприяє тому, що агресія виводиться назовні і спрямовується на інших [10].

Варто зазначити, що інший представник психоаналізу Е. Фромм запропонував теорію людської деструктивності, в межах якої він виокремлював два різних види агресії. Оборонна, доброякісна агресія, яка служить виживанню людини, має біологічні корені (інстинкт самозбереження) і загасає, коли зникає загроза життю. Інший вид – злоякісна агресія – деструктивність і жорстокість, які притаманні тільки людині і визначаються соціальними та психологічними факторами [12].

Фрустраційні теорії агресії (Л. Берковіц, Д. Доллард, та ін.) розглядають агресію як наслідок фрустрації, тобто перешкоди, які виникають на шляху цілеспрямованої дії людини або досягнення індивідом цільового стану. Л. Берковіц, відповідаючи на запитання про причини агресії, між поняттями фрустрації і агресії ставить проміжне поняття відповідних умов середовища (або сигналів), що викликають агресію. Отже, фрустрація не завжди й не відразу призводить до агресії, вона пробуджує в людині стан емоційної активації: гнів, який готує підґрунтя для агресивної поведінки [1].

Згідно з теорією соціального научіння (А. Бандура та ін.), агресія, подібно до інших форм поведінки, набувається в результаті індивідуального досвіду взаємодії. А. Бандура вважає, що ми навчаємося агресії не лише тому, що це може бути корисним, а й переймаємо її як модель поведінки, спостерігаючи за іншими людьми. Тобто зрозуміти й дослідити агресію можна, якщо підійти до цього не з погляду фрустраційних умов і покарань, а з погляду заохочувальних її наслідків. Отже, сутність теорії соціального научіння стосовно агресії полягає в тому, що людина засвоює агресивну манеру поведінки так само, як і більшість соціальних навичок, спостерігаючи за діями оточення, імітуючи ці дії, враховуючи їх наслідки, під впливом винагород і покарань.

Представник теорії соціального впливу Г. Тедеші ввів поняття «сила примусу», яке дозволило відповісти на питання про те, чому люди застосовують погрози, покарання, і завдають шкоди одне одному. Суть ідеї доволі проста: насильство («сила примусу») використовується як засіб досягнення бажаного тоді, коли вичерпані чи відсутні інші способи досягнення результату («сила переконання»). «Коли особистість не може

переконати, підкупити чи ще якимось аналогічним чином впливати на іншу людину чи групу людей з метою примусити їх виконати ті чи інші вимоги, тоді успіх впливу буде залежати виключно від її здатності обмежити, демобілізувати, нашкодити чи навіть зруйнувати їх. Ці ж засоби можуть бути використані з метою самооборони, помсти, розплати тощо». Агресивній поведінці можна навчитися шляхом інструментального обумовлювання й моделювання, перебуваючи під впливом випадкового оточення [13].

Отже, психологічне пояснення включає такі точки зору на проблему:

- психоаналіз З. Фрейда (агресія як інстинкт руйнування);
- фрустраційну теорію агресії (агресія як цілеспрямоване спонукання);
- теорію навчання (агресія, яка виникає в результаті навчання, шляхом закріплення і наслідування);
- модель соціальної взаємодії (агресія як результат прийняття рішень).

М. Левітов виділяв у агресивному стані пізнавальний, емоційний і вольовий компоненти [5].

Пізнавальний компонент проявляється в орієнтуванні, що вимагає розуміння ситуації, виділення в ній об'єктів нападу. Особливої уваги потребує вивчення впливу загрози на агресію. «Не кожна загроза викликає агресивний стан, а з іншого боку, зовсім не кожен агресивний стан спровокований загрозою» [5]. Важливо правильно зрозуміти загрозу, проаналізувати і оцінити її. Від цього залежить стан агресії, її форма і сила. Переоцінка загрози може призводити до усвідомлення свого безсилля і навіть до відмови від агресії. Недооцінка загрози, навпаки, може свідчити про переоцінку власних сил і викликати стан фрустрації, а інколи навіть призвести до поразки.

Емоційний компонент виражається, насамперед, у гніві, але не щоразу він переходить у агресію. Більше того, не завжди гнів її провокує. Наприклад, «безсилий» гнів – реакція на фрустрацію – не призводить до агресивної поведінки. «Благородний» гнів – обурення з приводу поганого вчинку – також не припускає агресію як поведінку. Крім гніву, відзначаються також інші емоції та почуття, що входять до складу емоційного компоненту агресивного стану: недоброзичливість, злість, мстивість, а інколи й садизм [5].

До *вольового компоненту* М. Левітов відносив цілеспрямованість, рішучість, наполегливість, у низці випадків – ініціативність і сміливість. Часто агресивний стан виникає і розвивається в боротьбі, яка вимагає вольових якостей. Але «якщо з формального боку агресивний стан є вольовим актом, то було б зовсім неправильним відносити його до проявів сили волі. Сила волі не в формальному, а у справжньому, змістовному значенні терміну, визначається соціальною цінністю мети, наполегливістю, обумовленою даними цілями; вона виявляється не в агресії, а в її змісті і протидії, тобто тільки в такій боротьбі, що має суспільне і моральне позитивне значення» [5].

Відтак, агресивність може виступати не тільки як мотив і стан, але і як риса особистості, і властивість темпераменту.

К. Платонов вважав, що «агресивність як психічне явище, що виражається у прагненні до насильницьких дій у міжособистісних стосунках, може бути властивістю особистості і навіть рисою характеру як результатом недостатнього виховання чи симптомом психічного захворювання» [8]. Агресивність розвивається в дитячому і підлітковому віці. Порушення емоційних взаємодій у родині можуть призвести до формування агресивної індивідуальності, оскільки вони «деформують особистість, перешкоджають формуванню одних її сторін, підкоряють собі інші. З'являється тривожність як постійна властивість особистості, і звідси очікування агресії і готовність чинити опір їй, навіть завдаючи превентивні удари» [8].

В. Мерлін розглядав агресивність подвійно: як особливість особистості (агресивне ставлення особистості до людей) і як властивість темпераменту (екстрапунітивність при фрустрації). Таким чином, агресивність проявляється щонайменше на двох рівнях інтегральної індивідуальності: особистості і темпераменту. У агресивності як рисі особистості проявляється об'єкт (люди) і зміст ставлення особистості. В агресивності як

властивості темпераменту (екстрапунітивності) проявляється психодинамічний бік агресивності [7].

Варто зазначити, що агресивність викликає небажані перетворення і власне психічних характеристик індивіда. Мова йде про психічні процеси, стани, властивості, якості та структуру особистості, включаючи її свідомі і підсвідомі компоненти. Ці перетворення призводять до деформацій у професійній сфері особистості та деструктивних проявів у особистісній сфері [3].

Вважаємо за доцільне звернути увагу на певні особливості соціалізації майбутнього фахівця ДСНС України – курсанта ВНЗ ДСНС України. При цьому необхідно відмітити, що успішна соціалізація курсантів проходить саме в оперативно-рятувальних підрозділах, де на прикладах взаємовідносин із постійним складом пожежної частини набуваються навички взаємодії, навчаються поведінки та формам стосунків, які поступово фіксуються.

Відтак, на етапі навчання найбільший рівень агресії має місце в тих підрозділах, де дистанція між начальницьким складом та курсантами максимально формалізована. На початкових етапах формування агресивної поведінки домінує поступливість, а після цього слідує дисциплінарне стягнення, де замість турботи і терпеливих пояснень надають перевагу неадекватним вчинкам покарання. Реакції на неправильну поведінку зі сторони начальницького складу фактично формують у курсантів характер міжособистісної взаємодії.

Дослідження агресивної поведінки працівників має велике значення у системі професійно-психологічної підготовки працівників ДСНС України як для діагностики підвищеної негативної агресивності, так і для розробки адекватних заходів її усунення.

У працівників ДСНС України в результаті відповідного виховання в дитинстві можуть сформуватися агресивні почуття стосовно життя людей та ситуацій у службовій діяльності. А згодом, по мірі досягнення таким працівником високого рівня активації (а може й фрустрації), у певних випадках службової діяльності агресивність може концентруватися на об'єктах його діяльності, колегах, командирах та начальниках.

Спрямованість агресивної поведінки може бути дуже різнобічною, а також змінювати об'єкт. Агресія може бути викликана як зовнішніми, так і внутрішніми факторами. Тому працівник не очікувано може виявити агресивність у безневинній ситуації. Прогнозування таких випадків значно полегшиться, якщо командири та психологи підрозділів будуть добре знати підлеглих, їх минуле, теперішній стан та моменти, що викликають у них підвищену агресивність в житті та службовій діяльності. Треба навчити працівників проявам позитивної агресивності, але їхня поведінка не повинна виходити за межі діючих нормативно-правових актів та загальноприйнятих моральних норм. Деякі працівники потребують значної допомоги при оволодінні вмінням виявляти потрібну агресивність, контролювати її та не виявляти докорів сумніння після подібних дій. Психологи та командири підрозділів не повинні піддаватися впливу стереотипів при визначенні реального рівня агресивності, котрий притаманний даному працівнику.

Відтак, контроль та керування агресивністю є одним із важливих завдань у поведінці майбутніх фахівців ДСНС України.

Фахівець ДСНС України, що спрямовує агресивні акти стосовно цивільних осіб, практично не відмовляється від своєї діяльності. Це дозволяє висунути припущення про те, що для працівників ДСНС України прояв агресивності має особистісний сенс, і під час агресивного акту актуалізується його готовність до спрямованої діяльності.

Службова і навчальна діяльність курсантів ВНЗ ДСНС України як майбутніх фахівців також тісно пов'язана з різноманітними проявами агресії; більше того, агресивність досить часто виступає як необхідна складова деяких професійних умінь та навичок, яких набувають курсанти у процесі навчання.

В залежності від структурно-функціональних взаємозв'язків з іншими компонентами особистості агресивність може реалізовуватися і в соціально-позитивній поведінці, яка сприяє

збереженню цілісності і автономності особистості, її активності в установленні соціальних контактів, підтриманні певної структури та ієрархії домінантно-субординантних стосунків [9].

В сучасних умовах діяльності ДСНС України негайного вирішення потребує проблема попередження надзвичайних подій, які призводять до тимчасових або незворотних втрат особового складу. У першу чергу це відноситься до надзвичайних подій із фізичними наслідками – поранень, загибелі й самогубств працівників при виконанні службових обов'язків та поза службою. У зв'язку з цим у директивних документах ДСНС України акцентується увага керівників усіх рівнів на необхідність збереження життя та здоров'я особового складу, підвищення рівня загальної та психологічної культури, своєчасну профілактику деструктивної поведінки та самогубств працівників.

Проблему агресивності можна розглянути через самоактуалізацію особистості. Самоактуалізація, згідно А. Маслоу, це прагнення до найбільш повного виявлення і розвитку своїх особистісних можливостей. Потреба у самоактуалізації, саморозвитку – це основні складові в характеристиці зрілої особистості, у нашому випадку – професіонала, працівника ДСНС України.

На думку А. Маслоу (рис.1), у світі мало людей, яким дійсно вдалося повністю розкрити й реалізувати свій потенціал. Він обстежив біля трьох тисяч студентів і тільки про одного з них зміг сказати, що він – особистість, яка самоактуалізувалася. Серед людей більш зрілого віку такі, безумовно, зустрічаються частіше, однак не настільки, щоб це можна було вважати явищем широко розповсюдженим. Більшість людей не піднімаються вище рівня потреби в схваленні й повазі. Їм так і не вдається досягти самоактуалізації й повністю реалізувати свій потенціал [6].

Запропонована ієрархічна структура потреб має загальний характер і може бути корисною для фахівців державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Вважаючи незадоволені потреби механізмом, який дозволяє стимулювати роботу підлеглих, керівник повинен пам'ятати, що задоволений запит втрачає значення стимулу.

Таким чином, керівникові державної служби України з надзвичайних ситуацій слід пам'ятати, що задоволення потреб може суперечити інтересам справи, однак її можна вирішити, якщо максимально наблизити умови так, щоб задоволення власних потреб співпадало із задоволенням потреб організаційного підрозділу.

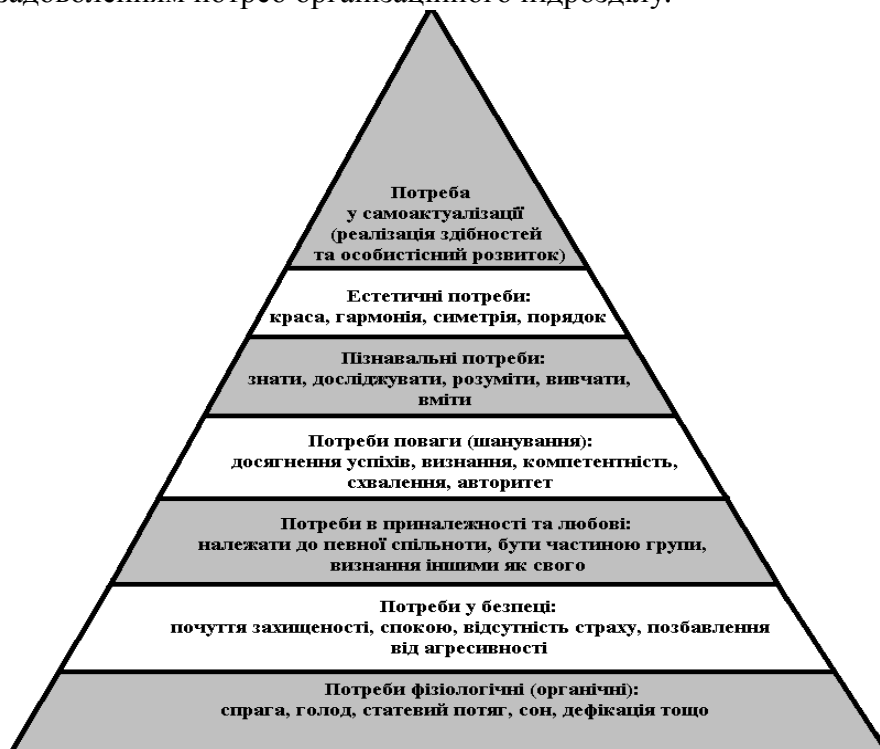


Рисунок 1 – Піраміда потреб А. Маслоу

Висновки. Таким чином теоретичний аналіз різних підходів до розуміння сутності агресивності дозволяє зробити висновок про те, що агресивність це результат спотворення професійних і особистісних якостей працівника під впливом негативних факторів діяльності і навколишнього середовища. З одного боку, під агресією розуміються сильна активність, прагнення до самоствердження, внутрішня сила, що дає можливість людині протистояти зовнішнім силам, а з іншого під агресією розуміються акти ворожості, атаки, руйнування, тобто дії, які шкодять іншій особі або об'єктові. Отже, агресивність може бути пов'язана не тільки з ситуативними проявами агресії, виступаючи як мотив і стан, а і визначати стійку готовність до агресивних дій в різних ситуаціях, будучи наявною у структурі індивідуальності в якості риси особистості і властивості темпераменту.

Багаторічні спостереження дають змогу констатувати, що агресивна поведінка майбутніх фахівців державної служби України з надзвичайних ситуацій має свою специфіку і свої причини, такі як: невміння себе контролювати, наслідок реакції групування і наслідування. На молодших курсах, у зв'язку з необхідністю пристосування до умов специфічної життєдіяльності, у колективі підвищується агресивність курсантів. Немоżliвість її поведінкової реалізації в умовах досить жорсткого соціального контролю сприяє, з одного боку, тимчасовому зниженню відкритих видів агресії, а, з іншого, – зростанню непрямой та таких показників агресивності, як «образ», «ворожість», «фроздратованість», «почуття провини».

На старших курсах в умовах високого ступеня сформованості особистості майбутніх фахівців, прояви агресивності часто є реакцією на недостатній рівень організації їх службової діяльності. У цьому випадку агресивність спрямована на зміну умов соціального середовища і тісно пов'язана з потребою у самореалізації та самовизначенні. Крім того, виникаючі негативні почуття та емоції, які складають основу психічного стану агресії, часто є наслідком внутрішньо-особистісного конфлікту (незадоволення собою).

Перспективи подальших досліджень. Перспективу подальшого пошуку вбачаємо у дослідженні динаміки агресивності майбутніх фахівців Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берковиц Л. Агрессия. Причины, последствия и контроль: учебное пособие / Л. Берковиц. – СПб.: прайм – ЕВРОЗНАК, 2004. – 512 с.
2. Васильева О. С., Радищевская Я. Б. Влияние агрессивности курсантов на уровень их социально-психологической адаптации / О. Васильева, Я. Радищевская // Вопросы психологии. – 2005. – №1. – С. 29 – 31
3. Дроздов О. Ю., Скок М. А. Проблемы агрессивной поведінки особистості / О. Дроздов., М. Скок – Чернігів. 2000. – 92 с.
4. Дьяченко М. И., Кандыбович Л. А. Психологический словарь-справочник / М. Дьяченко, Л. Кандыбович – Мн.: Харвест, 2001. – 576 с.
5. Левитов Н. Д. О психических состояниях человека / Н. Д. Левитов – М., 1964. – 344 с.
6. Маслоу А. Г. Самоактуализация / пер. с англ. / под общ. ред. А. М. Татлыбаевой. СПб: Ихтик, 1999. – 379 с.
7. Мерлин В. С. Очерк интегрального исследования индивидуальности / В. С. Мерлин – М.: Педагогика, 1986.
8. Платонов К. К. Методологические проблемы медицинской психологии / К. К. Платонов – М., 1977. – 95 с.
9. Тимченко О. В. Аутоагресивна поведінка працівників органів внутрішніх справ України (соціально-психологічні детермінанти виникнення, методи превенції та профілактики) : автореф. дис. канд. психол. наук: спец. 19.00.06 / О.В. Тимченко; МВС України. Нац. ун-т внутр. справ. – Х., 2003. – 18 с.
10. Фрейд З. По ту сторону принципа удовольствия / Зигмунд Фрейд – М., 1992. – 569 с.
11. Фрейд З. Тотем и табу. Психология первобытной культуры и религии / Зигмунд Фрейд – СПб., 1997. – 222 с.
12. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности / Перевод П. С. Гуревич. – Москва: Аст, Хранитель, Мидгард, 2007. – 624 с.
13. Tadashi G. The Psychological Research of Aggression. Tokyo, 1985.

УДК 624.012

В.М. Нуянзін, Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля,
С.В. Поздєєв, д.т.н., доц., ІДУЦЗ, А.В. Поздєєв, к.т.н., А.І. Ковальов, к.т.н., О.М. Нуянзін,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОМИЛОК У ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУР НА ПОХИБКУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ, ЯКА ЗАЗНАЛА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

Досліджено вплив помилок при визначенні температур в зразках залізобетонної колони, яка зазнала впливу кліматичних факторів тривалістю 30 років, під час проведення експериментальних досліджень на точність визначення теплофізичних характеристик бетону (коефіцієнту теплопровідності та питомої об'ємної теплоємності).

Ключові слова: межа вогнестійкості, залізобетонна колона, теплофізичні характеристики, похибка

Постановка проблеми. Для України, так як і для більшості країн пострадянського простору, актуальною є проблема «довгобудів», тобто житлових будівель будівництво яких призупинено на невизначений час. Залізобетонні конструкції, зокрема колони, таких об'єктів зазнають впливу кліматичних факторів (змінення температури, атмосферні опади, сонячна радіація тощо), що призводить до змінення їх властивостей. На теперішній час нормативними документами України не передбачено оцінювання вогнестійкості залізобетонних колон, які зазнали впливу кліматичних факторів, а будівлі, зведені з їх використанням, здаються як новобудови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для дослідження залежності між значенням межі вогнестійкості залізобетонних колон та тривалістю впливу кліматичних факторів на них використали раніше розроблену методику [1], яка зокрема, передбачає розв'язання двох задач: теплотехнічної та статичної. Теплотехнічна задача розв'язується з використанням залежностей температур в перерізі зразків залізобетонної колони від часу температурного впливу. З використанням отриманих температурних залежностей розв'язується обернена задача теплопровідності та визначаються теплофізичні характеристики (ТФХ) (коефіцієнт теплопровідності та питома об'ємна теплоємність). Статична задача в свою чергу розв'язується з використанням даних про теплофізичні та міцнісні характеристики бетону залізобетонної колони, що досліджується.

Дослідження ТФХ бетону проводили на бетонних зразках (рис. 1 а) розміром 300мм×300мм×300 мм (рис. 1 а), які отримано з залізобетонної колони перерізом 0,3×0,3 м та довжиною 3,5 м, виготовленої з важкого бетону В30 та гранітного заповнювача, з повздовжньою арматурою, діаметром 20 мм зі сталі А400 та поперечною арматурою, діаметром 8 мм зі сталі А240 (густина бетону складає 2300 кг/м³), яка зазнала впливу кліматичних факторів тривалістю 30 років.

ТФХ бетону визначались із застосуванням методики, яка полягає в проведенні вогневих випробувань з подальшим розв'язанням ОЗТ за методикою, детально описаною в [2], на основі застосування методу Ньютона-Гауса. Для визначення ТФХ бетону використано установку, яка складається з теплоізолюваної камери та пальника (рис. 2).

Схема проведення експериментальних досліджень та місця установки термопар в зразках показано на рис. 1 (б, в). Для вимірювання температури в камері установки та зразках, було використано 5 хромель-алюмелевих термопар ТХА-VIII (Т1-Т5). Випробування проводились при температурі повітря 12 °С та вологості 65%.

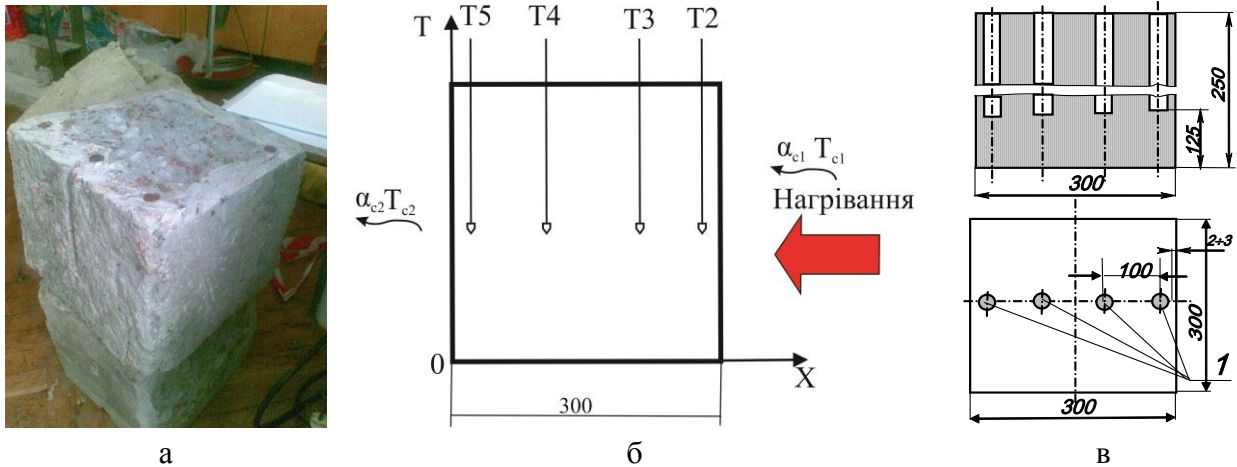


Рисунок 1 – Зразки (а) та схема їх зображення з місцями установки термопар (б (термопара Т1 розміщена в камері установки та контролює дотримання стандартного температурного режиму), в) для дослідження впливу кліматичних факторів на теплофізичні характеристики бетону (1 – місця установки термопар).



Рисунок 2 – Установка для визначення ТФХ бетону.

За результатами експериментальних досліджень зразків, які прогрівались за умов стандартного температурного режиму, отримано залежності температур від тривалості вогневого впливу в місцях установки термопар (рис. 3).

Розв'язання ОЗТ здійснювалось використовуючи екстремальний метод, згідно якого знаходилися такі значення параметрів P , для яких величина середньоквадратичного відхилення Φ розрахункових $T_{M,i}$ і експериментальних $T_{E,i}$ значень температур у місцях розташування термопар була мінімальною і обчислюється за формулою:

$$\phi = \sqrt{\sum_{i=1}^n [T_{M,i}(P) - T_{E,i}]^2}, \quad (1)$$

де n – кількість експериментальних значень температури в часі.

Використовуючи результати випробувань залізобетонної колони (температури в місці розташування термопар Т3) було розв'язано ОЗТ та визначено значення ТФХ бетону залізобетонної колони, що досліджується. Проте не досліджено вплив помилок при проведенні експериментальних досліджень на точність визначення значень ТФХ. Тому метою даної роботи є визначення допустимого діапазону похибок вимірювального обладнання при яких отримуються прийнятні значення ТФХ бетону, які визначено за запропонованою методикою [1].

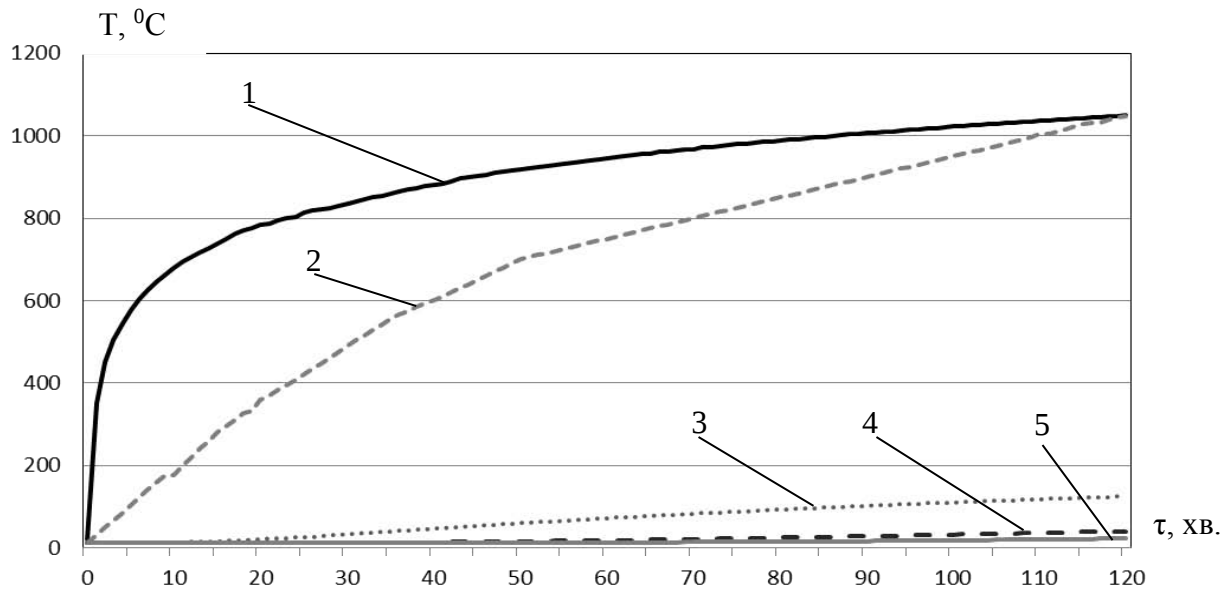


Рисунок 3 – Залежність температури прогріву зразка залізобетонної колони від тривалості вогневого впливу в місцях розташування термопар (1 – рівень термопарі Т1, 2 – рівень термопарі Т2, 3 – рівень термопарі Т3, 4 – рівень термопарі Т4, 5 – рівень термопарі Т5).

Постановка завдання та його вирішення. Врахувати всі можливі похибки при проведенні експериментальних досліджень для визначення ТФХ бетону дуже важко [3]. Тому пропонується імітувати помилки при визначенні експериментальних температур за допомогою генератора випадкових чисел.

Для цього проведено обчислювальний експеримент (ОЕ). Даний експеримент імітував проведення випробувань зразків залізобетонної колони, що досліджується, для визначення значень їх ТФХ. В результаті проведення ОЕ були отримані значення температур в тих самих місцях, де були розміщені термопари при проведенні реального експерименту. Проведено дослідження впливу похибок при вимірюванні температур на точність визначення ТФХ бетону.

При розрахунку вводились випадкові похибки 10 та 20% при вимірюванні температури в місці розташування термопарі Т3 (рис. 1 б). Точні та збурені на 10, 20 % температури показано на рис. 4-5.

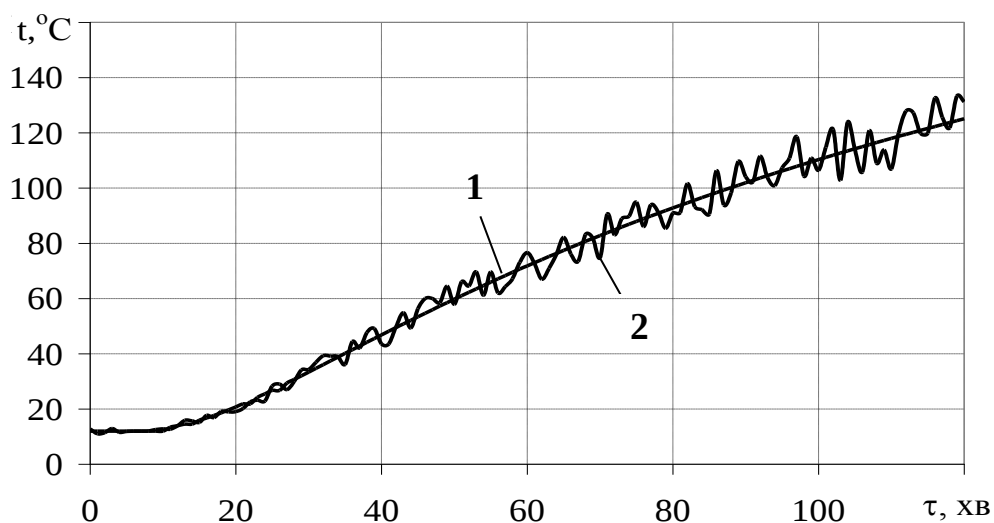


Рисунок 4 – Точні і збурені до 10% значення температур на відстані 100 мм від обігрівальної поверхні досліджуваного зразка, товщиною 300 мм, де:

- 1 – точна крива зміни температури, яка отримана експериментально;
- 2 – збурена на 10 % крива зміни температури.

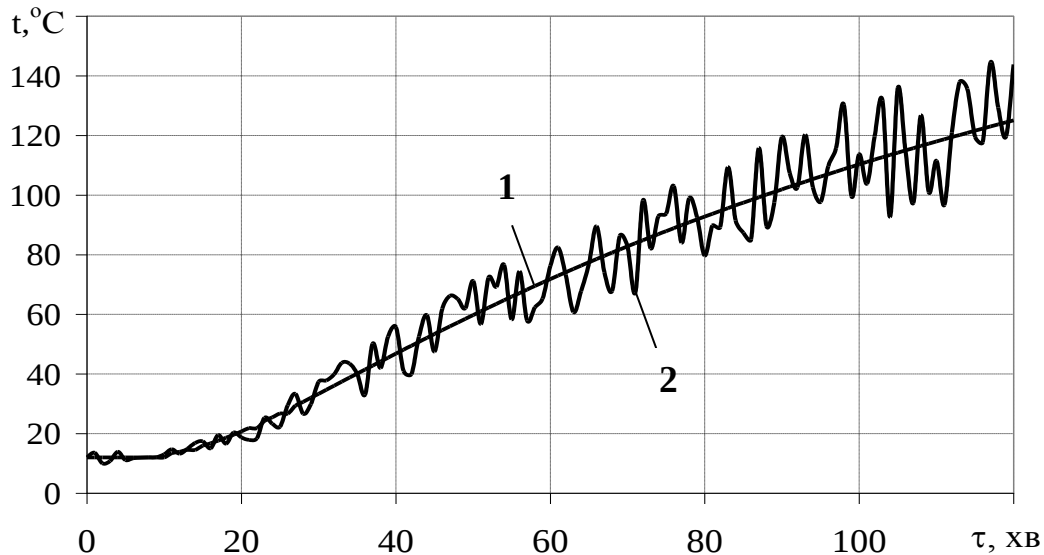


Рисунок 5 – Точні і збурені до 20% значення температур на відстані 100 мм від обігрівальної поверхні досліджуваного зразка, товщиною 300 мм, де:

- 1 – точна крива зміни температури, яка отримана експериментально;
- 2 – збурена на 10 % крива зміни температури.

З використанням збурених значень температур проведено розрахунок значень ТФХ бетону залізобетонної колони, що досліджується. Точні значення ТФХ та ТФХ, отримані розв'язанням ОЗТ по збуреним на 10, 20 % температурам, показані на рис. 6-7.

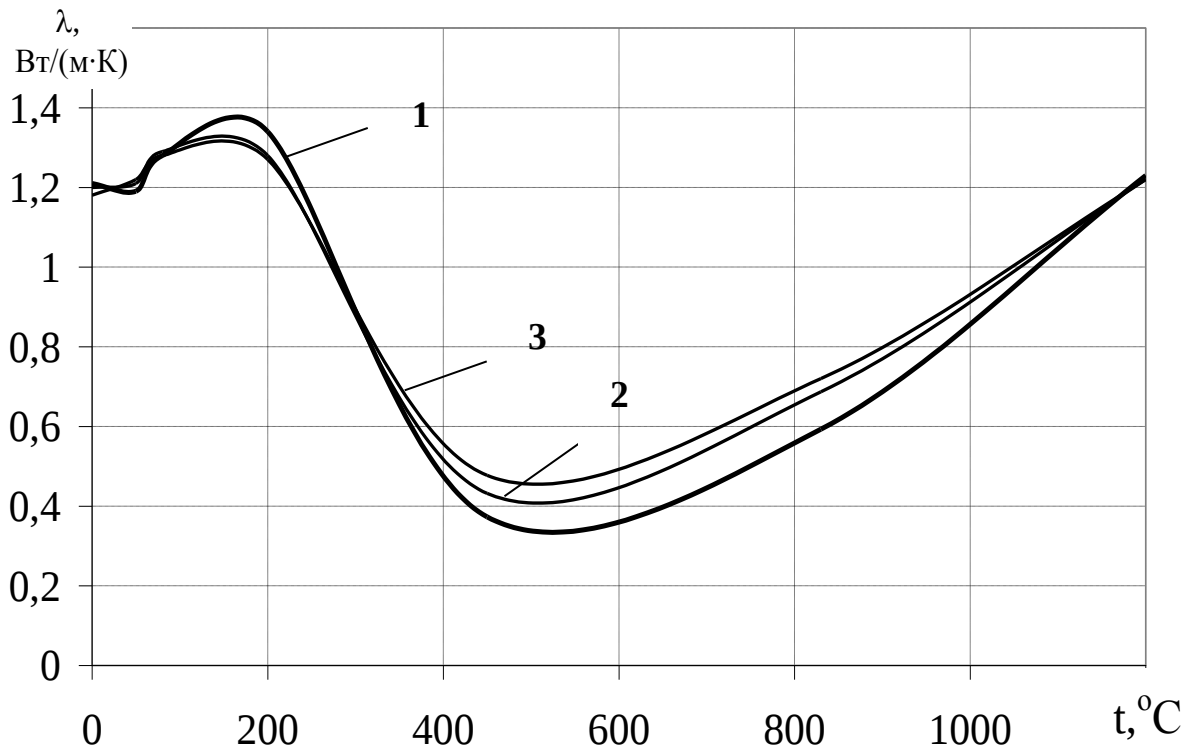


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнтів теплопровідності бетону від температури, де:

- 1 – точні коефіцієнти;
- 2 – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 10 %;
- 3 – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 20 %.

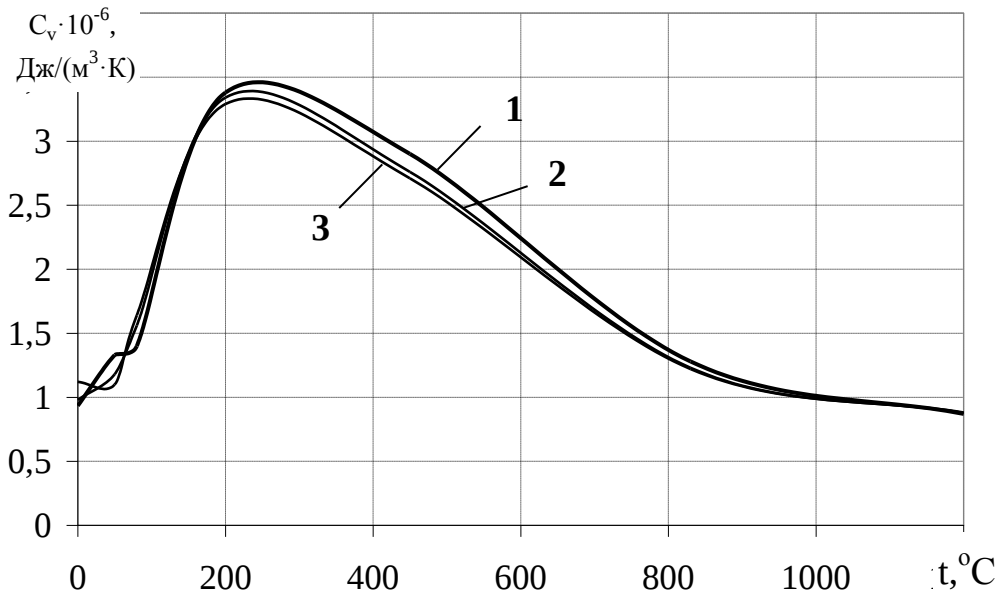


Рисунок 7 – Залежність питомої об'ємної теплоємності бетону від температури, де:

- 1 – точні коефіцієнти;
- 2 – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 10 %;
- 3 – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 20 %.

В результаті дослідження встановлено, що критерій середньоквадратичного відхилення (1) коефіцієнта теплопровідності та питомої об'ємної теплоємності бетону по збуреним на 10% температурам склав 4,366 °C, а по збуреним на 20% температурам – 8,876 °C.

При цьому, максимальне відхилення точних даних коефіцієнту теплопровідності бетону від даних температур, збурених на 10 %, складає 16 % при температурі 830 °C, а збурених на 20 % – 21,4 %. А максимальне відхилення точних даних питомої об'ємної теплоємності бетону від даних температур, збурених на 10 %, складає 11,4 % при температурі 80 °C, а збурених на 20 % – 17,14 %. Ці дані свідчать про сильний вплив випадкових похибок у вимірюванні температур в середині зразків, що досліджуються, на точність визначення ТФХ.

Можливо припустити, що такі відхилення зумовлені агресивним впливом кліматичних факторів в поєднанні з особливостями масопереносу вологи (природної та хімічно зв'язаної) при високотемпературному впливі.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено, що при похибці вимірювання температур у 10%, відхилення об'ємної теплоємності перевищує 11 %, а коефіцієнту теплопровідності – 16 % від їх точних значень. Тому, для отримання прийнятних значень ТФХ за допомогою запропонованої методики [1], необхідно особливо ретельно підходити до планування та проведення експериментальної частини дослідження. Засоби вимірювальної техніки повинні бути повірені та відповідати вимогам діючих норм. Експеримент може вважатись успішним в разі знаходження похибки в діапазоні від 0 до 10%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика вивчення роботи стиснутих елементів залізобетонних конструкцій після тривалого кліматичного впливу при пожежі / С.В. Поздєєв, В.М. Нуязін, В.І. Осипенко, А.В. Поздєєв // Пожежна безпека. Збірник наукових праць. Львів: ЛДУБЖД. – 2009. - №14. – С. 56-62.
2. Круковский П. Г. Обратные задачи теплопереноса (общий инженерный подход) / Павел Григорьевич Круковский. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 1998. – 218 с.
3. Качкар Е.В. Обоснование параметров трехслойных перегородок с минераловатными плитами для зданий и сооружений с учетом их огнестойкости : дис. ... кандидата техн. наук : 21.06.02 / Качкар Евгений Владимирович. – К., 2009. – 157 с.

УДК 624.012

О.М. Нуянзін, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,
С.В. Поздеев, д.т.н., доц., В.М. Андрієнко, к.і.н., доц.,
С.А. Єременко, к.т.н., доц., ІДУЦЗ

ДОСЛІДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛОМАСООБМІНУ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У роботі досліджується адекватність математичних моделей вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса за допомогою програмного комплексу FlowVision 2.5. Проведено порівняння результатів, отриманих шляхом комп'ютерного моделювання випробувань на вогнестійкість у вогневих печах, з експериментальними даними. Показано відповідність результатів моделювання у середовищі CFD програм даним реальних випробувань.

Ключові слова: моделювання, вогнестійкість, обчислювальна газогідродинаміка (CFD), FlowVision 2.5.

Постановка проблеми. Оцінка вогнестійкості елементів будівель визначається стандартними випробуваннями в спеціальних вогневих установках [1,2]. Важливо, щоб дослідження відповідали однаковим стандартним умовам випробувань, у якій би з лабораторій ці дослідження не проводилися. Проте, існуючі методи стандартизуються лише на температурно-часових кривих термопари печі, і, до того ж, конструкції та дизайн стандартних печей значно відрізняються один від одного. Тому існують істотні розбіжності в розумінні поняття «вогнестійкість». У даній статті досліджується застосування обчислювальної газогідродинаміки (CFD) для створення адекватної моделі вогневої печі для випробувань залізобетонних будівельних конструкцій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Стандартні методи вогневих випробувань достатньо добре вивчені і їм присвячено багато робіт [3-7], де висвітлені основні аспекти вогневих випробувань на вогнестійкість несучих залізобетонних конструкцій, але в даних роботах недостатня увага приділяється вивченню метрологічних характеристик випробувальних установок та впливу конструктивних особливостей цих установок на адекватність отриманих результатів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Існує багато конструкцій печей, які розрізняються геометричними конфігураціями, видом паливно-форсуночної системи, схемами розташування та конструкцією вимірювальної арматури. Це може призвести до того, що різні випробувальні установки можуть давати результати, які відрізняються на 30 і більше відсотків. Якщо йдеться про час, що визначає настання граничного стану, а це фактично час, який потрібен для евакуації людей та матеріальних цінностей, то для REI 60 відхилення може складати близько 20 хвилин, REI 120 – 40 хвилин, REI 150 – 50 хвилин. Це значний проміжок часу, в якому визначається межа вогнестійкості тією чи іншою лабораторією і при цьому немає гарантій, що це не може бути дуже завищений результат. У такому випадку не можна гарантувати безпеку людей та матеріальних цінностей у відповідності до існуючих нормативів. І тому питання удосконалення характеристик для вогневих випробувань є актуальним і важливим.

У роботі [3] ми проаналізували методи, якими можливо дані дослідження здійснити. І через велику вартість та трудомісткість випробувань в спеціальних установках вирішили проводити чисельні експерименти за допомогою комп'ютерного моделювання.

Часто теоретичні розрахунки не можуть дати повної впевненості у правильності передумов для проектування нових конструкцій вогневих печей і тоді на допомогу приходить теорія моделювання. Моделювання, як метод наукового дослідження дає

можливість, не виконуючи установок в натурі, без будь-яких великих матеріальних затрат на моделях проводити всі необхідні досліди щодо визначення ефективності створених конструкцій і вносити необхідні зміни у моделі для доведення її до найвищого рівня.

Постановка задачі та її розв'язання. Створити математичну модель горизонтальної вогневої печі на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Перевірити адекватність створеної моделі. Відповідно до результатів проведених чисельних експериментів зробити висновки щодо показників температури у камері печі, термопарі та досліджуваному зразку. Виділити особливості, які можуть впливати на результати випробувань у вогневих печах.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Стандартизовані методи описують температурно-часові залежності, які встановлюються під час проведення випробування, і при яких температура вимірюється термопарами, розміщеними в печі, біля зразка. Проте, хоча використовуються стандартизовані методи, сам дизайн і характеристики печей для дослідження істотно відрізняються [3,4]. Оскільки результати дослідження багато в чому залежать від конструкції печі, не представляється реальним той факт, що існуючі печі мають бути модифіковані, щоб відповідати одному конструктивному улаштуванню.

Як було відзначено у роботах [5,6] сучасне програмне забезпечення, зокрема моделювання теплових процесів засобами комп'ютерної газодинаміки (CFD), дозволяє врахувати всі необхідні параметри досліджуваних процесів та дослідити вплив геометричних та конструктивних характеристик печі для випробувань залізобетонних конструкцій на адекватність результатів. Однією з основних переваг обчислювальної газогідродинаміки є можливість порівняння конструкції різних печей. Часто це обходиться набагато дешевше, ніж еквівалентні експериментальні випробування.

Одним з представників CFD програм є комплекс FlowVision 2.5 компанії «ТЕСИС». FlowVision 2.5 можна використовувати для порівняння різних печей при пожежних дослідженнях, забезпечуючи докладний опис режиму передачі тепла, що впливає на досліджуваний зразок. Тому FlowVision може бути використаний для порівняння різних печей, з урахуванням їх відповідності обраному стандартному режиму дослідження. У даній статті описано застосування обчислювальної газогідродинаміки для моделювання повномасштабної вогневої печі відповідно до [1,2] на основі описаної там стандартної температурної кривої.

Температура в печі вимірюється термопарами не менше, ніж у п'яти місцях. При цьому на кожні 1,5 м отвору печі, що призначена для випробування огорожувальних конструкцій, та на кожні 0,5 м довжини або висоти печі, що призначена для випробування стержневих конструкцій, має бути встановлена одна термопара. Вимірювальний спай термопар необхідно встановлювати на відстані від 90 до 110 мм від поверхні зразка. Відстань від вимірювального спаю термопар до стінок печі має бути не менше 200 мм [1]. У даній роботі температура контролюється однією змодельованою термопарою, у 36 місцях всередині камери печі та на досліджуваному зразку.

Температура, яку реєструє термопара печі, залежить від декількох факторів. Враховується конвективний і радіаційний теплообмін поверхні термопар і простору камери печі. На практиці термопара підлаштовується до температури, яка забезпечує баланс між теплом, індукованим конвективно і теплом, що виділяється при випромінюванні.

У теоретичній базі системи FlowVision 2.5 [8] розвинений узагальнений підхід, заснований на усереднюванні за часом (усереднювання за Рейнольдсом) повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Для вирішення системи рівнянь застосовується процедура корекції тиску обмеженого об'єму для вирішення оціночних рівнянь Нав'є-Стокса регулювання густини у загальній системі координат. Застосовується стандартна вихрова модель k-ε. Горіння пояснюється припущенням, що швидкість зниження тепла обмежується вихровим змішуванням палива і окислювача. В табл. 1 вказані параметри математичних моделей згідно з номенклатурою FlowVision 2.5.

Таблиця 1 – Параметри математичних моделей газодинаміки печі для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій згідно номенклатури FlowVision 2.5

№ п/п	Математична модель	Теоретична база	Назва моделі згідно номенклатури FV 2.5
1.	Модель механіки руху газів	Система рівнянь Нав'є-Стокса	Модель двофазного горіння
2.	Модель газу	Ідеальний газ	Швидкість
3.	Модель теплопереносу	Рівняння енергії	Енергія
4.	Модель турбулентності	Стандартна k - ε	Турбулентність Стандартна модель k-ε
5.	Модель реагуючого потоку	Двофазний потік рідких частинок	Частинки
6.	Модель хімічної реакції	Одноступінчата хімічна бруто-реакція формула	5 газів
7.	Модель горіння	Модель Магнуссена (турбулентна модель)	Модель горіння Магнуссена
8.	Модель випромінювання газу в об'ємі.	Дифузна модель (P1)	Випромінювання Дифузна модель (P1)
9.	Модель теплопередачі в твердих тілах	Рівняння теплопровідності	Твердий матеріал Енергія
10.	Модель радіаційного теплообміну між поверхнями моделей	Рівняння радіаційного теплопереносу	ПП випромінювання
11.	Метод чисельної реалізації	Метод контрольних об'ємів	Базовий метод реалізації розрахунку FV 2.5

Моделювання установки для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій.

Для побудови математичної моделі були використані такі принципи:

1. При побудові моделі і проведенні обчислювального експерименту застосовано програмний комплекс FlowVision 2.5.

2. Як інструмент для побудови геометрії моделі використано програмний комплекс SolidWorks.

3. В процесі обчислювального експерименту враховується конвективний і радіаційний теплообмін поверхні зразка для випробувань і простору камери печі.

Необхідно виділити деякі особливості побудови геометричної моделі:

1. Використано розміри реально існуючої вогневої печі.

2. Поверхні, що сполучаються (камера печі та залізобетонна плита) побудовані на відстані близько 100 мм, для коректної роботи моделі після того, як буде створено розрахункова сітка.

3. В камері передбачається модель термопари у вигляді стержня довжиною 100 мм і діаметром 6 мм.

4. Модель термопари відповідно до [1], знаходиться на відстані 100 мм від залізобетонної стіни.

Далі створена геометрична модель імпортується в середовище програмного комплексу. За допомогою можливостей програми задаються всі необхідні параметри: матеріали, з яких виготовлено досліджуваний зразок та термопару, модель горіння, параметри палива та окислювача та ін.

На рис. 1 показана геометрична конфігурація горизонтальної печі, яка використовується для проведення вогневих випробувань.

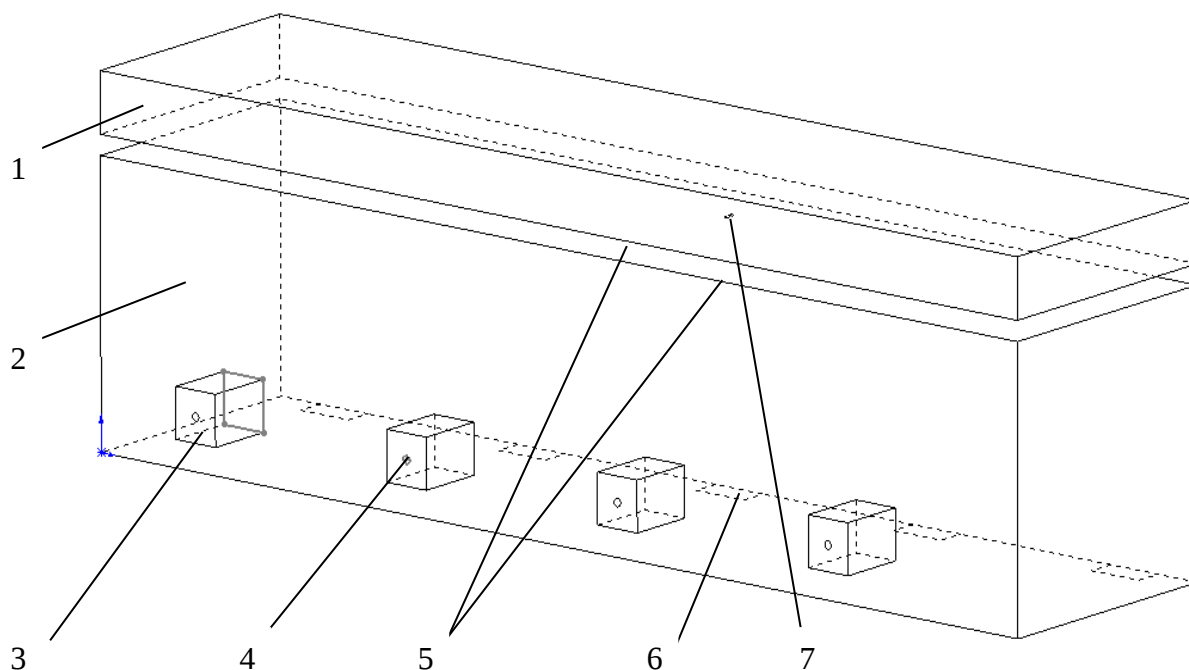


Рисунок 1 – Геометрична конфігурація горизонтальної печі (показано лише симетричну половину): 1 – залізобетонна плита; 2 – огороження печі; 3 – регіон вдуву; 4 – регіон форсунки; 5 – поверхні, що сполучаються; 6 – регіон виходу продуктів горіння; 7 – модель термопари.

Для проведення обчислювального експерименту з використанням створеної математичної моделі вогневої печі для випробувань використана нижченаведена послідовність розрахункових процедур:

1. Ініціюється процес горіння.
2. Значення температури термопари візуалізується і контролюється порівнянням зі стандартною температурною кривою пожежі для часового кроку випробувань.
3. При досягненні температури термопари відповідної температури стандартного температурного режиму пожежі для даного інтервалу, параметри процесу горіння змінюються.
4. Після вигорання всіх частинок палива (визначається за температурою факелів), встановлюється ще більш грубий крок за часом до настання наступного часового інтервалу.
5. Для наступного часового інтервалу розрахункові процедури повторюються.
6. При проведенні розрахунку контролюється температура відповідних точок плити і простору печі.

З цією метою було побудовано сіткову модель простору горизонтальної печі (рис. 2). Для того щоб врахувати конвективний і радіаційний теплообмін поверхні термопари і простору камери печі адаптивну сітку для термопари було значно подрібнено. Таким чином, результати моделювання у програмі CFD FlowVision 2.5 якнайкраще наближаються до реальних.

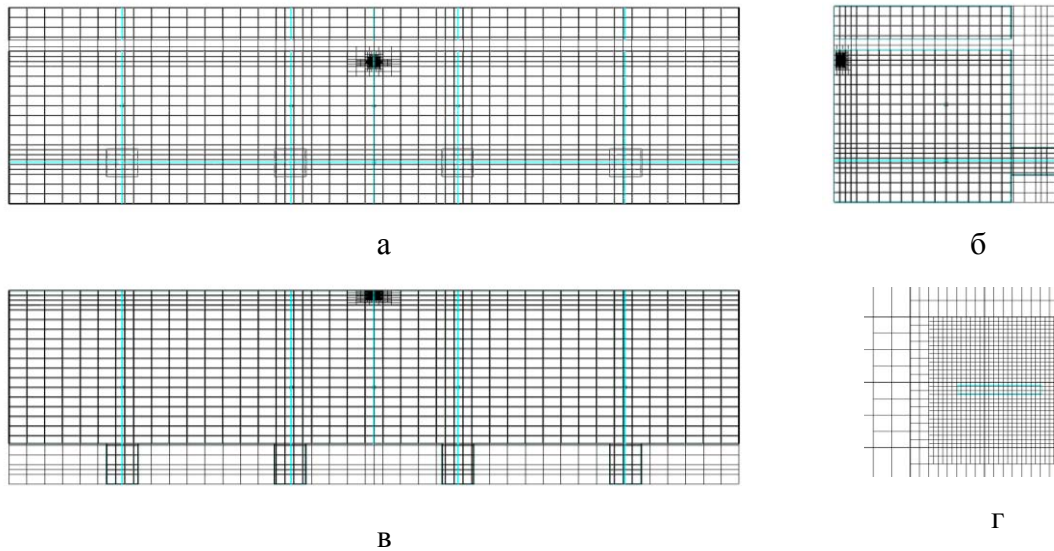


Рисунок 2 – Сіткова модель простору горизонтальної печі (показано лише симетричну половину): а – вид по осі у; б – вид по осі х; в – вид по осі z; г – адаптована сітка для термопари (вид на бокову поверхню термопари).

Дані щодо температури знімалися щосекунди всередині змодельованої термопари, в 9-ти місцях всередині камери печі та в 27-ми місцях всередині стіни, як показано на рис. 3.

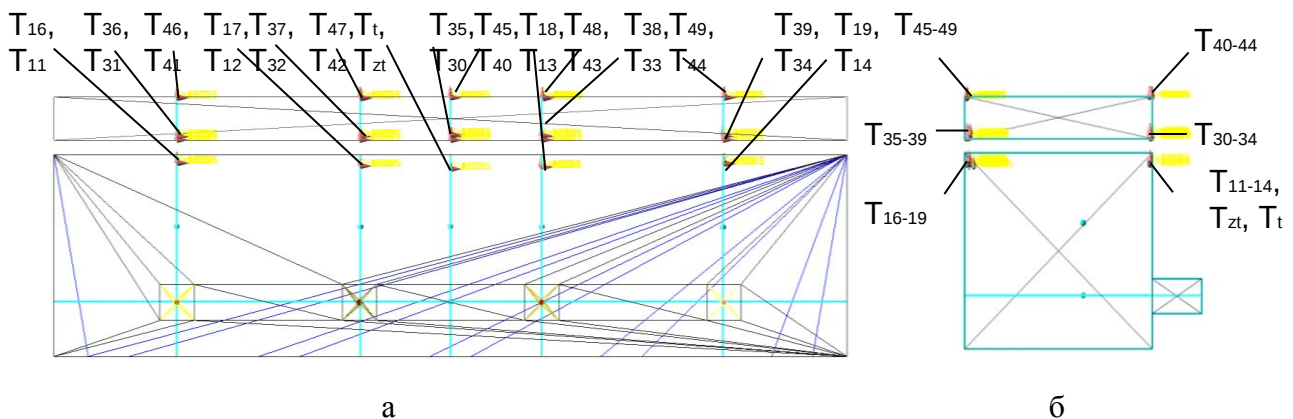


Рисунок – 3 Місця, де відбувався контроль температури (показано лише симетричну половину): $T_{11} - T_{44}$ – місця, у яких відбувався контроль температури; а – вид по осі X; б – вид по осі Z.

Результати обчислювального експерименту. Правильний рух газів в камері печі має дуже важливе значення для проведення вогневих випробувань. Для забезпечення необхідної температури потрібно подавати в необхідній кількості окисник (повітря) та своєчасно видаляти продукти згорання.

Нагрів за стандартною кривою відбувається ступінчастим способом за допомогою системи форсунок, що періодично включаються. Вона складається з системи подачі палива і 8-ми форсунок (рис. 1). Форсунки представляють собою стандартні розпилювальні пристрої низького тиску механічного типу з витратою палива від 3 до 60 кг/год.

Тепловий процес представляє собою згорання розпорошених форсункою часток гасу в нагрівальних каналах (рис. 1) і частково в камері печі. Розташування каналів обумовлює циркуляцію гарячого повітря з продуктами згорання у камері печі і видалення останніх через димовий люк.

В табл. 2 зведені початкові параметри граничних умов вогневої печі і залізобетонної плити при її випробуванні на вогнестійкість.

Таблиця 2 - Початкові параметри граничних умов вогневої печі і залізобетонної плити при її випробуванні на вогнестійкість

№ з/п	Підобласть	Регіон підобласті	Тип граничної умови згідно з номенклатурою FlowVision 2.5	Параметр	Одиниці вимірювання	Величина	
1.	Простір печі	Огородження печі	Стінка	Щільність енергії випромінювання	Радіаційний потік розраховується		
		Регіон вдуву	Вхід/вихід	Температура	°C	25	
				Швидкість	кг/(м²с)	3	
				ТурбЕнергія		0,03	
				ТурбДисипація		0,001	
				O₂Відновл.		0,23333	
		Регіон форсунки	Стінка	Тип ГУ	част.+норм. скор		
				Потік часток	кг/с	зм. від 0,0013 до 0,008	
				Температура част.	°C	25	
				Діаметр часток	м	0,0001	
				Масова частка		1	
				Чорнота часток		0,5	
				Нстарт точок		100	
				Швидкість часток	м/с	10	
		Регіон димового люку	Вільний вихід	За умовчанням			
		Бічна поверхня плити	Поєднане	Тип ГУ	L-поєднання		
		Торцеві поверхні плити	Симетрія	По умовчанням			
Торцева поверхня з боку спаю і бокова поверхня термопари	Поєднане	Тип ГУ	L-поєднання				
Торцева поверхня термопари	Симетрія	За умовчанням					
2.	Плита	Обігрівна поверхня плити	Поєднане	Тип ГУ	L-поєднання		
		Необігрівні поверхні плити	Симетрія	За умовчанням			
3.	Термопара	Торцева поверхня з боку спаю і бокова поверхня термопари	Поєднане	Тип ГУ	L-поєднання		
		Торцева поверхня термопари	Симетрія	За умовчанням			

Контроль температури в камері здійснюється моделлю термопар, відповідно до [1].

Для побудови моделі теплопередачі в залізобетонній плиті і термопарі були використані теплофізичні характеристики, наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Теплофізичні характеристики матеріалів і умови конвективного і радіаційного теплообміну

№, з/п	Характеристика	Одиниці вимірювання	Величина	Джерело
Теплофізичні характеристики матеріалу плити (бетон)				
1.	Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м ² ·К)	1,2 – 0,00035·Т	[9]
2.	Питома теплоємність	Дж/(кг·°С)	710 + 0,83·t	[9]
3.	Густина	кг/м ³	2300	[9]
4.	Ступінь чорноти	-	0,85	[9]
Теплофізичні характеристики матеріалу термопар (сталь)				
1.	Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м ² ·К)	45	[9]
2.	Питома теплоємність	Дж/(кг·°С)	450	[9]
3.	Густина	кг/м ³	7000	[9]
4.	Ступінь чорноти	-	0,7	[9]
Загальні величини				
5.	Стала Стефана-Больцмана	Вт/(м ² ·К)	5,67·10 ⁻⁸	[9]

Під час проведення обчислювального експерименту контроль температури відбувався так, щоб температурний режим нагріву термопар по можливості точно співпадав з температурною стандартною кривою пожежі і не виходив за допустимі межі випробування [1]. Для цього засобами контролю системи FlowVision 2.5 в інтерактивному режимі знімалися поточні дані з термопар, і, при досягненні максимальної температури для певного кроку за часом, параметри процесу горіння змінювалися (табл. 2). Дані щодо температури у місцях, вказаних на рис. 3, фіксувалися щосекунди для досягнення необхідної точності при побудові графіків.

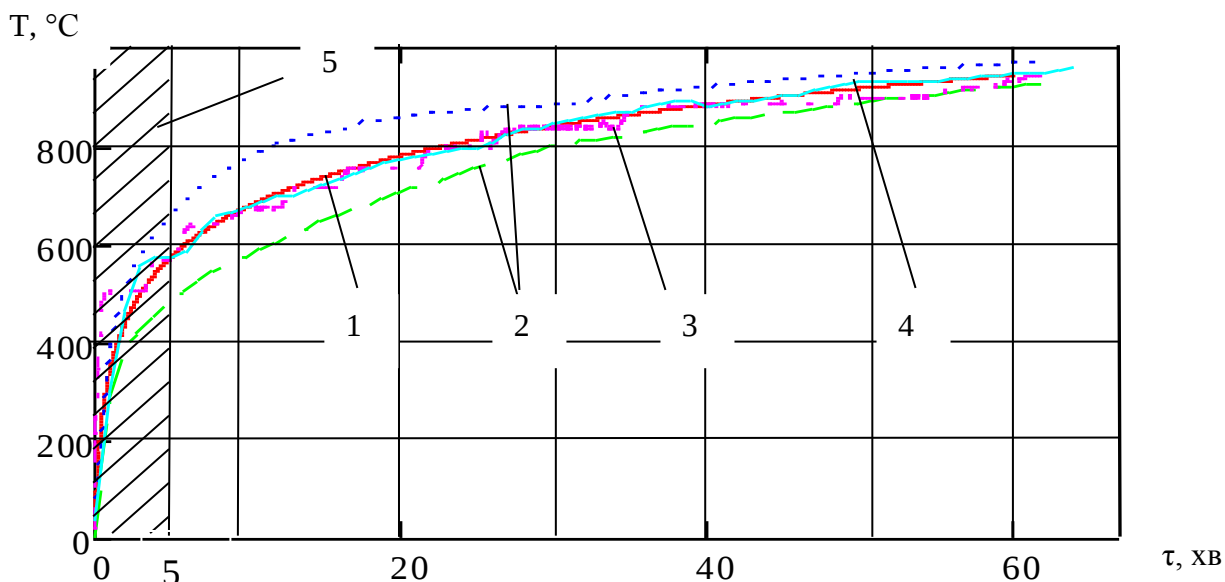


Рисунок 4 - Температурні криві нагріву простору камери печі на усьому часовому проміжку випробувань: 1 – стандартна температурна крива пожежі; 2 – граничні криві відхилень показників термопар від стандартної температурної кривої пожежі; 3 – середня температура у камері змодельованої установки; 4 – усереднене значення показників термопар при випробуваннях; 5 - проміжок часу, протягом якого відхилення середньої температури не контролюється [1].

З метою отримання відпрацьованої методики обчислювального експерименту були проведені попередні розрахунки для створеної моделі і отримані такі граничні умови і

параметри обчислювального процесу, при яких досягається оптимальна продуктивність розрахунку і адекватність його результатів.

При застосуванні параметрів обчислювального процесу, вказаних в табл. 2, 3, була отримана температурно-часова крива контрольних значень температури в термопарі, яка показана на рис. 4. Коливання кривої показників змодельованої термопарі в межах 15 - 20°C обумовлено флуктуаціями, викликаними турбулентністю процесу масопереносу.

Аналіз графіків рис. 4 показує, що найбільші взаємні відхилення кривих, побудованих за даними випробувань і результатами моделювання, виникають на початкових етапах випробувань в межах 10 – 20 хв. При цьому на графіках видно, що відхилення результатів розрахунку від результатів експериментів незначне, що говорить про високу ефективність моделювання.

На рис. 5 показано графік зміни показів температури термопарі та у 10-ти місцях, показаних на рис. 3, за час обчислювального експерименту.

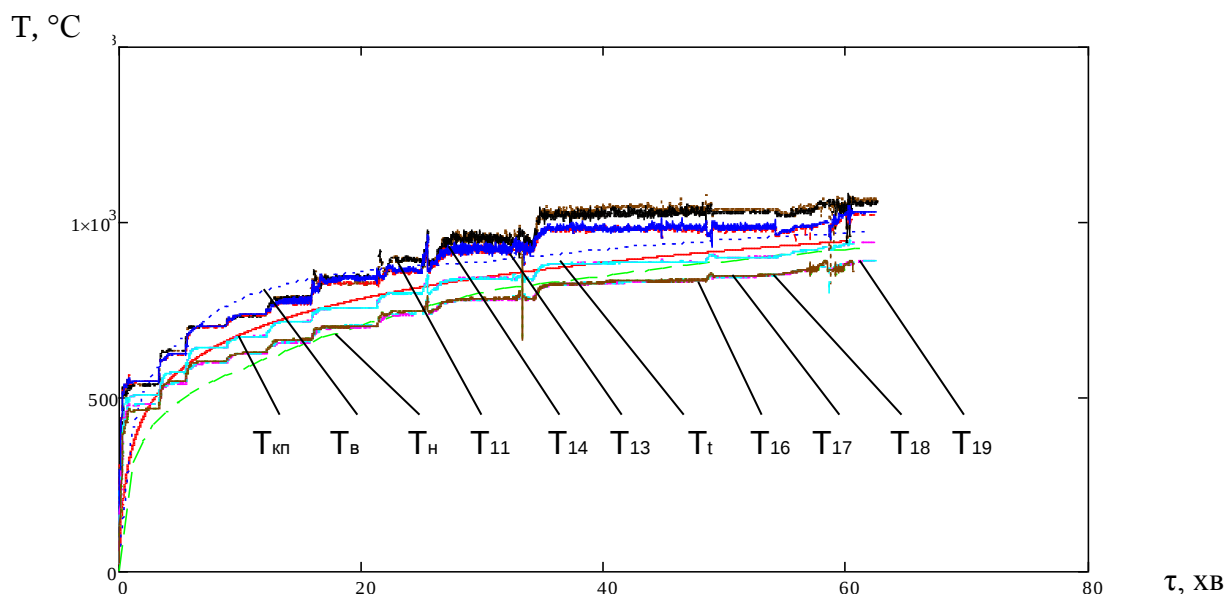


Рисунок 5 – Графік зміни температури у змодельованій печі: $T_{кп}$ - стандартна температурна крива пожежі; $T_в$ - верхня межа випробувань; $T_н$ - нижня межа випробувань; T_t – показники термопарі; T_{11} – температура у середній частині камери печі з правої сторони; T_{13} – температура у середній частині камери печі; T_{14} – температура у середній частині камери печі зліва; T_{16} – температура над пальниками з правої сторони; T_{17} – температура над пальниками у середній частині; T_{18} – температура над пальниками у середній частині; T_{19} – температура над пальниками зліва (рис. 3).

Аналізуючи отримані результати, бачимо, що не всі показники температур, які контролювались у камері увійшли в рамки випробувань. Як можна побачити розкид температур по камері горизонтальної печі є дуже значним і склав близько 186°C. Необхідно відмітити, що температура безпосередньо поруч з термопарою також відрізняється від значень самої термопарі ($\Delta T \approx 3,8^\circ\text{C}$). Що характерно: напроти пальників, за рахунок радіаційного та конвективного теплообміну, поверхня плити прогрівається сильніше. Це пояснюється також розташуванням отворів для відведення продуктів згоряння (рис. 1).

Наступним етапом досліджень був аналіз розподілу температур на обігрівній поверхні залізобетонної плити (рис. 6). Градієнт температур по поверхні плити є значним і це не може не впливати на результати випробувань.



6

B

№, з/п	Параметр	Максимальне відхилення, °С	Середнє відхилення, °С	Середньоквадр. відхилення, °С	Відносне відхилення, %	Дисперсія адекватності	Дисперсія відтворюваності	Критерій адекватності
1.	Відхилення показників термопар від стандартного температурного режиму пожежі	123	24,5	5,8	5,1	0,037	0,164	0,051
2	Відхилення показників термопар від експериментальних значень	72,7	20,3	3,3	2,9	0,032	0,164	0,038
3.	Відхилення показників термопар від температури в камері в області термопар	56,1	4,3	1,2	0,5	0,011	0,256	0,002
4.	Відхилення середньої температури області печі поблизу плити від показників термопар	67,2	9,3	1,9	0,54	0,018	0,277	0,004
5.	Розкид значень температури по поверхні плити	186	80,2	5,2	29,4	-	-	-

1. Проведено опис моделювання процесу горіння в повномасштабній установці для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій.

2. Робота математичної моделі печі при забезпеченні стандартного температурного режиму випробувань є адекватною, оскільки критерій адекватності не перевищує табличного значення критерію Фішера ($0,051 < 1,76$) (табл. 4).

3. Моделювання випробувань показало, що показники термопар є адекватними, і результати випробувань на вогнестійкість можна використовувати як еталонні.

4. Результати показують, що існують значні часові та просторові зміни теплового навантаження, прикладеного до зразка, що змінюється більш, ніж на 30% по площі зразка до кінця дослідження.

5. Таким чином, використання різних модифікацій паливно-форсуночної системи та розміщення приладів метрології мають значний ефект на весь процес тепломасообміну при випробуваннях. Стратегія, стандартного управління роботою печі при використанні середніх температур п'яти термопар [1] для отримання даних про межу вогнестійкості, може не точно відображати дійсну вогнестійкість конструкцій.

Перспективи подальших досліджень. Провести додаткові дослідження за допомогою математичного моделювання та удосконалити нормативні документи щодо вимог до конструктивних особливостей та метрологічного забезпечення вогневих печей установок для 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. 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.

4. Згуря В.І. Удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій / Згуря В.І. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 „Пожезна безпека” – Київ, 2007. – 21 с.

5. Нуянзін О.М. Дослідження впливу конструкції вимірювальної арматури вогневих печей на адекватність результатів випробувань на вогнестійкість / Нуянзін О.М., Поздєєв С.В. // Збірник наукових праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – 2011. – № 9. – С. 99 – 105.

6. Поздєєв С.В. Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість / Поздєєв С.В., Тищенко О.М., Нуянзін О.М., Нуянзін В.М. // Збірник наукових праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля. –2011. – № 8. – С. 73 – 79.

7. Welch S., SOFIE, Simulations of Fires in Enclosures, / Welch S., Rubini P. User Guide. - Cranfield University, 1996.

8. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.

9. Осипенко В.І. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур / Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю. Навчальний посібник. Черкаси: 2012. – 202 с.

УДК 614.842

В.В. Попович, к.с.-г.н., Я.І. Підгородецький, к.т.н., І.В. Паснак, Д.В. Руденко,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ГІДРАВЛІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ РУЧНОГО ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА ІЗ АВТОНОМНИМ ЗАПАСОМ ПІНОУТВОРЮВАЧА

Наведено результати гідравлічних випробувань пожежного ручного ствола із автономним запасом піноутворювача. Встановлено, що дальність польоту суцільного струменя піни при тиску 6 кгс/см² становить 11,4 м. Час гасіння за допомогою даного ствола становить 10 с, площа гасіння 6 м². Запропонований ствол ефективно використовувати при незначних пожежах класу В, при горінні легкових автомобілів, трамваїв, тролейбусів тощо. Комплектувати ним пропонується пожежні машини із насосними установками за відсутності баків із піноутворювачем та стаціонарних пінозмішувачів.

Ключові слова: ручний пожежний ствол, піноутворювач, повітряно-механічна піна.

Постановка проблеми. В Україні проводяться численні дослідження апаратів подачі повітряно-механічної піни в осередок пожежі та шляхи підвищення ефективності гасіння пожеж легкозаймистих і горючих рідин, а також тактико-технічних характеристик та ефективності гасіння пінними струменями, згенерованими під час застосування піногенераторів різних конструкцій [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [3] наведена актуальність конструювання ствола із автономною подачею піноутворювача та проаналізовано об'єкти де він може бути застосований. Наукових праць інших авторів щодо розроблення стволів із автономною подачею піноутворювача до камери змішування ствола не виявлено.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідити гідравлічні характеристики пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача, а саме залежність дальності польоту піни від тиску води у рукавній системі. Програмою дослідження передбачалося розв'язати такі завдання:

1. Дослідити залежність дальності струменя згенерованої піни від тиску води у напірній рукавній системі.
2. Експериментально встановити витрату піни зі ствола за одиницю часу.
3. Розрахувати об'єм піни, який може бути утворений за допомогою досліджуваного пожежного ствола.
4. Зробити висновок про актуальність розроблення серійної моделі ствола із автономним запасом піноутворювача для потреб підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Виклад основного матеріалу. Запропонований пожежний ствол із автономним запасом піноутворювача [6] може входити у склад рятувального обладнання пожежних автомобілів у яких відсутній бак із піноутворювачем. Перш за все – це автомобілі АЦУ-10(53), АЦ-30(53А)106Г, АЦ-30(66)146, АЦ-40(131)137А.04, АЦ-40(43118)269 [4]. Також даним стволом можуть бути укомплектовані мотопомпи вітчизняного виробництва МП-800Б, МП-1200, МП-1600, ММ-7/100, ММ-27/100, тим самим збільшуючи свої тактичні можливості.

Запропонований пожежний ствол також може бути корисним для ліквідації пожеж на промислових підприємствах силами безпосередньо об'єкту, де можуть створюватися з числа робітників, службовців, інженерно-технічних працівників та інших громадян добровільні пожежні команди. Застосування ними такого ствола дозволить обмежити вільний розвиток пожежі класу В до прибуття основних сил пожежно-рятувальної служби.

Загальна будова запропонованого пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача зображена на рис. 1.

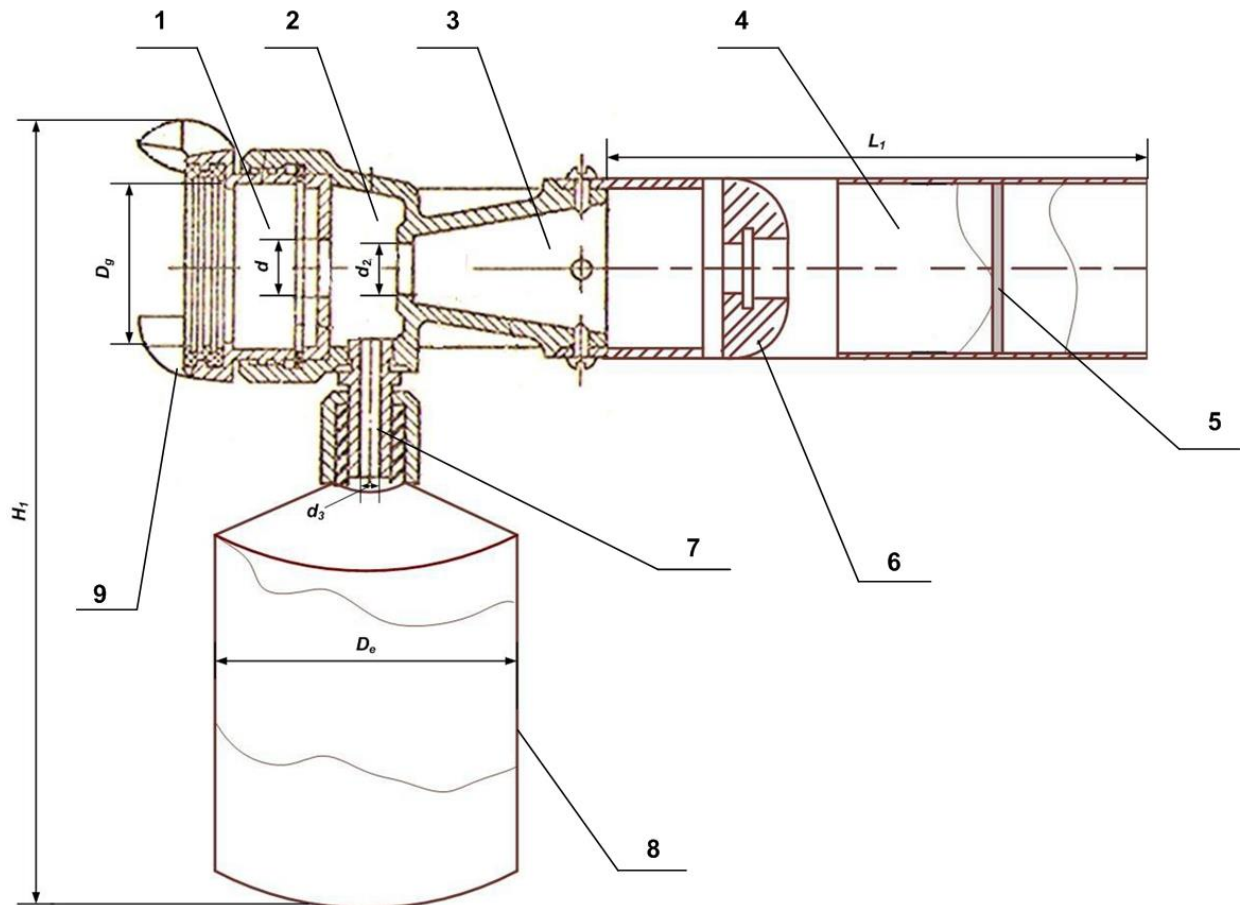


Рисунок 1 - Загальна будова пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача:

- 1 – ежекційна камера;
- 2 – камера змішування;
- 3 – конусна камера;
- 4 – піногенератор;
- 5 – комплект сіток;
- 6 – сопло;
- 7 – штуцер;
- 8 – ємність із піноутворювачем;
- 9 – з'єднувальна головка

Дослідження проводилися у травні 2012 р. на території Навчально-тренувального центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: м. Львів, вул. Зелена, 301 б. Кліматичні характеристики були наступними: температура повітря +12°C, вітер південно-західний, швидкість вітру 1 м/с, відносна вологість повітря 52%, атмосферний тиск 737 мм рт. ст.

Необхідне пожежно-технічне та інше обладнання для проведення досліду: пожежний ствол із автономним запасом піноутворювача, мотопомпа пожежна МП-800Б; робоча рукавна лінія (один не прогумований льняний рукав $\varnothing$ 66 мм); всмоктувальний рукав ($\varnothing$ 70 мм); пожежне водоймище об'ємом 1 м³; шкала довжиною 12 метрів для фіксування довжини струменя; секундомір; мірна посудина об'ємом 50 дм³; піноутворювач загального призначення «Сніжок-1» об'ємом 5 дм³.

Схему проведення досліджень довжини струменя зображено на рис. 2.

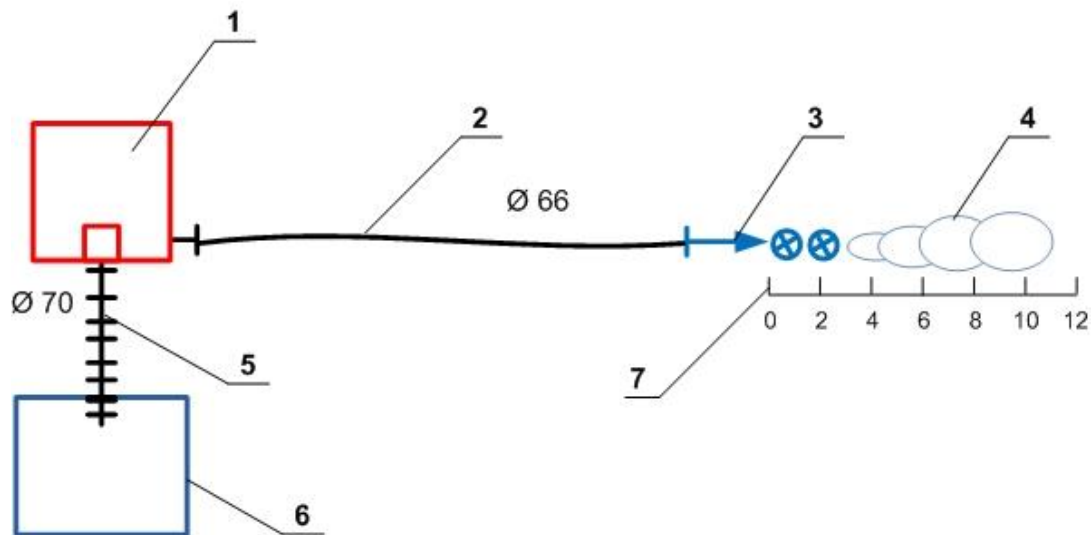


Рисунок 2 - Схема проведення гідравлічних досліджень пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача:

- 1 – мотопомпа пожежна МП-800Б;
- 2 – робоча рукавна лінія (один не прогумований льняний рукав Ø 66 мм);
- 3 – пожежний ствол із автономним запасом піноутворювача;
- 4 – утворена повітряно-механічна піна;
- 5 – всмоктувальний рукав (Ø 70 мм);
- 6 – пожежне водоймище об'ємом 1 м³;
- 7 – шкала довжиною 12 метрів для фіксування довжини струменя

На рис. 3 зображено проведення дослідів випробування ствола із автономним запасом піноутворювача.



а)



б)

Рисунок 3 - Випробування ствола із автономним запасом піноутворювача:

- а) загальний вигляд;
- б) випробування ствола

Результати дослідів наведені на рис. 4.

Математично перевірити залежність можна за допомогою розрахованої степеневі залежності:

$$L = 2,2397 \cdot P^{0,8834}, \quad (1)$$

де L – довжина суцільного струменя піни; P – тиск у рукавній напірній робочій лінії.

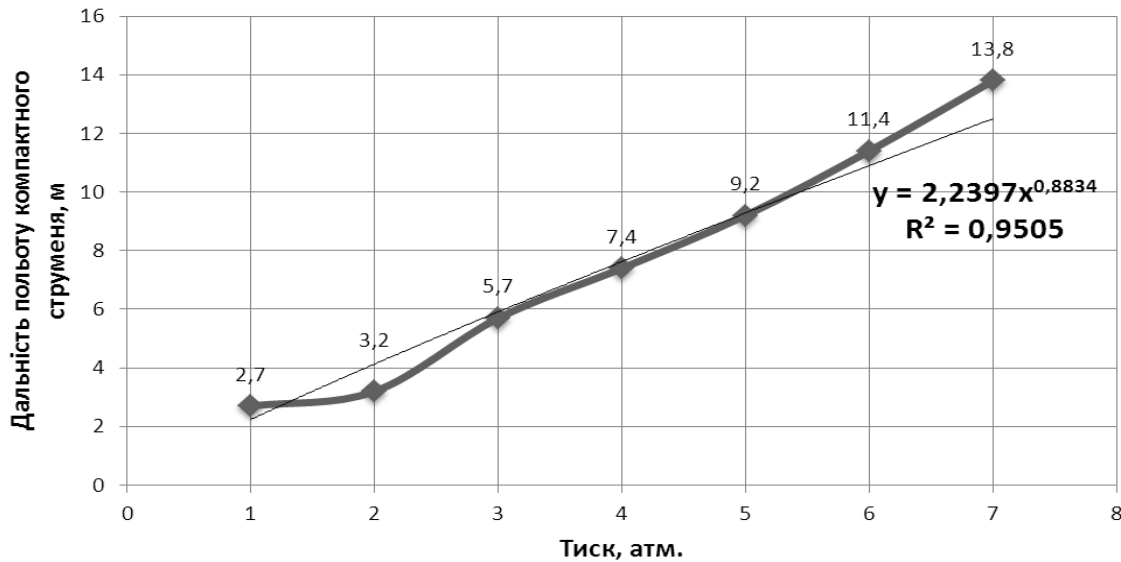


Рисунок 4 - Експериментально встановлена залежність дальності польоту піни від тиску у рукавній системі (перед стволом)

Для визначення витрати ствола із автономним запасом піноутворювача необхідно зафіксувати час, за який буде наповнено піною мірна посудина (у нашому випадку 50 дм³). Встановлено, що витрата піни досліджуваного ствола становить 60 дм³/с.

Згідно із [5] площа гасіння одним приладом подачі вогнегасного засобу становить:

$$S_{np}^z = \frac{q_{np}^p}{I}, \quad (2)$$

де, q_{np}^p – витрата вогнегасного засобу з приладу, л/с;

I – інтенсивність подачі вогнегасного засобу, дм³/(с·м²) (у нашому випадку 0,1 (дм³/(с·м²))).

Розрахунковий час гасіння пожежі у нашому випадку розраховується за умови обмеженого запасу піноутворювача (5 дм³). Розрахунок часу гасіння піною за допомогою ствола із автономним запасом піноутворювача матиме наступний вигляд:

$$\tau_p = \frac{W_{ny}}{q_{ny}}, \quad (3)$$

де, W_{ny} – об'єм піноутворювача, дм³;

q_{ny} – витрата піноутворювача з приладу, л/с (у нашому випадку $q_{ny} = 0,48$ дм³/с).

Використовуючи розрахункові формули (2), (3), (4) встановлено тактико-технічні характеристики пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача:

$$\tau_p = \frac{5}{0,48} = 10,4с, \quad (4)$$

$$S_{np}^2 = \frac{60}{0,1} = 6 \text{ м}^2. \quad (5)$$

В загальному тактико-технічні характеристики пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Тактико-технічні характеристики пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача

№ п/п	Характеристика	Показник
1.	Витрата води	7,52 дм ³ /с
2.	Витрата піноутворювача	0,48 дм ³ /с
3.	Витрата піни	60 дм ³ /с
4.	Час гасіння	10 с
5.	Площа гасіння	6 м ²
6.	Маса приладу	7 кг
7.	Об'єм піноутворювача	5 дм ³
8.	Концентрація розчину	6-8%
9.	Діаметр з'єднувальної головки	66 мм

Висновки. Отже, у результаті проведення експериментальних гідравлічних досліджень пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача встановлено, що дальність польоту суцільного струменя піни залежить від тиску води у рукавній системі. Оптимальний тиск для роботи запропонованого ствола становить 6 кгс/см². Час гасіння за допомогою даного ствола становить 10 с, площа гасіння 6 м². Запропонований ствол ефективно використовувати при незначних пожежах класу В, при горінні легкових автомобілів, трамваїв, тролейбусів тощо. Комплектувати ним пропонується пожежні машини із насосними установками за відсутності баків із піноутворювачем та стаціонарних пінозмішувачів.

Перспективи подальших досліджень. Як бачимо, застосування ручних пожежних стволів із автономним запасом піноутворювача є актуальним питанням сьогодення. В подальшому необхідно обґрунтувати раціональні параметри таких стволів, зокрема об'єм баку для піноутворювача, параметри комплекту сіток генератора тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Луц В. І. Результати натурних вогневих випробувань пінного лафетного ствола комбінованого ПЛСК-700 / В. І. Луц // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2007. – № 1(15). – С. 103-106.
2. Паснак І. В. Розрахунок гідравлічних параметрів комбінованого водопінного ствола / І. В. Паснак // Пожежна безпека – 2011: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції, 17-18 листопада 2011 р. – Харків: НУЦЗ України, 2011. – С. 188-189.
3. Попович В. В. Конструювання ручного пожежного ствола із автономним запасом піноутворювача для гасіння пожеж на потенційно небезпечних об'єктах / В. В. Попович, І. В. Паснак, О. В. Пуць // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.3. – С. 127-132.
4. Попович В. В. Пожежні автомобілі / В. В. Попович, А. Г. Ренкас [навч.-наочн. посібник]. – Львів: вид-во ЛДУБЖД, 2011. – 100 с.
5. Бут В. П. Практичний посібник з пожежної тактики / В. П. Бут, Л. Б. Куціший, Б. В. Болібрux // Львів «Сполом», 2003. – 122 с.
6. Пат. на корисну модель 71043 Україна, МПК (2006.01), А62С 31/07. Ручний пожежний ствол із автономним запасом піноутворювача / І.В. Паснак, Д.В. Руденко, В.В. Попович, О.В. Пуць. № u 2012 01967; заявл. 21.02.2012; опубл. 25.06.2012, Бюл. №12. – 4 с.

УДК 614.841.345

В. Л. Потеха, д.т.н., проф., А. В. Потеха,
Гродненский государственный аграрный университет,
Г. Н. Здор, д.т.н., проф., Белорусский национальный технический университет (г. Минск)

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию, испытанию и практическому использованию роботизированных систем пожаротушения.

Ключевые слова: роботизированные системы пожаротушения, теория создания пожарных роботов, конструкции и размещение пожарных роботов, реализованные проекты.

Постановка проблемы. Проблема пожарной безопасности сегодня является актуальной для всех без исключения стран мира. В начале XXI века в мире ежегодно регистрируют 6,5...7,5 млн. пожаров, при которых погибают около 70...75 тыс. человек и травмируется примерно 1 млн. человек, а материальный ущерб составляет сотни миллионов евро [1, с. 8].

По данным NFPA в 2011 году в США зарегистрировано 1.389.500 пожаров, в результате которых погибло 3005 мирных жителей, 17.500 получили ранения. Экономический ущерб составил 11,7 млрд. долларов [2].

По предварительным данным только прямой ущерб экономике Российской Федерации от летних пожаров 2010 г. превысил 15 млрд. долларов, что составляет около 1 % ВВП страны. С учетом косвенных и отложенных потерь ущерб может составить от 2 до 3 % ВВП и более. Столь масштабных потерь российская экономика не испытывала давно.

В результате пожара, произошедшего в декабре 2009 года в ночном клубе (г. Пермь, Россия), погибло 156 человек, более 100 человек получили ранения разной степени тяжести. 11 мая 2010 года на территории завода вычислительной техники (г. Минск, Беларусь) произошел сильный пожар, в результате которого предприятию нанесен ущерб в размере более 700 млн. рублей. Четыре работника МЧС, занимавшихся тушением пожара, погибли, четыре человека госпитализированы.

Анализ последних достижений и публикаций. Роботизированные стационарные системы пожаротушения (РССП) являются уникальной инновационной технологией, интенсивное развитие которой по времени часто связывают с одним из главных трагических событий 20-го века – Чернобыльской катастрофой.

Широкое использование РССП для защиты объектов экономики, культуры и социальной сферы сегодня во многом сдерживается по причинам несовершенства их конструкции, недостатком рекомендаций по их оптимальному использованию на объектах. Также практически отсутствуют научно обоснованные критерии, позволяющие прогнозировать наиболее перспективные направления развития, как самих систем, так и их отдельных элементов.

Выделение нерешённых ранее вопросов общей проблемы, которым посвящается статья. В Республике Беларусь на протяжении последних семи лет проводятся систематические исследования РССП и их элементов. За прошедшее время реализован 1 проект и ещё один находится в завершающей стадии своей реализации.

Настоящая статья обобщает результаты проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по роботизированным системам пожаротушения, проведенным в Республике Беларусь в 2005...2013 гг.

Изложение основного материала исследования и обсуждение полученных результатов.

Термины и определения. В работе [3] нами с позиций системного анализа впервые представлены некоторые определения терминов пожарной робототехники. Использование системного анализа позволило определить иерархию систем, а также определить основные функциональные системы пожарного робота (ПР).

Основанием для предложения терминов и определений послужила разработка структурно-функциональной модели ПР, представленной на рис. 1 [3]. Как следует из рис.1, совершенствование конструкций ПР должно предусматривать комплекс действий над его составными частями (элементами) и приводить к получению современного инновационного изделия.

Роботизированный пожарный комплекс – пожарный робот (РПК – ПР) – пожарный комплекс (робот), являющийся частью роботизированной стационарной (мобильной) системы пожаротушения и состоящий из определенного числа модулей (агрегатов) и дополнительных систем, обеспечивающих всю технологию пожаротушения на каком-либо объекте.

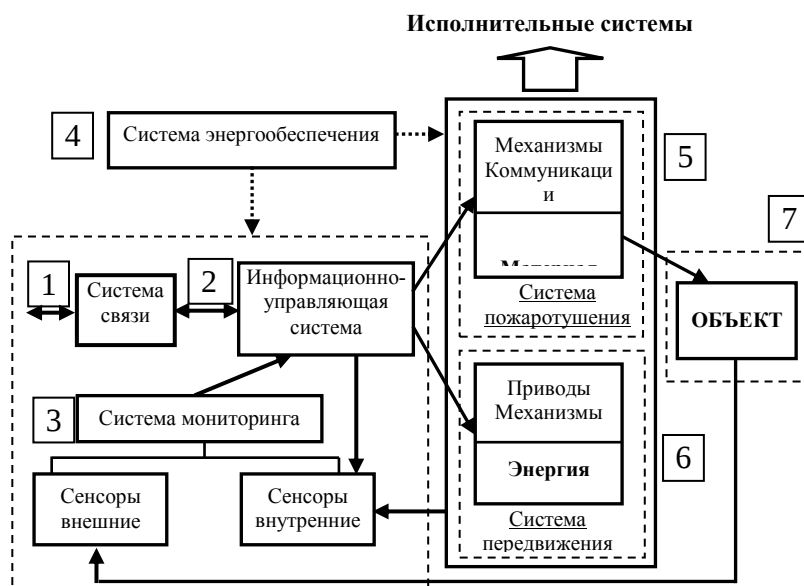


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель ПР: 1 – система связи; 2 – информационно-управляющая система; 3 – система мониторинга; 4 – система энергообеспечения; 5 – система пожаротушения; 6 – система передвижения; 7 – объект возгорания.

Основы теории создания пожарных роботов.

Ранее нами была обоснована возможность использования критерия удельной информационной ёмкости продукта (УИП – наукоёмкости) для производства разнообразных сложных в техническом отношении инновационных изделий [4]. В последующем была предложена модель оценки УИП сложного технического продукта, в которой значение критерия рассчитывают с учетом данных о количестве элементов системы (n), образующих продукт; количества стадий (z) жизненного цикла каждого элемента; массы-нетто (m) элементов, образующих продукт, и функции изменения издержек $f_{ij}(t)$ элементов продукта на стадиях их жизненного цикла по формуле:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^z f_{ij}(t)}{m_i}.$$

Функция $f_{ij}(t)$ описывает характер изменения издержек элементов продукта в пределах конкретных этапов их жизненных циклов.

Предложенная модель была использована для разработки инновационных конструкций роботизированных систем пожаротушения (РСП) [4-6]. Модель достаточно хорошо зарекомендовала себя в разработке пожарных роботов, но большое количество факторов, определяющих конструкцию РСП, не позволяло эффективно использовать её на практике.

Для решения задачи уменьшения числа факторов, анализируемых и учитываемых при разработке новых РСП, представляется перспективным использовать технологии искусственного интеллекта [4].

Новизна предлагаемого подхода к конструированию ПР заключается в поэтапном и совместном использовании технологий искусственного интеллекта и УИП (рис. 2).

На первом этапе путем использования генетических алгоритмов реализуется статистический «макроподход» к созданию конструкции ПР на уровне физических систем (механические, электрические, оптические и др.), обеспечивающих комплектацию изделия для выполнения возложенных на него функций.

На втором этапе осуществляется дальнейшая разработка выбранных систем на «микроуровне», т. е. системы оптимизируются по УИП для обеспечения максимально возможного инновационного уровня разработки.



Рисунок 2 – Схема подхода к разработке инновационных роботизированных систем пожаротушения.

Предложенная методология, благодаря использованию генетических алгоритмов и критерия наукоёмкости (УИП), может обеспечить создание не только современных РСП, но и составляющих их компонентов. Для этого РСП должна рассматриваться как сложная система с её последующим анализом на каждом уровне структурной иерархии.

Новые конструкции пожарных роботов и их элементов.

Предложенные основы теории создания ПР использованы для разработки их новых конструкций [6-7], в частности устройств порошкового пожаротушения. Разработанные конструкции отличаются высокой степенью однородности порошкового огнетушащего материала и повышенной экономичностью (рис. 3). Полученный результат достигается тем, что перевод порошкового огнетушащего материала в псевдооживленное состояние осуществляют путем одновременного воздействия на него направленного газообразного потока и вибрационных колебаний [8-9].

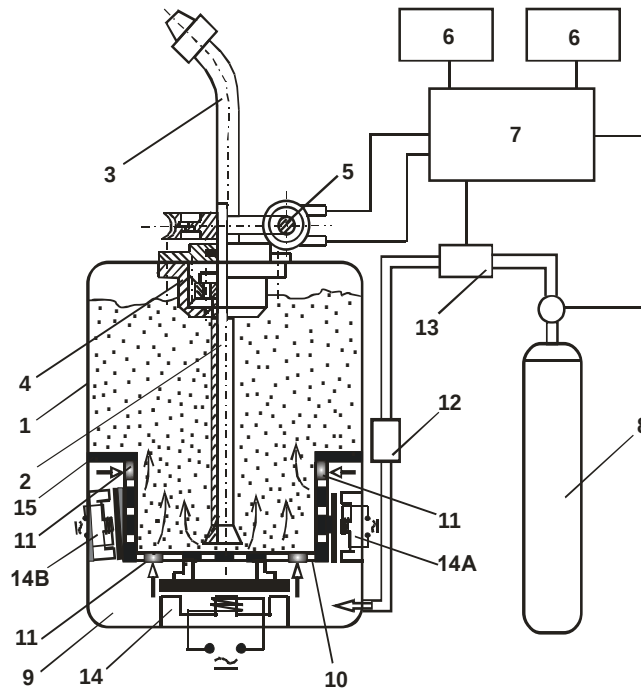


Рисунок 3 – Схема пожарного робота с вибровихревым псевдооживлением порошкового огнетушащего материала: 1 – резервуар; 2 – трубка сифонная; 3 – патрубок выходной; 4 – ствол лафетный; 5 – привод; 6 – датчики; 7 – система координации действий; 8 – источник сжатого газа; 9 – камера напорная; 10 – перегородка воздухопроницаемая; 11 – клапан запорный; 12 – система осушительная; 13 – система фильтрационная; 14 – вибратор электромагнитный; 15 – элементы упругие.

Кроме новых конструкций пожарных роботов предложено также устройство управления ими [7], отличающееся тем, что принцип его работы предусматривает использование элементов нейросетевых технологий.

Испытания пожарных роботов и их элементов.

Испытания лафетных стволов ПР производили с целью проверки соответствия паспортных характеристик устройств фактическим, присущим конкретным моделям лафетных стволов ПР. Это позволило обоснованно использовать оборудование при разработке проектов РСП. Кроме того, были предложены оригинальные конструкции испытательного оборудования [10-12], обеспечивающего получение новых технико-экономических характеристик лафетных стволов, например, оценку степени силового воздействия струи огнетушащего вещества на элементы инфраструктуры и людей, оказавшихся в очаге пожара. Программа испытания лафетных стволов предусматривала также экспериментально-теоретическое определение траектории струи огнетушащего вещества при переменных значениях рабочего давления в магистрали, угла наклона к горизонту и ряда других параметров.

Размещение пожарных роботов на защищаемых объектах.

Для решения поставленной задачи ранее разработанное программное обеспечение [13-15] было в значительной степени усовершенствовано, в первую очередь, в части оптимизации расчётного алгоритма. В версии ПО v. 3.1 предусмотрена возможность задания высоты объекта и элементов, размещаемых на нем – решение пространственной задачи. Существенно повышена точность определения областей плана объекта; появилась удобная технологическая новинка – возможность «перетаскивания» роботов и элементов, размещенных на объекте, при помощи «мыши».

В расчетном алгоритме струя огнетушащего вещества описывается зависимостью, близкой к параболической, определённой теоретически и экспериментально в процессе

испытаний ПР. Еще одной новинкой ПО явилось введение в расчетный алгоритм теста на «столкновение» (столкновение струи воды с элементом), используемого для повышения точности вычислений. Физическая работа модели во время тестирования подтверждается появлением на плане объекта зон недосягаемости (теней), возникающих на стороне элемента, противоположной той, на которой расположен ПР. В расчетах на данном этапе разработки ПО не учитывается возможное разбрызгивание огнетушащего вещества и влияние сопротивления окружающей среды.

Задача оптимального размещения ПР на реальном защищаемом объекте является объемной, т. е. должна реализовываться в 3D-пространстве. При этом создание и исследование пространственной модели должны завершаться выдачей конкретных координат установки ПР на объекте.

Переход к пространственной модели потребовал и принципиально новых технологических подходов при разработке ПО и его последующем использовании. В новой версии программы появилась возможность осуществлять анализ эффективности пожаротушения по высоте объекта. Это представляется крайне важным, так как позволяет учитывать наиболее пожароопасные места объекта и расположенных на нем элементов. Это, в свою очередь, обеспечивает более эффективное решение боевой задачи по ликвидации возгорания. Для реализации пространственной задачи в главном меню появилась кнопка «3D-вид».

Технологические возможности разработанного программного обеспечения рассмотрим на примере определения факторов и условий установки ПР на защищаемом объекте – цехе автотранспортного предприятия с размерами 40×18×8 м. В расчетах использовались габариты реальных автотранспортных средств – автобусов МАЗ моделей 152 и 103 (габариты 12×2,5×3,5 м и 12×2,5×2,8 м, а также микроавтобусов Mercedes-Benz Sprinter (5,2×1,9×2,1 м) [16].

На рис. 4 представлено окно программы с планом цеха предприятия и находящимися в нем автотранспортными средствами (обозначены на плане белыми прямоугольниками). Использование автоматической расстановки ПР с заданными техническими параметрами, приведенными в соответствующих местах окна программы, показало, что в качестве исходного варианта для защиты объекта можно использовать систему с 6 автоматическими устройствами пожаротушения, размещаемыми по периметру помещения и установленными на высоте 6 м. При этом, площадь, контролируемая двумя роботами и более, составила 85,47 % от общей площади цеха, одним ПР – 12,54 %; неконтролируемая площадь – 1,98 %.

Как уже отмечалось нами ранее [13-15], оптимальная расстановка ПР на объекте должна осуществляться с обязательным учетом экономичности проекта в целом. Обеспечить экономичность проекта можно, например, путем уменьшения числа устанавливаемых на нем ПР. Однако при этом обязательным является соблюдение требований пожарной безопасности, предъявляемых к объекту или размещаемым на нем элементам (машинам, технологическим линиям, местам складирования материалов, постройкам и др.). Для реализации концепции экономичности в режиме ручной расстановки осуществляли перемещение двух роботов на плане цеха: одного по правой, а второго – по левой стороне помещения (новые координаты роботов 1; 12 и 39; 6 м). Произведенные перемещения позволили увеличить размер площадей, контролируемых двумя и более роботами до 94,05 % (было 85,47 %). Площадь, контролируемая одним ПР уменьшилась до 5,94 % (12,54 %). Одновременно перемещение позволило полностью избавиться от неконтролируемых площадей (1,98 %). Последующая оптимизация экономичности проекта производилась путем варьирования числа ПР и их технико-экономических характеристик при заданном уровне требований к пожарной безопасности объекта. Для этого в ручном режиме были удалены два ПР с координатами 20; 1 и 20; 17 м (рис. 4), располагавшиеся в середине больших сторон цеха. После удаления двух роботов степень защищенности объекта несколько изменилась: двумя и более роботами контролируется 81,02 % всей площади цеха, одним роботом –

18,97 %, незащищенных площадей нет. Важным является также то, что достичь такого результата удалось путем использования ПР с радиусом действия 35 м.

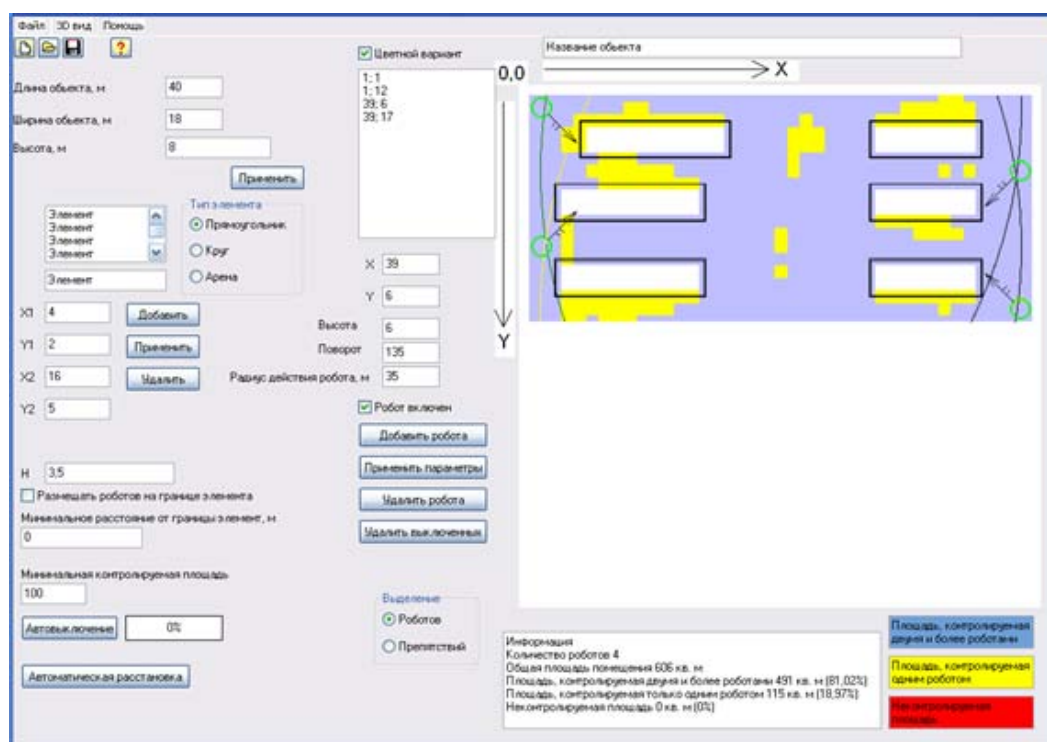


Рисунок 4 – Окно формы программы (трехэлементный объект, радиус действия РПК – 50 м).

Разработанное ПО v. 3.1 позволяет оценить эффективность пожаротушения по высоте защищаемого объекта. При этом переход от 2D к 3D-моделированию осуществляется путем использования опции «3D-вид» в главном меню программы и заданием для расчета требуемой высоты объекта (Н, поле находится в середине левой стороны окна программы). Результаты таких расчетов графически отображаются на плане объекта, а также в информационном окне программы (нижняя правая часть окна), и наглядно качественно и количественно демонстрируют степень противопожарной защищенности элементов, располагаемых на объекте, и объекта в целом.

Расчеты показывают, что высота установки ПР оказывает существенное влияние на степень противопожарной защищенности объекта (рис. 4, 5). Кроме высоты установки ПР на защищенность объекта влияет также высота самих автотранспортных средств (элементов), располагаемых на объекте.

Так, для автобусов МАЗ-152, отмечена нелинейная зависимость степени защищенности объекта от высоты установки ПР. Характерно, что близкие к максимальным значениям показатели защищенности объекта двумя ПР имеют место в случае, когда высота их установки превышает высоту самих автотранспортных средств, т. е. начиная примерно с 4 метров. Для данного типа автотранспортных средств оптимальной является установка ПР на высоте 6 м. При этом наибольшая часть площади цеха защищена двумя ПР, незначительная часть – одним ПР при полном отсутствии незащищенных площадей.

Уменьшение высоты автотранспортных средств (высота микроавтобусов составляла 2,1 м) существенно изменило соотношение между площадями объекта, защищенными одним и двумя ПР, а также полностью незащищенными от пожара (рис. 5).

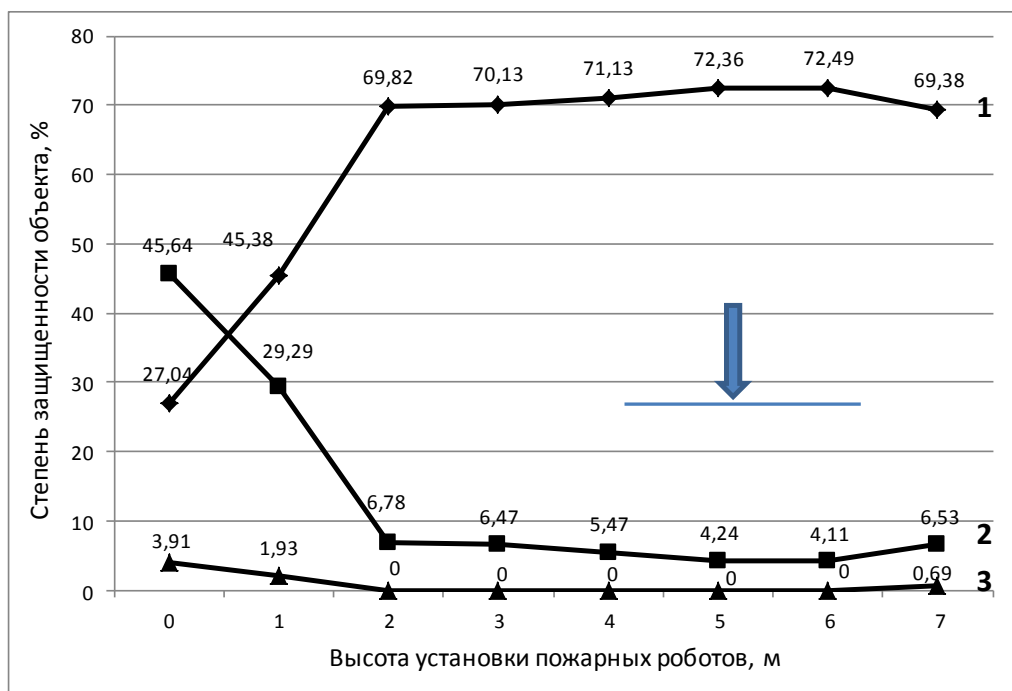


Рисунок 5 – Влияние высоты установки пожарных роботов на степень защищенности объекта (1 и 2 – величины площадей объекта, защищенных двумя и одним пожарным роботом, соответственно; 3 – величина незащищённой площади объекта; защищаемый объект – микроавтобусы; абсолютные значения степени защищенности объекта приведены без учета площадей элементов на плане объекта).

Следует отметить, что в случае микроавтобусов заметно расширилась зона оптимальной установки ПР в цехе (показана стрелкой с прямой, параллельной горизонтальной оси на диаграмме). Практически предоставляется возможным устанавливать ПР на высотах от 2 до 7 метров. Это существенно расширяет технологические возможности проектировщиков, как при создании новых предприятий с системами автоматического пожаротушения, так и при реконструкции уже действующих цехов и объектов. С учетом наибольших значений площадей цеха, защищенных двумя ПР и соблюдения условия отсутствия незащищенных площадей, для данного объекта представляется наиболее выгодным установка ПР на высотах от 4 до 6 метров.

В результате проведенной оптимизации удалось не только сократить число роботов, размещаемых на объекте, но и получить дополнительную экономию за счёт снижения стоимости использованных лафетных стволов и других элементов роботизированных систем пожаротушения, например, противопожарных резервуаров, водных и электрических коммуникаций и др.

Обозначим некоторые подходы к оценке экономической эффективности использования пожарных роботов в системах автоматического пожаротушения. Ранее мы уже отмечали, что методической основой такой оценки могут быть системный анализ и жизненный цикл продукта [17]. Нам также представляется важным выделить прямую и косвенную экономические составляющие. К прямой экономии, например, могут относиться затраты на приобретение оборудования (ПР, коммуникационные магистрали, элементы сенсорных систем и др.) и стадию проектирования системы пожаротушения. Косвенная экономия реализуется в сниженных издержках на монтаж составляющих элементов системы, например, коммуникаций, их обслуживания и тестирования в процессе эксплуатации, необходимости иметь в наличии дополнительные ёмкости для огнетушащего вещества и др.

3D-режим моделирования был использован для оптимизации расстановки ПР в ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск» (рис. 6).

Реализованные проекты.

В результате комплекса проведенных работ была спроектирована и создана роботизированная система пожаротушения для дворца легкой атлетики в г. Гомель (рис. 7). Следует отметить, что РССП была единственным вариантом противопожарной защиты столь уникального спортивного сооружения. Традиционные системы пожаротушения, например, спринклерные, не могли быть использованы по причине малой несущей способности конструкций деревянных клееных перекрытий.



Рисунок 7 – Внешний вид арены дворца лёгкой атлетики в г. Гомель с установленными пожарными роботами.

В настоящее время завершаются пусконаладочные работы на втором по счёту объекте, противопожарная защита которого обеспечена РССП, – ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск».

Выводы.

- Разработаны основы теории создания пожарных роботов, включая последовательное использование методов генетических алгоритмов и оценки удельного информационного показателя для макро- и микрооптимизации создаваемых конструкций. Предложенная методология позволяет не только создавать, но и предлагать перспективные направления развития роботизированных систем пожаротушения и их элементов.

- С использованием предложенных основ теории разработаны новые конструкции пожарных роботов и их элементов.

- Проведены комплексные натурные испытания роботизированных систем пожаротушения.

- Разработано оригинальное программное обеспечение, представляющее возможность оптимальной расстановки РПК на защищаемом объекте. Эффективность разработанного программного обеспечения подтверждена сравнительными расчётами, показавшими, что предложенный алгоритм позволяет до 18% экономить количество пожарных роботов, устанавливаемых на объекте, при полном соблюдении требований к его пожарной безопасности.

- Результаты исследований использованы при создании роботизированной стационарной системы пожаротушения во дворце легкой атлетики (г. Гомель) и ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск».

Перспективы дальнейших исследований.

Перспективное развитие проекта предусматривает комплекс работ в рамках направлений, обозначенных в настоящей статье.

Количество объектов, защищаемых роботизированными системами пожаротушения, неуклонно растёт практически во всех странах. РССП, безусловно, имеют большие

перспективы. В этом нас убеждает быстро меняющийся вокруг нас мир, в котором вопросы безопасности и человеческие жизни начинают становиться реальными приоритетами для всех.

Информационная поддержка проекта осуществляется сайтом www.rffs.org.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. – М.: ООО ИПЦ Маска, 2007. – 142 с.
2. The U.S. fire problem. Режим доступа: <http://www.nfpa.org/categoryList.asp?categoryID=953&URL=Research/Fire%20statistics/The%20U.S.%20fire%20problem>. Дата доступа 04.04.2011.
3. Потеха А. В., Потеха В. Л. Пожарные роботы. Основные термины и определения // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007, т. 2, № 2. – С. 60-68.
4. Здор, Г. Н. Инновационный подход к созданию роботизированных систем пожаротушения / Г. Н. Здор, А. В. Потеха // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. / редкол.; Хрусталёв Б. М. (гл. ред.) [и др.] Минск: Бизнесофсет, 2013. – С. 19-20.
5. Смирнова, В. А. Анализ удельной информационной ёмкости продукции предприятий Гомельской области / В. А. Смирнова, А. В. Потеха // Социально-экономические основы управления экономическим потенциалом региона: материалы Международной научно-практической конференции (16-17 октября 2003 г., г. Гомель). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2003. – С. 208-211.
6. Патент 5350 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62 С 35/00. Роботизированный пожарный комплекс / Потеха А. В. и др.; заявл. 07.07.2008; опубл. 30. 06.2009. Патент 4742 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62С 37/00.
7. Устройство управления роботизированным пожарным комплексом / Потеха А. В. и др.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»; заявл. 26.02.2008; опубл. 30. 10.2008.
8. Потеха, А. В. Повышение эффективности автоматизированных систем порошкового пожаротушения путем использования вибровихревых технологий // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007, т. 2, № 1. – С. 41-45.
9. Потеха, А. В. Повышение эффективности роботизированных пожарных комплексов путем использования вибровихревых технологий // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008, № 1 (23). – С. 87-95.
10. Потеха, А. В. Конструкционное обеспечение испытаний лафетных стволов пожарных роботов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012, № 2 (7). – С. 127-133.
11. Патент 8308 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62С 35/50. Опора роботизированного стационарного пожарного комплекса / Потеха А. В., Леванович А. В.; заявители и патентообладатели Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» и Учреждение «Гродненское областное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»; заявл. 07.10.2011; зарегистр. 16.03.2012.
12. Патент 8309 U Республика Беларусь, МПК⁷ G 01L 19/10. Устройство для испытаний лафетных стволов пожарного робота / Потеха А. В., Леванович А. В., Потеха В. Л.; заявители и патентообладатели Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» и Учреждение «Гродненское областное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»; заявл. 10.10.2011; зарегистр. 16.03.2012.
13. Потеха А. В. Программное обеспечение для решения задачи оптимального размещения роботизированных пожарных комплексов на одноуровневых объектах // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010, № 2 (28). – С. 109-117.
14. Потеха, А. В. Размещение роботизированных пожарных комплексов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011, № 8. – С. 80-87.
15. Потеха, А. В. Оптимизация размещения пожарных роботов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011, № 1 (29). – С. 89-99.
16. Потеха А. В. 3D-моделирование процесса расстановки пожарных роботов в цехах по ремонту и обслуживанию автомобилей / А. В. Потеха, Н. Л. Мышковец, И. А. Пахомова, А. С. Синкевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011, № 2 (6). – С. 21-27.

УДК 624.014

I.B. Рудешко, Ю.А. Отрош, В.В. Золотарьов,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОГНЕСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

В роботі розглянуто і проведено порівняльний аналіз хімічного складу і механічних властивостей нових вогнестійких і звичайних будівельних сталей. Представлені особливості хімічного складу і механічних властивостей вогнестійкої сталі японської фірми Kawasaki Steel.

Ключові слова: вогнестійка сталь, вогнестійкість, хімічний склад, мікролегування, механічні властивості.

Постановка проблеми. В наш час в усіх розвинутих країнах велика увага приділяється дослідженням вогнестійкості будівельних конструкцій, розробці нових матеріалів, що мають підвищену вогнестійкість, а також нових методів і матеріалів для захисту конструкцій від пожежі. Будівельні норми України, Росії, ряду європейських держав, США і Японії передбачають захист сталевих конструкцій за допомогою вогнестійких покриттів. Але використання захисних фарб, обмазок і інших покриттів дуже часто супроводжується погіршенням санітарно-гігієнічних норм робочих місць, додатковими трудовими і матеріальними затратами, іноді, значним збільшенням ваги конструкції, а також її вартості.

Зменшити, а іноді, і усунути вказані негативні явища, дозволяє використання сталей із нормованими на достатньо високому рівні характеристиками міцності, за умовами короткочасної дії нагрівання при пожежі в інтервалі температур 500-700°C, тобто сталей із високою вогнестійкістю. Особливість вимог, що пред'являються до вогнестійких сталей, полягає в тому, що вони мають забезпечити працездатність конструкції, як при нормальних умовах експлуатації (в тому числі і при низьких температурах), так і в умовах короткочасної дії високих температур під час пожежі. Тому, вогнестійкі сталі повинні мати повний комплекс механічних і технологічних властивостей, характерних будівельним сталям.

Аналіз останніх досліджень. Розробкою вогнестійкої сталі займалися багато країн світу. Найбільших досягнень в цьому питанні було досягнуто Японією, Англією, США, Росією. Японська фірма Kawasaki Steel, що розробила вогнестійку сталь (KSFR) із збільшеною міцністю при підвищених температурах, успішно її застосувала під час будівництва фабрики по виробництву і обробці пакувальних матеріалів. Використання цієї сталі дозволило повністю відмовитись від захисного шару металевих конструкцій у пакувальному цеху і суттєво зменшити його товщину в адміністративному корпусі.

У таблиці 1 представлені хімічні склади сталі KSFR [1], а у таблиці 2 властивості KSFR сталей при кімнатній температурі.

Таблиця 1 – Хімічні склади сталі KSFR

№ п/п	Марка сталі	Товщина, мм	C	Si	Mn	P	S	Ce
1.	SM400B (FR)	16	0,09	0,30	0,81	0,005	0,003	0,35
2.	SM400B (FR)	40	0,09	0,30	0,81	0,005	0,003	0,35
3.	SM490B (FR)	16	0,10	0,26	0,78	0,006	0,003	0,43
4.	SM490B (FR)	60	0,90	0,25	0,83	0,005	0,003	0,43

Таблиця 2 – Механічні властивості KSFR сталей при нормальній температурі

Марка сталі	Товщина, мм	Межа текучості, МПа	Межа міцності, МПа	Відносне видовження, %
SM400B (FR)	16	275	454	34
		269	455	33
	40	304	429	38
		307	432	39
SM490B (FR)	16	410	551	24
		377	558	22
	60	336	492	39
		342	491	37

В таблиці 3 представлені хімічні склади вогнестійких сталей (FR) і звичайних [2].

Таблиця 3 – Хімічний склад сталі у %

№ п/п	Марка сталі	Товщина, мм	C	Si	Mn	P	S	Ce
1.	SM400-FR	20	0,19	0,30	0,85	0,013	0,002	0,34
2.	SM490-FR	20	0,10	0,30	1,00	0,011	0,002	0,42
3.	SM400	20	0,16	0,12	0,55	0,014	0,004	0,26
4.	SM490	20	0,17	0,40	1,33	0,008	0,004	0,41

Випробування зразків при температурі 600°C показали наступні результати (SM490-FR і SM490, відповідно): умовна межа текучості $\sigma_{0,2}$ 224 та 122 МПа, тимчасовий опір 363 та 178 МПа. Сталь SM490-FR на відміну від сталі SM490 зберігає високе значення модуля пружності до 700°C, деформація повзучості під навантаженням 196 МПа при 600°C не перевищує 1 %. Таким чином, на підставі вище приведених результатів механічних випробувань встановлено, що сталь SM490-FR при 600°C зберігає більше 2/3 міцності, що визначена при кімнатній температурі.

Один з прикладів використання вогнестійкої сталі – будівля City Park Plaza Building [3], що являється найбільшою в Японії стоянкою для автомобілів і нараховує 17 поверхів з розташуванням 1800 машин. Розрахунки вказують на те, що каркаси цієї будівлі, що виготовлені з вогнестійкої сталі, можуть експлуатуватись без вогнезахисного покриття.

Інший приклад використання вогнестійкої сталі – торговельний центр Nagasakiya. Покрівлю атриуму в цьому центрі виконано із вигнутих легких сталевих каркасів і закінчено алюмінієвими панелями. Будівля має магазини у підвальному приміщенні на першому і другому поверхах, а також паркувальні місця на третьому поверсі та даху. Конструкцію даху атриуму спроектовано таким чином, щоб витримати температурний вплив від згорання великої кількості товарів і матеріалів, що знаходяться у підземному поверсі, а також у разі пожежі у торговельних залах на першому і другому поверхах. Проведені випробування показали, що температура сталі в атриумі покрівлі не перевищуватиме 600°C, що, дозволяє використовувати сталеву конструкцію без захисного покриття.

Постановка завдання та його вирішення. Особливість вимог, що пред'являються до вогнестійких сталей, полягає в тому, що вони мають забезпечити працездатність конструкції, як при нормальних умовах експлуатації (в тому числі і при низьких температурах), так і в умовах короткочасної дії високих температур під час пожежі. Тому, вогнестійкі сталі повинні мати повний комплекс механічних і технологічних властивостей, характерних будівельним сталям, а також нормовані характеристики міцності і пластичності, що відповідають умовам нормальної експлуатації (+20°C), ударну в'язкість, що визначена при низьких температурах, достатню технологічну пластичність, гарантовану зварювальність.

Спеціально проведені лабораторні дослідження дозволили встановити основні вимоги щодо хімічного складу і технологічної схеми виробництва прокату із вогнестійкої сталі [4,5]. Сталь повинна мати низький вміст вуглецю ($\leq 0,1\%$), щоб знизити її зміцнення при підвищених температурах. Основу легування сталі складає сполучення Nb-Mo.

Крім того, сталь мікролегують ванадієм, що сприяє підвищенню вогнестійкості, за рахунок виділення дисперсних частинок карбонітридів при 570-620°C.

Слід обмежити вміст марганцю ($\leq 0,1\%$), який знижує високо температурну міцність прокату [6].

Режими термічної і термомеханічної обробки мають забезпечувати формування у феритній матриці розвитку структури, що сприяє збереженню міцності при нагріванні. За кордоном такі сталі поставляються після термомеханічної прокатки [7]. На вітчизняних металургійних заводах подібне обладнання відсутнє. Тому, в умовах вітчизняних можливостей, випробування вогнестійких сталей можливо проводити безпосередньо після гарячої прокатки за звичайними режимами, або після термічного поліпшення, тому що ці обробки сприяють формуванню потрібної структури у сталях.

На підставі результатів випробувань [10], для виробництва прокату, завтовшки 8-50мм були розроблені ТУ 14-1-5399-2000 «Прокат листовий з підвищеною вогнестійкістю для сталевих конструкцій».

До ТУ увійшли дві сталі – звичайної міцності 06БФ і підвищеної міцності 06МБФ.

Вимоги щодо хімічного складу і властивостей цих сталей приведені у таблицях 4, 5 та 6.

Таблиця 4 – Хімічний склад (%) вогнестійких сталей за ТУ 14-1-5399-2000

сталь	Клас міцності	C	Mn	Si	S, ≤	P, ≤	V	Mo	Nb	Cr	Ni
06БФ	C255	0,07-0,09	0,6-0,8	0,15-0,35	0,01	0,02	0,05-0,08	-	0,02-0,04	0,1-0,3	0,1-0,3
06МБФ	C345	0,08-0,10	0,6-0,9	0,15-0,35	0,01	0,02	0,06-0,09	0,08-0,20	0,02-0,04	0,5-0,8	0,1-0,3

Примітка: N $\leq 0,012\%$; Al=0,02-0,06%; T 0,015-0,035%; Cu $\leq 0,2\%$.

Таблиця 5 – Вимоги щодо механічних властивостей на розтяг вогнестійких сталей за ТУ 14-1-5399-2000

Сталь	Клас міцності	Товщина прокату, мм	Механічні властивості				
			При +20°C			При 600°	
			σ_B	σ_T	σ_5	σ_B^{600}	σ_T^{600}
			Н/мм ²			%	
06БФ	C225	8-50	380-500	255	22	180-300	135
06МБФ	C345	8-50	490-670	345	21	240-420	200

Таблиця 6. Ударна в'язкість вогнестійких сталей за ТУ 14-1-5399-2000

Марка сталі	Категорія	Товщина листа, мм	Ударна в'язкість, Дж/см ² при температурі, °C				
			KCU			KCV	
			-40	-70	+20	-20	-40
06БФ	C255	10-40	34	-	34	-	-
06МБФ	C345	8-10	39	34	39	34	29

Згідно міжнародної практики характеристики міцності вогнестійких сталей при 600°C мають складати від 1/2 до 2/3 значень, що отримані при кімнатній температурі.

Згідно ТУ 14-1-5399-2000 для сталі C255 це відношення складає 0,5, для сталі C355 – 0,6.

Як зазначалось вище, вогнестійкі сталі мають бути холодостійкими і гарно зварюватися, мати високі гарантії щодо ударної в'язкості.

Промислові партії вогнестійких сталей були виготовлені на ООО «Уральская сталь» із участю ЦНИИСК ім. Кучеренко [10]. Були виплавлені чотири плавки наступного хімічного складу (таблиця 7):

Таблиця 7 – Хімічний склад, ваг.%, промислових плавок вогнестійких сталей

№ п/п	Сталь	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nb	V	N
1	06БФ	0,04	0,34	0,66	0,010	0,004	0,14	0,11	0,15	-	0,024	0,019	0,04	0,06	0,010
2		0,07	0,22	0,51	0,008	0,005	0,11	0,10	0,11	-	0,034	0,024	0,03	0,05	0,008
3	06МБФ	0,09	0,32	0,63	0,007	0,004	0,76	0,20	0,16	0,08	0,032	0,026	0,02	0,06	0,010
4		0,10	0,33	0,79	0,008	0,003	0,66	0,10	0,13	0,12	0,041	0,023	0,02	0,06	0,008

Особливість хімічного складу плавок при $C \leq 0,10\%$: низький вміст шкідливих домішок $S \leq 0,005\%$, $P \leq 0,010\%$, що являється оптимальним для складу вищезазначених сталей. Позитивно на властивості цих сталей впливає наявність в хімічному складі хрому, нікелю і міді, як наслідок використання під час виплавки природно-легованих чавунів.

Під час вибору видів прокату і марок сталі для проведення випробувань, до уваги бралась можливість порівняння нових сталей зі стандартними, що широко використовуються у будівництві в наш час [8]. На підставі вищезазначеного, для вивчення вогнестійкості прокату в якості матеріалу досліджень були обрані сталі, що відрізняються за мікроструктурою і належать до різних класів міцності:

- гарячекатаний прокат товщиною 8-20мм звичайної міцності зі сталі ВСт3сп (С255);
- прокат товщиною 8-20мм зі сталі підвищеної міцності 09Г2С (С345);
- гарячекатаний прокат із нової сталі товщиною 8-20мм марки 06БФ (С255);
- термічно зміцнений прокат товщиною 8-40мм зі сталі марки 06МБФ (С345).

Таким чином, поряд із новими вогнестійкими сталями марок 06БФ і 06МБФ, для порівняння досліджувались найбільш розповсюджені у практиці будівництва маловуглецева сталь ВСт3сп і низьколегована сталь 09Г2С.

Механічні властивості вогнестійких гарячекатаних сталей 06БФ та 06МБФ представлені у таблиці 8.

Таблиця 8 – Механічні властивості гарячекатаної сталі 06БФ та 06МБФ

Марка сталі	Товщина мм	σ_T	σ_B	δ_5	KCU ⁻⁷⁰	KCV ⁻⁴⁰
		МПа		%	Дж/см ²	
06БФ	10	347-350	433-437	31-32	120-160	30-35
	12	387-390	458-473	25-26	0	0
06МБФ	8	500-600	570-675	16-24	112-250	95-240
	10	510-545	575-610	20-31	134-371	44-310
	12	467-505	535-555	24-31	222-370	48-380
	20	372-382	510-520	31-35	12-250	10-28
	30	378-382	520-535	27-31	5-10	7-18
	40	362-372	496-510	28-31	4-56	12-20

Низька ударна в'язкість листів, в першу чергу, великих товщин (20-40мм), пов'язана із ростом зерна, а також, із різнозернистістю. Тому, нові вогнестійкі сталі доцільно використовувати у термічно зміцненому стані.

Про механічні властивості термічно покращеного прокату можливо судити за результатами випробувань на розтяг, що були проведені на плоских зразках 450x30 мм натурних величин (табл. 9). Для порівняння, крім нових сталей, досліджували зразки із стандартних сталей марок 09Г2С (С345) і Ст3сп (С255).

Отримані результати повністю відповідають ТУ і характерні для мікролегованих сталей із достатньо високою чистотою за шкідливими домішками.

Таблиця 9 – Механічні властивості на розтяг вогнестійких та стандартних сталей

Марка сталі	Стан поставки	Товщина прокату	Переріз зразків	σ_T	σ_B	δ_5	δ_p	ψ
		мм		МПа		%		
06БФ	ТП	10	10x30	354	424	30	16	64
		12	12x30	418	506	25	13	61
		20	20x30	400	481	23	9	69
06МБФ	ТП	8	8x30	511	585	25,5	10	53
		10	10x30	497	564	26	13	59
		12	12x30	440	522	34	13	66
		20	20x30	419	530	23	10	73
		30	30x15	412	519	26	11	68
		40	40x15	402	492	31	11	64
Ст3сп	ГК	10	10x30	169	444	34	19	55
		12	12x30	317	499	27,3	17	57
09Г2С	ГК	10	10x30	386	531	24,5	14	60
		12	12x30	381	508	31	18	56

Примітка: приведені мінімальні значення з трьох випробувань на товщину. ТП – термічно поліпшені; ГК – гарячекатаний стан.

Випробування на міцність при підвищених температурах до 700°C проводились на зразках із робочим діаметром 6мм. Вище за 700°C вогнестійкість сталі оцінювати не доцільно, внаслідок наближення стану, коли характеристики міцності і модуль пружності стрімко падають.

У таблиці 10 на прикладі сталі 06МБФ при товщині прокату 12мм представлені результати випробувань зразків при підвищенні температури від +20°C до +700°C.

Межі міцності і тимчасового опору при температурі випробувань +600°C сталей 06БФ, 06МБФ і стандартних сталей для порівняння представлені у таблиці 11.

Таблиця 10 – Міцнісні властивості на розтяг вогнестійкої сталі 06МБФ при підвищених температурах

№ п/п	Товщина прокату, мм	Температура випробування	σ_T	σ_B
			МПа	
1	12	20	440	520
2		100	387,2	478,4
3		200	400,4	478,4
4		300	396	509,6
5		400	378,4	457,6
6		450	369,6	416
7		500	365,2	364
8		550	334,4	338
9		600	237,6	296,4
10		650	211,2	254,8
11		700	162,8	197,6

Таблиця 11 – Міцнісні властивості на розтяг вогнестійких та звичайних сталей при 600 °С

№ п/п	Марка сталі	Товщина прокату, мм	Стан поставки	σ_T	σ_B
				МПа	
1	06БФ	12	Гаряча прокатка	203	224
2			Покращення	238	247
3		20	Покращення	230	243
4	06МБФ	8	Гаряча прокатка	198	365
5			Відпуск, 740°C	266	311
6		10	Гаряча прокатка	267	307
7			Відпуск, 720°C	255	299
8		12	Гаряча прокатка	238	295
9			Відпуск, 700°C	243	285
10		20	Покращення	294	320
11		30	Покращення	261	291
12		40	Покращення	265	297
13	Ст3сп	10	Гаряча прокатка	60	127
14		12	Гаряча прокатка	72	143
15	09Г2С	10	Гаряча прокатка	107	200
16		12	Гаряча прокатка	101	193

У результаті проведених випробувань показано, що вогнестійкі сталі мають достатньо високі характеристики міцності при 600°C. За цим показником вогнестійкі сталі суттєво перевершують звичайні.

Встановлено, що термічно поліпшені сталі мають більш високу вогнестійкість, ніж гарячекатані, навіть після відпуску. При 600°C в цих сталях спостерігається невелика різниця між σ_T і σ_B – 20-50 МПа внаслідок виділення дисперсної карбонітридної фази при нагріванні. При порівнянні сталей 06БФ і 06МБФ спостерігається вплив домішок молібдену на підвищення показників вогнестійкості.

Висновки.

1. На підставі вищезазначеного спостерігається перевага вогнестійких сталей марок 06БФ та 06 МБФ порівняно із стандартними під час оцінюванні характеристик міцності при

критичних температурах (600°C). Тимчасовий опір зростає приблизно у двічі, величина межі текучості ще більша;

2. Після порівняння даних таблиць 10 і 11 видно, що навіть при 700°C межа текучості сталі 06МБФ суттєво більша, ніж у стандартних сталей при 600°C;

3. За результатами досліджень встановлено, що сталь з молібденом 06МБФ має більш високу вогнестійкість, ніж сталь 06БФ.

4. Основу мікролегуювання вогнестійкої сталі складає сполучення Nb-Mo.

Перспективою подальших досліджень є проведення досліджень щодо створення нормативної та випробувальної бази з питань розробки та застосування таких сталей для будівельних конструкцій в Україні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Elevated temperature and highstrain rate properties of offshore technology. Report № 2001/020. Health&Safety Executive. UK. 2001. 158 p.
2. Mitsumasa Fushimi, Koichiro Keira, Hiroshi Chikaraishi. Development of fire- resistant steel frame building structure// Nippon steel technical report No 66 July,– 1995, p.29–36.
3. Massefpour-Dezfuly a.o. Fire Resistant Higt Strength Low Alloy Steels // Materials Science and Technology, December 1990, Vol. 6.
4. ДБН В.1.2-7-2008 «Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека».
5. Шабалов И.П., Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И. Стали для труб и строительных конструкций с повышенными эксплуатационными свойствами. – М.: ЗАО «Металлургиздат», 2003. – 520 с.
6. Одесский П.Д., Ведяков И.И., Кулик Д.В., Соловьев Д.В. Использование эффектов ТМО при производстве проката массового назначения с высокими эксплуатационными свойствами // Бернштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов. – М: Издательство «Учеба», 2001. – С. 58.
7. Кулик Д.В., Одесский П.Д., Горпинченко В.М., Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И. и др. патент № 2183222 по заявке № 2001130954, 10.11.2001, приоритет от 16.11.2001, зарегистрирован в госреестре изобретений РФ 10.06.2002, г. Москва.
8. Одесский П.Д., Кулик Д.В., Соловьев Д.В. Предельные состояния стальных конструкций из проката с обычной и повышенной огнестойкостью// Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2004. – №6. – С. 41 – 48.
9. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1 Элементы стальных конструкций: Учеб. Пособие для строит, вузов/ В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др. / под ред. В.В. Горева - М.: Высш. шк., 1997. – 527 с.
10. Соловьев Д.В. Новая огнестойкая сталь. Исследование огнестойкости стальных балок, изготовленных с применением новой стали // Противопожарная защита зданий и сооружений, огнезащита строительных конструкций (новые технологии и разработки). Сб. научных тр. - ГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, – М., 2003. – С. 40 – 50.
11. Одесский П.Д., Кулик Д.В. Сталь нового поколения в уникальных сооружениях. - М.: «Интернет Инжиниринг», 2005. – 176 е.: ил.
12. Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И., Чевская О.Н., Штычков Н.Н., Одесский П.Д., Соловьев Д.В., Москаленко В.А., Степашин А.М., Шабалов И.П., Кулик Д.В. Сталь с повышенной огнестойкостью для металлических конструкций // Сталь. – 2004. – №9. – С. 48 – 53.
13. Одесский П.Д., Кулик Д.В., Соловьев Д.В., Шабалов И.П. Новые стали для ответственных строительных металлических конструкций // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2003. – №12. – С. 2–4.

УДК 614.843 (075.32)

О.М. Коваль, к.т.н.,
Головне управління державної служби України з надзвичайних ситуацій
у Львівській області

ШВИДКІСТЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ФРОНТУ ПОЖЕЖІ НА ВІДКРИТИХ СКЛАДАХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

На підставі аналізу процесу розвитку та поширення пожежі в залежності від місця її виникнення на відкритих складах пиломатеріалів деревообробних підприємств та з урахуванням швидкості вітру розглянуто швидкість розповсюдження фронту пожежі. З використанням графових моделей варіантів розповсюдження пожежі встановлено, що найменша тривалість розповсюдження фронту пожежі буде у випадку, коли вона виникне в центрі кварталу склада. На підставі результатів аналізу швидкості розповсюдження фронту пожежі є можливість розробити напрямки для прогнозування заходів до зменшення ризику виникнення пожежі, а у випадку її виникнення до зменшення площі її розповсюдження, що є дуже важливим для зменшення збитків від пожежі.

Ключові слова: пожежа, склад пиломатеріалів, штабель, швидкість розповсюдження фронту пожежі, конвективна колонка, теплове випромінювання.

Постановка проблеми. Найбільш небезпечними пожежами є пожежі на відкритих складах пиломатеріалів. Такі пожежі в більшості випадків мають вигляд масової пожежі. Вивчення пожеж на відкритих складах пиломатеріалів, наприклад, в Росії було розпочато в 50 – 60 роки минулого століття на результатах експериментальних досліджень з використанням натурних об'єктів. Результати, які були отримані на підставі експериментальних досліджень, дозволили отримати деякі кількісні оцінки за фізичними чинниками горіння штабелів, але по суті отримані результати являються не відтворюваними. Тому процес горіння на відкритих складах пиломатеріалів почали розглядати на моделях. Але використання існуючих математичних моделей для розгляду розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів не дозволяє забезпечити всіх можливих пожежних ситуацій. Виходячи з цього ставиться проблема розроблення удосконаленої методології визначення швидкості розповсюдження пожежі на відкритих складах пиломатеріалів від можливих пожежних ситуацій, а розв'язання цієї проблеми є важливою і актуальною задачею сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перша робота стосовно розвитку та поширенню пожеж на відкритих складах пиломатеріалів була розглянута на 10-му Симпозіуму по процесах горіння на пожежах в 1965 році в м. Піттсбург (США) за результатами досліджень [1]. Механізм поширення пожежі був представлений у вигляді розповсюдження іскор і головешок, що горять, які розлітаються під дією конвективної колонки, що утворюється над осередком пожежі. Цей механізм поширення пожежі на відкритих складах був розвинутий в кандидатській дисертації М.С. Артемьєва, яка була захищена в 1981 році в м. Москві (ВІПТШ). За результатами робіт П.П. Девлишева та І.О. Іванова [2, 3] були отримані емпіричні залежності для визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі по штабелях на складах пиломатеріалів. Але ці залежності неможливо використовувати для розрахунку швидкості розповсюдження фронту пожежі по території складу пиломатеріалів, тому що вони не враховують протипожежних розривів між штабелями.

При розгляді процесу розповсюдження пожежі по території складу пиломатеріалів враховують теплове випромінювання та вплив вітру на швидкість розповсюдження фронту пожежі, а також положення факела полум'я в просторі, тобто на його кут нахилу відносно вертикальної осі. Крім цього, враховують перекидання вітром іскор і головешок, що горять,

на деревину сусіднього штабеля, які також сприяють поширенню пожежі [4]. Аналіз основних робіт по сучасному стану в галузі моделювання процесу поширення пожежі по території відкритого складу пиломатеріалів показує, що на сьогоднішній день відсутні удосконалені методики для визначення швидкості її поширення. Тому ставиться мета, розв'язування якої до деякої міри дозволить ліквідувати ці недоліки для того, щоб на підставі отриманих даних була можливість розробити додаткові заходи протипожежної безпеки на цих складах.

Мета роботи. Удосконалити на підставі моделювання методику визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів.

Постановка задачі та її розв'язання. За основу для постановки задачі приймаємо рекомендації [5]. На підставі рекомендацій [5] розглянемо план розташування штабелів одного квартала складу пиломатеріалів (рис. 1).

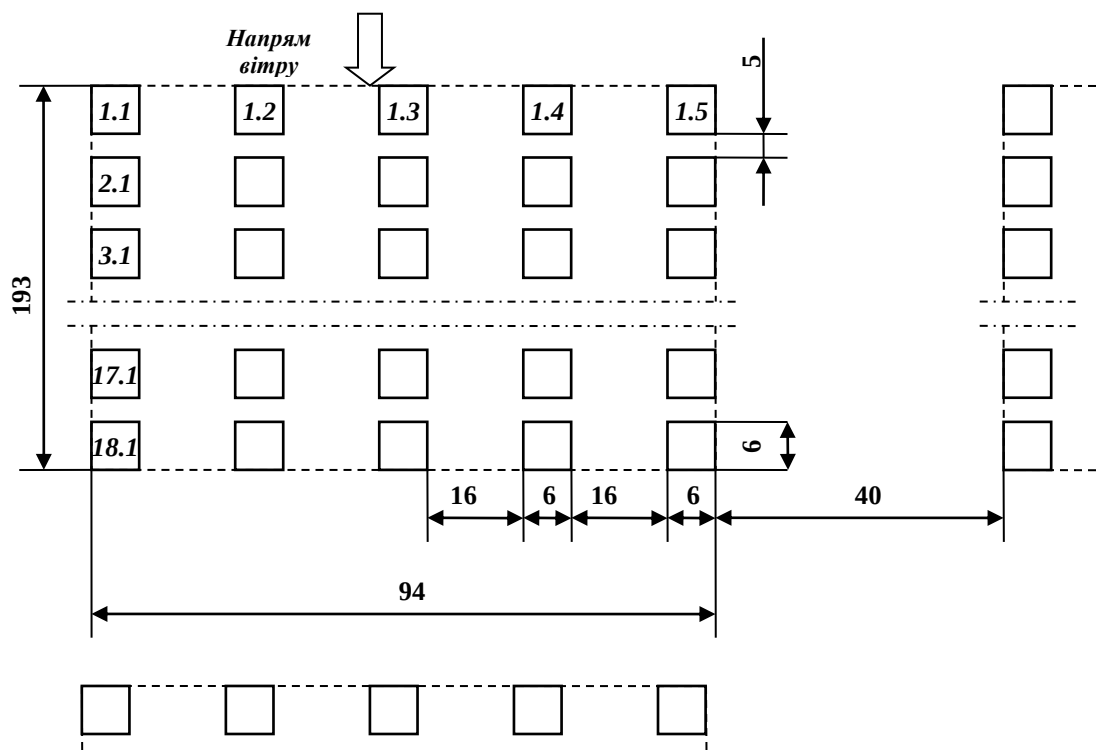


Рисунок 1 – План відкритого складу пиломатеріалів.

Основні параметри одного квартала складу: штабелі розміром $b \times l \times h = 6 \times 6 \times 5$ м; ширина повздовжніх розривів між штабелями $b_{нов} = 16$ м; ширина поперечних розривів між штабелями $b_{поп} = 5$ м; загальна кількість повздовжніх рядів квартала 5 сумарною шириною 94 м; загальна кількість поперечних рядів 18 сумарною довжиною 193 м; загальна площа квартала $18142 \text{ м}^2 \approx 1,8$ га; протипожежні розриви між кварталами при висоті штабелів 5 м дорівнюють 40 м.

Для розгляду задачі визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів на основі побудови графів моделей варіантів пожежних ситуацій, скористуємося методологією та результатами, які наведені в роботі [6]. На підставі даних роботи [6] швидкість розповсюдження фронту полум'я V_{II} по одному штабелю:

$$V_i = \frac{7,5\psi_n}{K_p \omega (Kh)^{0,33} (KL_o)^{0,2}} \left[1 + \frac{0,016 V_a K_p \omega (Kh)^{0,33} (KL_o)^{0,2}}{7,5\psi_n} \right], \text{ м/с} \quad (1)$$

де ψ_n – питома швидкість вигорання, $\text{кг/м}^2\text{с}$; K_p – густина укладки пиломатеріалів;

$$K_{\rho} = \frac{V_{\delta}}{V_{\theta}}; \quad (2)$$

V_{δ} – об'єм деревини в штабелі, м³; V_{θ} – об'єм штабеля пиломатеріалів ($b \times l \times h$), м³; ω – вологість деревини, %; K – величина поверхні деревини в одиниці об'єма штабеля, м²;

$$K = (1 \cdot 10^{-2}) 2zK_{\rho}, \text{ м}^2; \quad (3)$$

z – кількість рядів пиломатеріалу на висоті 1 м; h – висота штабеля, м; V_{θ} – швидкість вітру, м/с; L_{ϕ} – довжина фронту полум'я, м.

Час τ_{θ} , за який верхня площа штабеля буде охоплена полум'ям визначаємо за залежністю:

$$\tau_{\theta} = \frac{l}{V_{\theta}}, \text{ с.} \quad (4)$$

Згідно даних роботи [6], для розповсюдження пожежі по штабелях від теплового випромінювання факела полум'я одного штабеля необхідно визначити густину потоку q_p результуючого випромінювання від штабеля, який горить:

$$q_p = \frac{\sigma(T_{\delta}^4 - T_{\theta}^4)}{\frac{1}{A_{\delta}} + \frac{1}{A_{\theta}} - 1 + \frac{3\alpha\bar{\alpha}}{4}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

де $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴) – стала Стефана – Больцмана; T_{ϕ} – температура факела, К; T_{δ} – температура займання деревини, К (згідно із даними [7] температура займання деревини сосни вологістю 8-9% дорівнює 528 К, ялини – 487 К, дуба – 511 К); $A_{\phi} = 0,9$ – ступінь чорноти факела полум'я [4]; $A_{\delta} = 0,6$ – ступінь чорноти деревини штабеля [4]; $\bar{\alpha}$ – осереднений за спектром коефіцієнт поглинання середовища (за даними роботи [8] $\bar{\alpha} = 0,45/l_c$, де l_c – найбільша товщина шару середовища між сусідніми штабелями, м); x – дійсна відстань між штабелями, м.

Після цього визначаємо температуру на боковій поверхні сусіднього штабеля, який знаходиться поряд зі штабелем, що горить:

$$T_{\theta} = \frac{q_p S_{\delta}}{\alpha_{\theta} S_{\theta}} + T_0, \text{ К} \quad (6)$$

де S_{θ} – площа випромінювання теплового потоку, м²; α_{θ} – коефіцієнт тепловіддачі для бічної площини штабеля, кВт/(м²К); S_{θ} – площа бокової площини штабеля в поперечних або повздовжніх розривах між штабелями, м²; T_0 – початкова температура на боковій площині штабеля, К.

Після визначення T_{θ} , його значення порівнюють з температурою займання деревини T_{δ} . У випадку коли $T_{\theta} \geq T_{\delta}$ сусіднього штабеля, то пожежа переходить на цей штабель.

Поставлену проблему будемо розв'язувати в два етапи: 1) визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі V_{ϕ} на відкритих складах пиломатеріалів на основі побудови графових моделей; 2) визначення впливу швидкості вітру V_{θ} на швидкість розповсюдження фронту пожежі V_{ϕ} на відкритих складах пиломатеріалів.

Розглянемо розв'язок етапів поставленої проблеми на наступному прикладі.

Приклад. Визначити швидкість розповсюдження фронту пожежі V_{ϕ} на складі пиломатеріалів (рис. 1). В штабелях зберігаються бруски сосни густиною $\gamma_{\delta} = 540$ кг/м³,

вологістю 8-9% з температурою займання $T_0 = 528$ К. Кількість брусків на 1 м висоти штабеля $z = 10$ з густиною укладки пиломатеріалів $K_p = 0,6$. Основні параметри одного квартала складає: штабелі розміром $b \times l \times h = 6 \times 6 \times 5$ м; ширина повздовжніх розривів між штабелями $b_{нов} = 16$ м; ширина поперечних розривів між штабелями $b_{нон} = 5$ м; загальна кількість повздовжніх рядів квартала 5 сумарною шириною 94 м; загальна кількість поперечних рядів 18 сумарною довжиною 193 м; загальна площа квартала $18142 \text{ м}^2 \approx 1,8$ га; протипожежні розриви між кварталами при висоті штабелів 5 м дорівнюють 40 м. Можлива імовірність виникнення пожеж: **1) в центрі першого** поперечного ряду квартала на штабелі № 1.3; **2) в зовнішньому куті квартала** в першому поперечному ряду на штабелі № 1.5; **3) посередині повздовжнього крайнього** правого ряду на штабелі № 9.5; **4) в центрі квартала** на штабелі № 9.3. Швидкість вітру $V_{\text{в}} = 4$ м/с, температура навколишнього середовища $t = 293$ К, а поверхонь штабеля $T_0 = 300$ К. За даними робіт [4, 9, 10]: $Q_{\min} = 13800$ кДж/кг; $\psi_n = 0,0145$ кг/м²с; $c_p = 1,7$ кДж/кгК; $A_{\phi} = 0,9$; $A_0 = 0,6$. Довжина фронту полум'я на штабелі $L_{\phi} = 6$ м.

Розв'язок.

Перший етап – визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі.

1. Визначаємо величину площі поверхні деревини в одиниці об'єма штабеля за залежністю (4):

$$K = (1 \text{ м}^2) 2zK_p = (1 \text{ м}^2) 2 \cdot 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ м}^2.$$

2. Визначаємо швидкість поширення пожежі вздовж штабеля пиломатеріалів за вітром:

$$V_i = \frac{7,5 \cdot 0,0145}{0,6 \cdot 9(12 \cdot 5)^{0,33}(12 \cdot 6)^{0,2}} \left[1 + \frac{0,016 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 9(12 \cdot 5)^{0,33}(12 \cdot 6)^{0,2}}{7,5 \cdot 0,0145} \right] = 0,06 \text{ м/с}.$$

3. Визначаємо час $\tau_{\text{ш}}$, за який весь штабель буде охоплено полум'ям:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{l}{V_i} = \frac{6}{0,06} = 100 \text{ с}.$$

4. Визначаємо температуру T_{ϕ} факела.

Пожезне навантаження маси одного шару штабеля на його верхню площину з урахуванням загальної кількості шарів $z_{\text{ш}}$ штабеля $z_{\text{ш}} = zh$:

$$G = \frac{h\gamma_{\text{в}}K_p}{z_{\text{ш}}} = \frac{5 \cdot 540 \cdot 0,6}{50} = 32,4 \text{ МДж/м}^2;$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{2(bh + lh) + bl}{bl} - 1 = \frac{2(6 \cdot 5 + 6 \cdot 5) + 6 \cdot 6}{6 \cdot 6} - 1 = 3,3;$$

$$T_{\phi} = \frac{Q_{\min}\psi_i\tau_{\text{ш}}K_{\text{ш}}}{\tilde{n}_p G} = \frac{13800 \cdot 0,0145 \cdot 100 \cdot 3,3}{1,7 \cdot 32,4} = 1198 \text{ К}.$$

5. Визначаємо висоту осі конвективної колонки над штабелем при $x = 3$ м і $S_{\Pi} = bl = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2$:

$$H = 1,32 \sqrt[3]{x^2 \left(\frac{1,4Q_{\min}\psi_n S_{\Pi}}{tV_{\text{в}}^3} \right)^5} = 1,32 \sqrt[3]{3^2 \left(\frac{1,4 \cdot 13800 \cdot 0,0145 \cdot 36}{293 \cdot 4^3} \right)^5} = 0,98 \text{ м}.$$

6. Кут нахилу α_k конвективної колонки відносно вертикальної осі:

$$\alpha_k = \arctg(0,98 / 3) = 72^\circ.$$

7. Визначаємо густину потоку $q_{p.nov}$ результуючого випромінювання вздовж повздовжнього ряду до сусіднього штабеля, який знаходиться на відстані $x = 5$ м, за залежністю (5):

$$q_{p.i\hat{i}\hat{a}} = \frac{5,7 \cdot 10^{-8} (1198^4 - 528^4)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,6} - 1 + \frac{3 \cdot 0,45}{16} \cdot 5} = 60000 \text{ Вт/м}^2.$$

За аналогією для повздовжнього ряду визначаємо густину потоку $q_{p.non}$ вздовж поперечного ряду до сусіднього штабеля, який знаходиться на відстані $x = 16$ м – $q_{p.non} = 53392 \text{ Вт/м}^2$.

8. Визначаємо тепловий потік випромінювання вздовж повздовжніх і поперечних рядів штабелів. При цьому в нашому прикладі $b = l$ для всіх штабелів, то площа поверхні, яка випромінює тепловий потік на поперечні і повздовжні ряди сусідніх штабелів, може визначатися так:

$$S_{\hat{a}} = l(h + H) = 6(5 + 0,98) = 35,88 \text{ м}^2.$$

Тоді:

$$Q_{i\hat{i}\hat{a}} = 10^{-3} q_{p.i\hat{i}\hat{a}} S_{\hat{a}} = 10^{-3} \cdot 60000 \cdot 35,88 = 2152,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{i\hat{i}\hat{i}} = 10^{-3} q_{p.i\hat{i}\hat{i}} S_{\hat{a}} = 10^{-3} \cdot 53392 \cdot 35,88 = 1915,7 \text{ кВт}.$$

9. Визначаємо усереднене значення коефіцієнта тепловіддачі за залежністю [6]:

$$\alpha_{\theta} = 0,0159 \left(\frac{blhy_{\hat{a}} K_{\rho}}{S_{\hat{a}}} \right)^{0,222} = 0,0159 \left(\frac{6 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 540 \cdot 0,6}{35,88} \right)^{0,222} = 0,082 \text{ кВт/(м}^2\text{К)}$$

10. Визначаємо температуру на бокових поверхнях сусідніх штабелів вздовж повздовжніх $T_{u.nov}$ і поперечних $T_{u.non}$ рядів за залежністю (6):

$$T_{\theta.i\hat{i}\hat{a}} = \frac{2152,8}{0,082 \cdot 30} + 300 = 1175 \text{ К};$$

$$T_{\theta.i\hat{i}\hat{i}} = \frac{1915,7}{0,082 \cdot 30} + 300 = 1078 \text{ К}.$$

15. Визначаємо час поширення пожежі на сусідні штабелі від штабеля № 1.3 в першому поперечному ряді, на якому виникла пожежа. Час охоплення полум'ям штабеля № 1.3 складає 100 с або 1,67 хв. Після цього часу теплове випромінювання діє на штабелі № 1.2 і № 1.4 першого ряду та на штабелі № 2.3 другого ряду. Температура, яка діє на бокові поверхні штабелів № 1.2 і № 1.4 першого ряду дорівнює $T_{u.non} = 1078 \text{ К}$, а на штабелі № 2.3 другого ряду – $T_{u.nov} = 1175 \text{ К}$, що значно перевищує температуру займання деревини штабеля, яка дорівнює $T_{\delta} = 528 \text{ К}$. Але займання сусідніх штабелів буде проходити з деякою

затримкою. Згідно даних роботи [8] час затримки спалаху враховують коефіцієнтом $k = 0,4 \dots 0,6$. В нашому прикладі при $k = 0,4$ час займання τ_3 сусідніх штабелів після охоплення полум'ям штабеля № 1.3 буде через час, який дорівнює:

$$\tau_{\zeta} = \frac{\tau_{\emptyset}}{k} - \tau_{\emptyset} = \frac{1,67}{0,4} - 1,67 = 2,5 \text{ XB.} \quad (7)$$

На підставі цих даних можна стверджувати, що від початку пожежі за час $\tau_{II} = \tau_{ш} + \tau_3 = 1,67 + 2,5 = 4,17$ хв площа пожежі на складі пиломатеріалів буде $S_{II} = 36$ м², а через час $2\tau_{II} = 8,34$ хв – $S_{I\bar{I}2} = 144$ м² (горять штабелі № 1.2, 1.3, 1.4 першого ряду і № 2.3 другого ряду). Відповідно час $3\tau_{II} = 12,51$ хв – $S_{I\bar{I}3} = 288$ м² (горять всі п'ять штабелів першого ряду і штабелі №2.2, 2.3, 2.4 другого ряду). Протягом часу $4\tau_{II} = 16,68$ хв – $S_{I\bar{I}3} = 468$ м² (горять всі п'ять штабелів першого і другого рядів і штабелі №3.2, 3.3, 3.4 третього ряду) і т. д. За умов прикладу, який розглядається, вплив часу вільного горіння на площу пожежі, можна представити каскадним графом розповсюдження пожежі (рис. 2).

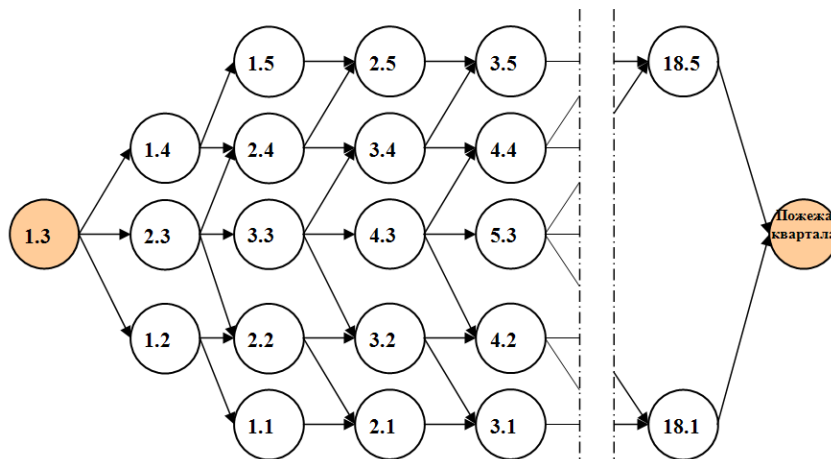


Рисунок 2 – Каскадний граф розповсюдження пожежі на кварталі складу пиломатеріалів при швидкості вітру $V_B = 4$ м/с

Вершини графа (рис. 2) зображають штабелі пиломатеріалів, а ребра – час τ_{Π} охоплення полум'ям верхньої площини штабеля і переходу пожежі на сусідні штабелі, наприклад, від штабеля 1.3, на якому виникла пожежа, до відповідних груп штабелів. Цей час в нашому прикладі дорівнює $\tau_{\Pi} = 4,17$ хв. Результати аналізу каскадного графу розповсюдження пожежі показують, що на ньому можна виділити $k = 20$ груп штабелів, кожна з яких одночасно розповсюджує пожежу вздовж кварталу складу, а саме: 1) пожежа виникла на штабелі 1.3 (перша група); 2) від штабеля 1.3 пожежа передається на штабелі 1.2, 2.3 і 1.4 (друга група); 3) від штабелів 1.2, 2.3 і 1.4 – на штабелі 1.1, 2.2, 3.3, 2.4 і 1.5 (третя група); ...; 18) від штабелів 16.1, 17.2, 18.3, 17.4 і 16.5 – на штабелі 17.1, 18.2, 18.4, і 17.5 (вісімнадцята група); 19) від штабелів 17.1, 18.2, 18.4, і 17.5 – на штабелі 18.1 і 18.5 (дев'ятнадцята група); 20) пожежею охоплені штабелі 18.1 і 18.5 (остання двадцята група, яка показує, що в цьому випадку пожежею охоплено весь квартал складу). На підставі цього положення можна визначити швидкість розповсюдження фронту пожежі по кварталі складу пиломатеріалів за залежністю:

$$V_{\hat{o}} = \frac{S_{\hat{a} \cdot \hat{i} \cdot \hat{o}} n_{\hat{o}}}{b \ddot{b}_{\hat{a} \cdot \hat{i} \cdot \hat{o}} \tau_{\hat{i}} k}, \text{ M/XB} \quad (8)$$

де $S_{в.п.ш}$ – площа верхньої поверхні одного штабеля, m^2 ; $n_{ш}$ – загальна кількість штабелів в k групах кварталу складу, які охоплені пожежею; $n_{ш.поп}$ – кількість штабелів в поперечних рядах k груп кварталу складу, які охоплені пожежею.

На підставі розгляду каскадного графу розповсюдження пожежі на кварталі складу пиломатеріалів (рис. 2) та з використанням залежності (8) були виконані розрахунки для прикладу, який розглядається, швидкості розповсюдження фронту пожежі за умови імовірності виникнення пожежі в першому поперечному ряді квартала на штабелі № 1.3. Результати розрахунків зображені на рис. 3.

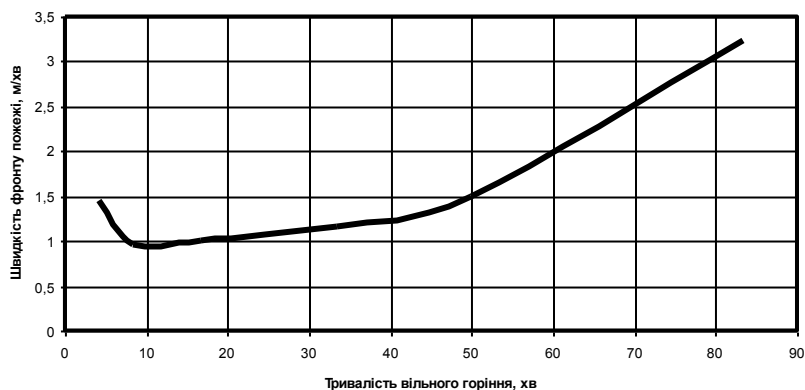


Рисунок 3 – Залежність швидкості фронту розповсюдження пожежі від тривалості вільного горіння (пожежа розпочалася на штабелі 1.3 при швидкості вітру $V_v = 4$ м/с).

На підставі результатів аналізу графічної залежності (рис. 3) можна зауважити, що на початку виникнення пожежі довжина її фронту дорівнює тільки ширині штабеля $b = 6$ м зі швидкістю фронту пожежі $V_{\phi} = 1,5$ м/хв. На протязі часу до 10 хв фронт пожежі розширюється, а швидкість зменшується. Після досягнення довжини фронту пожежі ширини кварталу швидкість фронту пожежі починає зростати і під кінець тривалості вільного горіння ($\tau_{в.г} = 4,17 \cdot 20 = 83,4$ хв), тобто до покриття пожежею всього кварталу, вона досягає $V_{\phi} = 3,24$ м/хв при швидкості вітру $V_v = 4$ м/с.

Аналогічні розрахунки та аналіз були виконані для випадків виникнення таких пожеж: **в зовнішньому куті квартала** в першому поперечному ряду на штабелі № 1.5; **посередині повздовжнього крайнього** правого ряду на штабелі № 9.5; **в центрі квартала** на штабелі № 9.3. Для наведених випадків можливих варіантів виникнення пожеж було встановлено, що швидкість розповсюдження фронту пожежі при її виникненні: на штабелі №1.5 коливається в межах $V_{\phi} = 1,5 \dots 5,89$ м/хв при $\tau_{в.г} = 91,7$ хв; на штабелі № 9,5 – $V_{\phi} = 1,5 \dots 4,62$ м/хв при $\tau_{в.г} = 58,4$ хв; на штабелі № 9.3 – $V_{\phi} = 1,5 \dots 2,35$ м/хв при $\tau_{в.г} = 45,9$ хв.

Отримані результати дозволяють зробити висновки про те, що місце виникнення пожежі на складі пиломатеріалів в значній мірі впливає на швидкість розповсюдження фронту пожежі та на тривалість вільного горіння. Наприклад, найбільша тривалість вільного горіння має місце при виникненні пожежі на зовнішньому куті, а найменша – в центрі квартала (приблизно в 2 рази). Зростання кінцевої швидкості розповсюдження фронту пожежі пояснюється тим, що кінцеве покриття пожежею склада проходить на меншій кількості штабелів. Наприклад, якщо пожежа виникає на зовнішньому куті, то закінчується на одному штабелі, а якщо в центрі квартала, то закінчується на п'яти штабелях.

Другий етап

Для визначення впливу швидкості вітру V_v на швидкість розповсюдження фронту пожежі V_{ϕ} на відкритих складах пиломатеріалів скористуємося залежностями (1), (4), (7) та значенням часу $\tau_{пл}$. Розглянемо вплив швидкості вітру в межах $V_v = 1 \dots 20$ м/с на швидкість розповсюдження фронту пожежі V_{ϕ} . Для цього скористуємося залежністю

$$V_{\phi} = K_d V_{\phi,0}, \quad (9)$$

де K_e – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості вітру на швидкість розповсюдження фронту пожежі; $V_{ф.0}$ – швидкість розповсюдження фронту пожежі при швидкості вітру $V_e = 4$ м/с.

Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта K_e

Швидкість вітру, м/с	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Значення K_e	0,3	0,52	1	1,45	1,97	2,42	2,88	3,48	3,94	4,39	4,85

Для спрощення використання даних для визначення значення коефіцієнта K_e рекомендується для інтерполяції значень використовувати залежність:

$$K_e = 0,2365V_e + 0,1082. \quad (10)$$

Результати аналізу отриманих даних показує, що при збільшенні швидкості вітру, наприклад, в два рази швидкість розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів зростає майже в два рази.

Висновки.

1. Розроблена з використанням графових моделей методологія визначення швидкості розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів, яка дає можливість в залежності від виду пиломатеріалів і місця виникнення пожежі визначати час розповсюдження пожежі по кварталу складу пиломатеріалів та швидкість фронту пожежі.

2. Швидкість розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів зростає в кінці покриття складу пожежею, що пояснюється проходженням в кінці пожежі меншої кількості штабелів.

3. Встановлено, що найбільша тривалість вільного горіння має місце при виникненні пожежі на зовнішньому куті, а найменша – в центрі кварталу. Різниця в цьому випадку доходить до 2 разів.

4. Результати досліджень показали, що від початку пожежі на складі пиломатеріалів до 10-ї хвилини швидкість фронту пожежі зменшується за рахунок збільшення її фронту, а після досягнення довжини фронту пожежі ширини кварталу швидкість фронту пожежі починає зростати і досягає максимального значення після охоплення пожежею всього складу.

5. Швидкість вітру в значній мірі впливає на швидкість розповсюдження фронту пожежі. При збільшенні швидкості вітру, наприклад, в два рази швидкість розповсюдження фронту пожежі на відкритих складах пиломатеріалів зростає майже в два рази.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tarifa C.S. On the flight path and the lifetime of burning patches of wood / C.S. Tarifa, P.P. Notario, F.G. // 10-th Symposium (int.) on Combustion. – Pittsburgh, 1965. – pp. 1021-1037.
2. Девлишев П.П. Исследование кинетики пожара на моделях / П.П. Девлишев // Пожарная наука и техника: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1977. – С. 178-208.
3. Иванов И.А. Определение скорости распространения пламени по штабелям лесобирж / И.А. Иванов // Пожарная профилактика: Информ. сб. – М.: Стройиздат, 1977, вып. 11. – С. 84-92.
4. Копилов Н.П. О влиянии ветра на величину тепловых потоков от пламени открытого пожара / Н.П. Копилов, Г.М. Гроздов // Пожарная профилактика: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1980, вып. 16. – С. 68-73.

5. СНиП 21-03-2003. Склады лесных материалов. Противопожарные нормы РФ. – М.: «Пожарный Центр», 2003. – 18 с.
6. Коваль О.М. Моделювання розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів / О.М. Коваль // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 23.09, 2013 / Львів: НЛТУ. – С. 317-322.
7. Цапко Ю.В. Визначення ефективності вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів / Ю.В. Цапко // Зб. наук. праць. – Львів: ЛПБ, 2005, № 7. – С. 132-134.
8. Гуліда Е.М. Математична модель розповсюдження лісової пожежі за рахунок теплового випромінювання / Е.М. Гуліда, О.О. Карабин, О.О. Смотр. // Наук. зб. УкрНДІПБ, 2006, № 1 (13). – С. 24-30.
9. 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.
10. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

УДК 544.128.12

В.В.Кукуєва, к.х.н., доц., Р.В.Романюк,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

КВАНТОВО-ХІМІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНГІБУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕКСАФЛУОРПРОПАНУ

Представлено квантово-хімічні розрахунки методом Хартрі-Фока з базисним набором 6-31 G* енергій деструкції досліджуваних молекул з метою пошуку нових речовин для застосування їх в пожежогасінні, як альтернативну заміну хладонам. Показано, що флуоровмісні вуглеводні при розкладанні утворюють ефективні пастки для активних центрів полум'я.

Ключові слова: пожежа, горіння, інгібітор, гасіння, хладони, флуоровмісні, активні центри полум'я.

Постановка проблеми. Кожного дня у світі відбувається велика кількість надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, які призводять до травмування та смерті тисяч людей, завдають великі матеріальні збитки народному господарству країн та навколишньому середовищу нашої планети. Виникнення пожеж може бути зумовлено природними катаклізмами, порушеннями процесів на виробництві, необережним поведінням людей з вогнем. Пожежа – це неконтрольоване горіння, при якому полум'я знищує все, що зустрічається на його шляху. Через кожні п'ять секунд на земній кулі виникає пожежа, а в Україні – кожні 10 хвилин. [1].

Горіння – складний фізико-хімічний процес сполучення горючої речовини з окислювачем, який супроводжується виділенням тепла і випромінюванням світла. Необхідними елементами процесу горіння є:

- а) горюча речовина, її певний стан і кількість;
- б) окислювач – кисень (коли концентрація кисню в повітрі стає менше 8-10%, горіння припиняється), хлор, фтор, оксиди азоту, селітра тощо;
- в) джерело займання.

Для припинення горіння варто виключити одну з цих ланок.

Постановка задачі та її розв'язання. Для боротьби з пожежами застосовуються різноманітні речовини, які мають різний агрегатний стан. Серед газоподібних вогнегасних речовин значне місце в застосуванні посідали галогенопохідні вуглеводнів (хладони), які є ефективними інгібіторами горіння. Хладони використовувалися в якості холодоагентів, а також у багатьох інших сферах людської діяльності зокрема в пожежогасінні в якості вогнегасних речовин. Найефективнішим інгібітором горіння, на думку більшості дослідників є бромфлуорометан CF_3Br (хладон R-1301) [2]. Поряд з іншими галогеновмісними вогнегасними речовинами він використовувався в портативних вогнегасниках, автоматичних системах пожежогасіння та ін. Однак більшість сполук, які мають у своєму складі бром або хлор руйнують озоновий шар, який забезпечує захист флори і фауни від впливу ультрафіолетового випромінювання Сонця. Виснаження озонового шару представляє собою процес руйнування стратосферного озону в ході хімічних реакцій за участю забруднюючих речовин (газів) антропогенної природи [3]. До таких газів відносяться хлорфлуорвуглеводні, галогени та інші гази, які потрапляють в атмосферу в результаті господарської діяльності людини. Руйнування стратосферного озону призвело до необхідності проведення невідкладних заходів для збереження життєво-необхідної оболонки планети Земля. Для того, щоб виробити стратегію скорочення викидів забруднюючих речовин, була проведена оцінка показників озоноруйнівної здатності широкого діапазону газів (результати досліджень були узагальнені Всесвітнім метеорологічним бюро) [4]. Результатом зусиль світового наукового співтовариства проти руйнівної дії хладонів стало рішення Монреальської Конвенції про заборону виробництва та використання хладонів для пожежогасіння [5].

У процесі пошуку заміни хладам було виявлено, що альтернативою можуть виступати флуоровмісні вуглеводні. Флуоровмісні вуглеводні (ФВ) в науковій літературі розглядаються, як прийнятні для навколишнього середовища альтернативні речовини для заміни хладонів. ФВ не містять атомів хлору або бромів і, отже, мають озоноруйнівний потенціал близький до нуля. В останні два десятиліття кількість ФВ, які використовуються в якості альтернативи хладам постійно збільшується. Хлорфлуоровуглеводні (ХФВ), бромфлуоровуглеводні (БХВ), які були розроблені в 1930-х роках, мають унікальні властивості: низьку токсичність, невисоку температуру кипіння. Вони негорючі, корозійностійкі та сумісні для використання з іншими матеріалами. Крім того, вони володіють термодинамічними та фізичними властивостями, які роблять їх придатними для використання у різних галузях промисловості.

Важливим фактором у виборі альтернативної вогнегасної речовини є період її існування в атмосфері, особливо для ФВ, які мають відносно короткий час життя. Передбачуваний час життя в атмосфері ФВ, як правило, коротший ніж бром- та хлорвмісних, та в значній мірі залежить від збільшення концентрації гідроксильних груп у тропосферному шарі. Стратосферний розподіл $\text{OH}\cdot$ має незначний вплив на час життя ФВ, але контролювати його необхідно, щоб запобігти подальшому вивільненню атомів хлору та бромів, які на даний час знаходяться в атмосфері у складі різноманітних сполук.

На основі проведеного літературного пошуку було з'ясовано, що безпечною для озонового шару Землі є альтернативна сполука під назвою ФВ-236fa ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$). ФВ-236fa не містить атомів хлору або бромів, таким чином, вона не руйнує озонового шару, тому може бути використана в якості чистого охолоджувача низького тиску для холодильних установок. ФВ-236fa є негорючою речовиною, яка володіє низькою токсичністю. Для порівняння було обрано хладон ХФВ-225ea ($\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHCl}_2$), який раніше широко використовувався для цілей пожежогасіння в якості заряду для порошкових вогнегасників.

Для наочного зображення представлено просторову будову досліджуваних молекул (рис. 1). На рисунку чітко видно просторове розміщення атомів хлору у молекулі $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CHCl}_2$. Ще одна суттєва різниця у будові досліджуваних речовин полягає у тому, що другий атом карбону у хладоні зв'язаний з атомами флуору, а в альтернативній речовині – з атомами гідрогену.

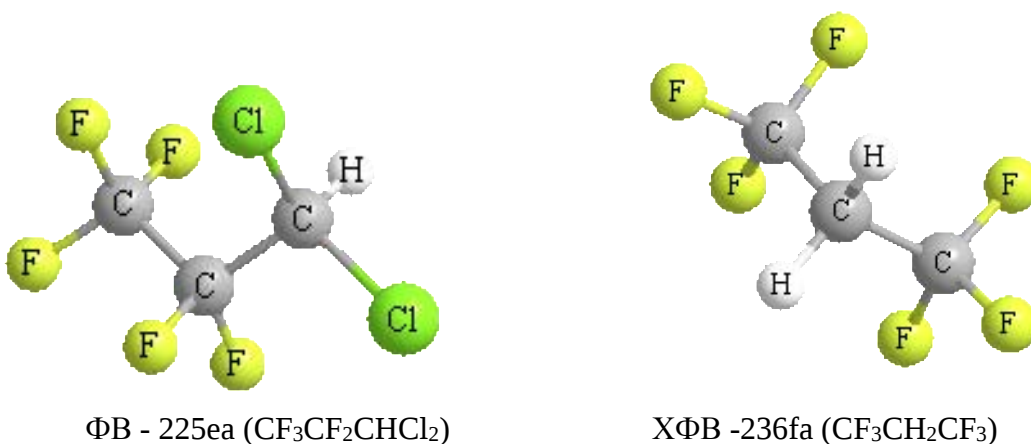


Рисунок 1 – Просторова будова досліджуваних молекул.

Досліджувана речовина ФВ-236fa ідеально підходить для протипожежного захисту дорогого обладнання в комп'ютерних залах, на телекомунікаційних об'єктах, а також паливних баків літаків [6–7].

Для того, щоб перевірити, чи дійсно обрана речовина проявляє інгібувальні властивості ми провели квантово-хімічний розрахунок енергії деструкції зв'язків досліджуваних молекул. Для цього був використаний квантово-хімічний метод Хартрі-Фока. Варіаційний метод Хартрі - Фока є одним з основних методів вивчення проблеми

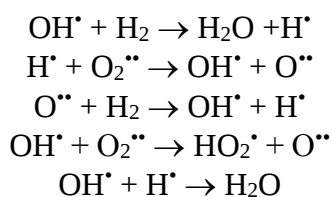
багатеелектронних атомів. Він широко використовується в квантовій хімії, атомній і ядерній фізиці. Квантово-хімічне дослідження складається із кількох стадій. На першому етапі розв'язується задача про рух електрона в певному модельному потенціалі, що повинен якомога краще відображати взаємодію вибраного електрона з ядрами атомів та іншими електронами. Знайдені хвильові функції використовуються для того, щоб визначити взаємодію електрона з іншими електронами й ядрами, уточнюючи потенціал. Надалі знову розв'язується задача знаходження хвильових функцій електрона для нового потенціала. Процедура продовжується до досягнення збіжності. Метод Хартрі-Фока успішно використовується для чисельних квантово-механічних розрахунків. Його головним недоліком є те, що він не враховує кореляційну енергію для електронів [8]. Результати квантово-хімічного розрахунку представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Квантово-хімічний розрахунок можливих шляхів термічної деструкції досліджуваних молекул методом Хартрі-Фока з базисним набором 6-31*G

№	Молекула	Енергія ккал/моль
ФВ-236fa CF ₃ CH ₂ CF ₃ Гексафлуорпропан		
1.	CF ₂ CH ₂ CF ₃ – F → CF ₂ CH ₂ CF ₃ • + F•	65.82
2.	CF ₃ CH ₂ – CF ₃ → CF ₃ CH ₂ • + CF ₃ •	74.23
3.	CF ₃ CHCF ₃ – H → CF ₃ CHCF ₃ • + H•	87.54
ХФВ-225ea CF ₃ CF ₂ CHCl ₂ Дихлортетрафлуорпропан		
1.	CF ₃ CF ₂ CHCl – Cl → CF ₃ CF ₂ CHCl• + Cl•	27.42
2.	CF ₃ CFCHCl ₂ – F → CF ₃ CFCHCl ₂ • + F•	57.54
3.	CF ₃ CHCl ₂ – CF ₃ → CF ₃ CHCl ₂ • + CF ₃ •	65.82
4.	CF ₃ CFCl ₂ – H → CF ₃ CFCl ₂ • + H•	82.64

Результати розрахунків показують, що найменша енергія деструкції хладону ХФВ-225ea – при утворенні атому хлору. Такий результат підтверджує висновки експериментаторів про ефективні інгібувальні властивості хладонів. У хлоровмісній молекулі CF₃CF₂CHCl₂ спостерігається утворення радикалу F• з меншою енергією деструкції ніж утворення цього ж радикалу F• в молекулі ФВ-236fa. Це пояснюється тим, що у молекулі ХФВ-225ea атом хлору впливає на зменшення електронної густини зв'язків між атомами і це призводить до зменшення енергії утворення відповідних радикалів F• та CF₃•, що у свою чергу підсилює інгібувальні властивості даної речовини. Радикал H• надійно утримується у досліджуваних молекулах, отже басейн активних центрів полум'я не поповнюватиметься за рахунок продуктів деструкції вогнегасних речовин.

Наступним етапом дослідження є визначення імовірності взаємодії продуктів деструкції досліджуваних речовин з активними центрами полум'я. Згідно теорії ланцюгового горіння, розробленої М. Семеновим [9], серед багатьох реакцій, які відбуваються при горінні можна виділити декілька таких, які безпосереднім чином впливають на швидкість поширення полум'я. Це елементарні реакції, в результаті яких відбувається розгалуження ланцюгів з утворенням H•, O•, OH• (активні центри полум'я, АЦП):



На захоплення цих радикалів спрямована дія інгібіторів. При взаємодії інгібітора з АЦП утворюється проміжна сполука InhX (де Inh - інгібітор, а X - АЦП). Навіть якщо утворений інтермедіат проіснує менше хвилини відбувається обрив сотні ланцюгів реакцій горіння. Отже, чим легше утворюється інтермедіат (чим менша енергія), і чим він стабільніше, тим імовірніше інгібування.

Механізм інгібування на рівні елементарних стадій [10]:



Навіть якщо утворений інтермедіат проіснує кілька секунд, він зруйнує тисячі елементарних реакцій горіння, що в свою чергу сприятиме припиненню горіння. Для визначення ймовірності перебігу хімічних реакцій, які призводять до інгібування полум'я, було проведено квантово-хімічне дослідження енергії взаємодії продуктів деструкції з активними центрами полум'я. Результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Енергія взаємодії продуктів деструкції досліджуваних молекул з АЦП, розрахована методом Хартрі-Фока з базисним набором 6-31*G.

№ п/п	Активні центри полум'я	Енергія взаємодії E, ккал/моль		
		$\text{Cl}^\bullet$	$\text{F}^\bullet$	$\text{CF}_3^\bullet$
1	$\text{H}^\bullet$	53,65	78,1	90,54
2	$\text{OH}^\bullet$	60,3	54,54	72,3
3	$\text{O}^{\bullet\bullet}$	24,47	38,53	40,16

Аналіз даних таблиці 2 показує, що всі радикали, утворені під час термічної деструкції досліджуваних молекул інгібіторів, будуть взаємодіяти з активними центрами полум'я. Слід відмітити те, що радикал $\text{Cl}^\bullet$ найкраще взаємодіє з активними центрами полум'я, що підтверджує висновки експериментаторів про ефективність хладонів [10]. Радикал $\text{F}^\bullet$ з найменшою енергією взаємодіє з радикалом $\text{OH}^\bullet$, радикал $\text{CF}_3^\bullet$ найкраще буде захоплювати радикал $\text{O}^{\bullet\bullet}$. Захоплення інших радикалів продуктами деструкції інгібітору буде відбуватися з дещо більшою енергією, яка знаходиться в допустимих межах. Утворені внаслідок термічного розкладання радикали взаємодіють з активними центрами полум'я, що у свою чергу підтверджує інгібувальні властивості досліджуваної речовини. Для флуоровмісних частинок, які утворюються у вогнищі горіння при застосуванні ФВ, були проведені більш детальні квантовохімічні розрахунки можливих реакцій [11]. Результати дослідження представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Енергія реакцій взаємодії продуктів деструкції досліджуваних молекул з АЦП, які відбуваються в процесі горіння, розрахована методом Хартрі-Фока в базисному наборі 6-31*G.

№	Реакція	Енергія, E, ккал/моль
O^{••}		
1.	$\text{CF}_2^{\bullet\bullet} + \text{O}^{\bullet\bullet} = \text{CFO}^{\bullet} + \text{F}^{\bullet}$	12.23
2.	$\text{CF}_3^{\bullet} + \text{O}^{\bullet\bullet} = \text{CF}_2\text{O} + \text{F}^{\bullet}$	26.98
3.	$\text{CF}_3\text{H} + \text{O}^{\bullet\bullet} = \text{CF}_3 + \text{OH}^{\bullet}$	34.46
4.	$\text{C}_2\text{HF} + \text{O}^{\bullet} = \text{CFCO} + \text{H}^{\bullet}$	55.84
5.	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{F} + \text{O}^{\bullet} = \text{CH}_2\text{FCH}_2 + \text{OH}^{\bullet}$	30.68
H[•]		
1.	$\text{CF}_2^{\bullet\bullet} + \text{H}^{\bullet} = \text{CF}^{\bullet} + \text{HF}$	23.40
2.	$\text{CF}_3^{\bullet} + \text{H}^{\bullet} = \text{CF}_2^{\bullet} + \text{HF}$	26.48
3.	$\text{CF}_3^{\bullet} + \text{H}_2 = \text{CF}_3\text{H} + \text{H}^{\bullet}$	8.72
4.	$\text{CF}_2\text{CHF} + \text{F}^{\bullet} = \text{CH}_2\text{CF}_2 + \text{H}^{\bullet}$	25.54
5.	$\text{CF}_2\text{O} + \text{H}^{\bullet} = \text{CFO} + \text{HF}$	11.67
6.	$\text{CF}_3\text{CF}_3 + \text{H}^{\bullet} = \text{CF}_3\text{CF}_2 + \text{HF}$	13.81
OH[•]		
1.	$\text{CF}_3\text{H} + \text{OH}^{\bullet} = \text{CF}_3^{\bullet} + \text{H}_2\text{O}$	12.68
2.	$\text{CF}_3^{\bullet} + \text{OH}^{\bullet} = \text{CF}_2\text{O} + \text{HF}$	51.96
3.	$\text{CF}_2^{\bullet} + \text{OH}^{\bullet} = \text{CF}_2\text{O} + \text{H}$	25.47
4.	$\text{CF} + \text{OH}^{\bullet} = \text{CO} + \text{HF}$	102.09

Як видно з результатів розрахунків (табл. 3), реакції за участю флуоровмісних частинок призводять до захоплення активних центрів полум'я. Ці реакції переважають реакції зростання ланцюгів і, отже, в цілому буде відбуватися інгібування полум'я. Якщо проаналізувати енергію взаємодії флуоровмісних частинок з окремими АЦП, то необхідно відмітити, що зв'язування радикала O^{••} відбувається в основному за рахунок реакцій з CF₂^{••} та CF₃[•]. Ці радикали будуть також ефективні по відношенню до атомарного гідрогену. Крім того, ефективним буде також CF₂O. Що стосується гідроксильного радикала, то він буде взаємодіяти з молекулою CF₃H. Ефективною пасткою для нього також буде CF₂^{••}. Отже розрахунки показали, що серед продуктів розкладання альтернативної вогнегасної речовини CF₃CH₂CF₃ найефективнішими виявилися CF₂^{••} і CF₃[•] радикали, що збігається з експериментальними даними [11].

Отже, в результаті проведеного дослідження було з'ясовано, що реакції захоплення радикалів O^{••}, H[•], OH[•] складають велику частку припинення радикальних реакцій в процесі горіння. Якщо проаналізувати дані в таблиці 3, то можна дійти висновку про проходження реакцій взаємодії радикалів з активними центрами полум'я O^{••}, H[•], OH[•] з відносно невеликою енергією, це свідчить про затрату для цього мінімуму енергії, тому процес захоплення активних центрів полум'я буде відбуватися ефективно з утворенням стійких сполук H₂O та HF.

Варто зауважити, стабільність молекули HF перешкоджає відтворенню атомарного флуору в циклі інгібування, що суттєво відрізняє механізм інгібування флуоровмісними вуглеводнями від дії інших галогеновмісних вогнегасних речовин.

Перспектива подальших досліджень.

Науково-технічних прогрес у світі сприяє пошуку та застосуванню в цілях пожежогасіння нових речовин, які є ефективніші ніж ті, що використовувалися раніше. Це потрібно для того, щоб убезпечити суспільство та зберегти майно громадян та держави. Тому науковцями і в подальшому буде вивчатися проблема пошуку заміни хладонам, так як вони володіють ідеальними властивостями для пожежогасіння, але на жаль згубно діють на нашу

планету. Серед речовин, які можуть виявитися перспективними інгібіторами горіння, є фосфоровмісні етери вуглеводнів, а також органічні фосфати, які містять атоми галогенів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Державна служба України з питань надзвичайних ситуацій. – Оперативне зведення пожеж за рік – 2013//<http://www.mns.gov.ua/opinfo/>
2. Li Yue and Wuebbles D.J., Potential impacts of CF₃I on ozone as a replacement for CF₃Br in aircraft applications. – Department of Atmospheric Sciences. – University of Illinois
3. Санін Ф.П., Водород, озоновый слой и парниковый эффект //Санін А.Ф. – 1999. – с. 68-72
4. World Meteorological Office. – 1998 (http://www.wmo.int/pages/about/index_ru.html)
5. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, 1989;
6. Peter Lund D., Elizabeth Angel L., International Conference on Fire Research and Engineering. – Boston. – 1995
7. Burgess, D.R.F., Thermochemical and Chemical Kinetic Data for Fluorinated Hydrocarbon Flames// Jr., Zachariah, M.R., Tsang, W., and Westmoreland, P.R. – National Institute of Standards and Technology. – Gaithersburg. – 1994
8. Nyden, M.R., Flame Inhibition Chemistry and the Search for Additional Fire Fighting Chemicals,” in Evaluation of Alternative In-Flight and Dry Bays// Linteris, G.T., Burgess D.R.F., Westmoreland Jr., Tsang W., and Zachariah, M.R. – *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg MD. – 1994
9. Семенов Н.Н., О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М.: Изд-во АН СССР. – 1958. – с.639
10. Babushok V., Combust. Flame// Noto T., Burgess D.R.F., Hamins A., Tsang W. – 1996
11. Katta, V.R., Fire-Suppression Characteristics of CF₃H in a Cup Burner // Katta, V.R., Takahashi, F., Linteris, G.T., Combustion and flame. – 2006. – Vol. 144, No.4. – PP.645-661.

АНОТАЦІЇ / ABSTRACTS

UDC 614.844; 614.845

A.I. Kovaliov, Candidate of Sciences (Engineering)

DETERMINATION OF CHARACTERISTIC OF FIREPROOF CAPABILITY OF ARMoured FLOORS COATINGS FOR VARIOUS TEMPERATURE CONDITIONS OF FIRE

The results of determination of characteristic of fireproof capability of coating "Endotherm 210104" of hollow core armoured floor in various temperature conditions of fire are represented in the article. It is concluded that the minimum thickness of researched fireproof coating is necessary for providing the required fire-resistance period of hollow core armoured floor in different fire conditions.

УДК 614.841.332

A.I. Ковальов, к.т.н.

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ ДЛЯ РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПОЖЕЖІ

У роботі наведені результати визначення характеристики вогнезахисної здатності покриття «Ендотерм 210104» багатопустотного залізобетонного перекриття при різних температурних режимах пожежі. Зроблено висновок про мінімально необхідну товщину досліджуваного вогнезахисного покриття для забезпечення необхідної межі вогнестійкості багатопустотного залізобетонного перекриття при різних режимах пожежі.

UDC 621.316

*V. Akinshin, Doctor Of Sc., V. Gvozd Cand. Of Sc. (Eng), A. Barakin, Cand. Of Sc. (Eng),
O. Kvashnina, Cand. Of Sc. (Eng), V. Marchenko*

INCREASE TECHNOGENIC SAFETY OF THE AMMONIA SYNTHESIS PROCESS

The paper presents the possibilities of increasing technogenic safety the ammonia synthesis process. The automatic start control system for technological process has been developed. Control characteristics were investigated and optimized for voltage converter. This control system of temperature is part of the main advanced control program for the synthesis column.

УДК 621.316

*В.Д. Акіншин, д.ф.-м.н., проф., В.М. Гвоздь к.т.н., доц., О.Г. Баракін, к.т.н., доц.,
О.В. Квашина, к.т.н., доц., В.О. Марченко*

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ АМІАКУ

З метою підвищення техногенної безпеки технологічного процесу синтезу аміаку розроблена система автоматичного управління технологічним процесом пуску колони синтезу аміаку, досліджені та оптимізовані регульовальні характеристики перетворювача напруги.

UDC 614.843 (075.32)

E. Hulida, Dr. Of Sc. (Eng.), I. Movchan, Cand. Of Sc. (Eng.)

ENSURING ADEQUATE FIRE RISK FOR SOCIO-CULTURAL, CIVIL AND ADMINISTRATIVE BUILDINGS

Based on the analysis of statistics and the use of mathematical statistics were obtained according to the definition of direct losses from fires and the cost of fire protection facilities of the city. This can significantly improve the quality of prediction when performing actions associated with the optimization and risk management of fire, which depend primarily on direct damages caused by fire and equipment costs of fire protection facilities.

УДК 614.843 (075.32)

Э.Н. Гулида, д.т.н., проф., И.А. Мовчан, к.т.н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИЕМЛЕМОГО ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ И АДМИНИСТРАТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На основании анализа результатов статистики и использования методов математической статистики были получены зависимости для определения прямых убытков от пожаров и затрат на противопожарную защиту сооружений города. Это позволяет значительно повысить качество прогноза при выполнении действий, связанных с оптимизацией и управлением пожарными рисками, которые зависят в первую очередь от прямых убытков, возникших в результате пожара, и расходов на снаряжение противопожарной защиты объектов города.

UDC 614.48

S.V.Zhartovskiy, cand. of scien. (tekh.)

PHENOMENOLOGICAL MODEL OF WOOD FIREPROOF BY USE OF WATER FIREBIOPROTECTIVE SUBSTANCE DSA-2

The phenomenological model of wood fireproof by use of water firebioprotective substance DSA-2 is presented. The model reveals the essence of the mechanism of wood fireproof and can be used for improvement of existing means and for existence of newest effective means for wood fireproof.

УДК 614.48

С.В. Жартовський, к.т.н.

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОГНЕЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДНОГО ОГНЕБИОЗАЩИТНОГО ВЕЩЕСТВА ДСА-2

Представлена феноменологическая модель огнезащиты древесины с применением водного огнебиозащитного вещества ДСА-2. Модель раскрывает сущность механизма огнезащиты древесины и может быть использована для совершенствования существующих и для разработки новых эффективных средств огнебиозащиты древесины.

UDC 614.842

V.I. Zhelyak Ph.D., A.V. Lazarenko Ph.D., A. Regush Ph.D.

STUDY METHODS THERMAL FLOW OF RADIATION FROM THE BURNING STACKS OF WOOD

The experimental determination of the heat flux from the wood pile and then comparing the experimental values with calculations obtained by the two known methods. Comparison of the results suggests that the most accurate prediction of the heat flow using one of the methods, the use of which makes it easier to predict the necessary capabilities for emergency response involving fires at facilities open storage timber.

УДК 614.842.

В.И. Желяк, к.т.н., доц., А.В. Лазаренко, к.т.н., А.Я. Регуш, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ГОРЯЩИХ ШТАБЕЛЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Проведено експериментальное определение плотности теплового потока от штабеля с древесиной с последующим сравнением полученных экспериментальных значений с расчетами, полученными по двум методикам. Сравнение полученных результатов дает основания говорить о большой точности прогнозирования плотности теплового потока при использовании одной из методик, позволяет лучше спрогнозировать необходимые силы и средства для ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами на объектах открытого хранения лесоматериалов.

UDC 614.844; 614.845

D. Zhurbinskii, V. Balanyuk, Candidate of Science (Eng)

PHLEGMATIZING EFFECTIVENESS OF AEROSOL BASED ON POTASSIUM SALT

Phlegmatizing effectiveness of aerosol depends on some factors, particularly on concentrated limits of fuel mixture and on the way of aerosol supply into fuel mixture. The experiment of determination of phlegmatizing effectiveness of aerosol at lower and upper concentration limits of flame spread is carried out. It is found out that aerosol has got phlegmatizing characteristics, the influence of which is evident during the concentration of 35-37 g/m³. It is concluded that for further raising of phlegmatizing effectiveness in aerosol system it is necessary to increase the concentration of gases CO₂, N₂ and steam of water.

УДК 614.844; 614.845

Д.А. Журбинский, В.М. Баланюк, к.т.н., доц.

ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЭРОЗОЛЯ НА ОСНОВЕ СОЛЕЙ КАЛИЯ.

Флегматизирующая эффективность аэрозоля зависит от многих факторов, в частности от концентрационных пределов горючей смеси и способа подачи аэрозоля в горючую смесь. Проведен эксперимент по определению флегматизирующей эффективности аэрозоля при нижней и верхней концентрационных пределах распространения пламени (КМПП). Выявлено, что аэрозоль владеет флегматизирующими свойствами, влияние которых хорошо проявляются уже при концентрации 35 - 37 г/м³. Сделан вывод, что для дальнейшего повышения флегматизирующей эффективности в аэрозольной системе необходимо увеличить концентрацию газов - CO₂, N₂, паров H₂O.

UDC 004.056

M. Zakharova, Cand. Of Sc. (Eng)

THE METHOD OF SELECTION AND ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SYSTEMS TOOLS AND SAFETY MEASURES IN THE FACE OF UNCERTAINTY

The work is devoted to the process of synthesis of tools for organizational security. The selection method of tools for organizational security has been developed. This method allows determining the relative ability of an appropriate security system to resist hazards. It may be possible at the expense of mechanisms ranking due to their compliance to declared security standards.

УДК 004.056

М.В. Захарова, к.т.н.

МЕТОД ВЫБОРА И АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ МЕР И СРЕДСТВ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Работа посвящена совершенствованию процессов выбора средств противопожарной защиты с целью повышения эффективности функционирования систем противопожарной защиты в организации. Разработанный метод выбора средств защиты, за счет использования нечеткой логики, позволяет определить способность соответствующей системы защиты противостоять опасным факторам.

UDC 614.842.83

Karakotsia A.W., Yatsenko I.P., Gnenny A.P.

THE FUTURES RESEARCH OF PHASE-ARRAY ANTENNAS FOR SYSTEMS OF UHF RADIOCOMMUNICATION OF CPS OF UKRAINE

The problem of features research of phase - array antennas and their usage in radar system, radionavigation and aircraft communication systems are considered in this work. The possibility of such antennas usage in communication systems of fire rescue service is also one of ways of increasing these systems efficiency.

УДК 614.842.83

Каракоця А.В., Яценко И.П., Гненный А.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ ОСС ГО УКРАИНЫ

В работе рассматривается проблема исследования характеристик фазированных антенных решеток, которые используются в радиолокации, радионавигации и авиационных системах связи, а также возможность использования такого типа антенн в системах радиосвязи оперативно-спасательной службы, как одного из путей повышения эффективности таких систем.

UDC 614. 842

I.V. Karpenchuk, Cand. Of Sc. (Eng), P.V. Maksimov

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AEROSOL FIRE SYSTEMS FIRE-EXTINGUISHING GAS-DYNAMIC COOLING MIX

The analysis of the fire extinguishing aerosol generators. Ways of reducing the temperature of extinguishing medium at the outlet of the generator. Proposed as a cooler device according to the Laval nozzle type. The technique of calculating device of the type of the Laval nozzle.

УДК 614. 842

I.B. Карпенчук, к.т.н., доц., П.В.Максимов

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРОЗОЛЬНИХ УСТАНОВОК ПОЖЕЖОГАСІННЯ
ГАЗОДИНАМІЧНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ ВОГНЕГАСНОЇ СУМІШІ**

Проведено аналіз роботи генераторів вогнегасячого аерозолі. Розглянуті способи зменшення температури вогнегасного середовища на виході з генератора. Запропоновано в якості охолоджувача пристрій типу сопла Лавалю. Представлена методика розрахунку пристрою по типу сопла Лавалю.

UDC 614.841.332

P.G. Krukovsky, Dr. Of Sc.,(Eng),Prof., Chala I.V, Perelelytsa M.S.

**METAL COLUMNS FOR THE NSC "OLYMPIC" STADIUM THERMAL
ANALYSIS UNDER REAL FIRE INFLUENCE
(questions of verification)**

Through the metal columns for the NSK "Olympic" stadium thermal state analysis of transient temperature distribution calculation results verification issues for large structures under real fires for further evaluation of their fire resistant with field method (CFD-technology) application are considered. The verification for chosen model and stadium column temperature calculation results obtained by different CFD-programs (for the discussed example FLUENT and FDS programs) are presented.

УДК 614.841.332

П.Г. Круковський, д.т.н., проф., І.В.Чала, М.С.Перепелиця

**АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ КОЛОН СТАДІОНУ НСК
«ОЛІМПІЙСЬКИЙ» ПРИ ДІЇ РЕАЛЬНОЇ ПОЖЕЖІ
(питання верифікації)**

На прикладі аналізу теплового стану металевої несучої колони стадіону НСК «Олімпійський» розглянуті питання верифікації результатів розрахунку розподілу нестационарних температур конструкцій великих споруд в умовах реальних пожеж для подальшої оцінки їх вогнестійкості при застосуванні польового методу (CFD-технології). Наведено результати верифікації обраної моделі та отриманих результатів розрахунку температур колони стадіону шляхом застосування різних CFD-програм (для розглянутого прикладу програм FLUENT і FDS).

UDC 004.722:681.5.01

S. Kutsenko, Cand. Of Sc. (Eng), M. Musiyenko, Dr. Of. Sc. (Eng), V. Savinov, P.I.Zaika, Cand. Of Sc. (Eng), lecturer

USE OF F-METHOD FOR DEVELOPING SYSTEMS FIRE AUTOMATION

The proposed use of the F-method in the development of fire prevention. The algorithm of the F-method in the solution of problems placing smoke detectors on the ceiling. Developed software using C++, which confirmed the applicability of the method in the F-location problem of fire detectors. Studies have shown that the implementation of the proposed method of placing fire detectors allows up to 40% reduction in time for determining whether a fire with a slight increase in the number of detectors (2-3%).

УДК 004.722:681.5.01

С.В. Куценко, к.т.н., М.П. Мусієнко, д.т.н., проф., В.Ю. Савінов, П.І. Заїка, к.т.н., доц.

ВИКОРИСТАННЯ Ф-МЕТОДУ ПРИ РОЗРОБЦІ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ АВТОМАТИКИ

Запропоновано використання Ф-методу при розробці систем пожежної автоматики. Розроблено алгоритм застосування Ф-методу у вирішенні задач розміщення пожежних сповіщувачів на стелі. Розроблено програмний продукт з використанням мови C++, який підтвердив можливість застосування Ф-методу в задачах розміщення пожежних сповіщувачів. Проведені дослідження показали, що реалізація запропонованого методу розміщення пожежних сповіщувачів дозволяє до 40% скоротити час на виявлення факту загоряння при незначному збільшенні числа сповіщувачів (до 2-3%).

UDC 620.197.6 : 678.043

O. Lavrenyuk, Cand. of Sc. (Eng)

THE IMPACT OF DISPERSE FILLERS ON A FLAMMABILITY AND PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF EPOXIDE COMPOSITIONS

The problem of reducing the flammability of composite materials based on epoxy resins was examined. Also it was carried out a complex investigation of the effect of disperse fillers, particularly kaoline, on the physicomachanical properties and highly inflammable materials based on polyvinylpyrrolidone epoxiamin compositions.

УДК 620.197.6 : 678.043

Е.И. Лавренюк, к.т.н.

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ГОРЮЧЕСТЬ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Рассмотрена проблема снижения горючести композиционных материалов на основе эпоксидных смол. Проведено комплексное исследование влияния дисперсных наполнителей, в частности каолина, на физико-механические свойства и пожароопасность материалов на основе модифицированных поливинилпирролидоном эпоксиаминных композиций.

UDC 614.838; 623.459.59

A. Levchenko, PhD., D. Levchenko, V. Crystal, A. Zemlyanskii, Ph.D.

THE COMPLEX IS THE EARLY DETECTION OF TECHNOGENIC EMERGENCIES

The presented set of early detection of possible emergencies in the early stages of their occurrence.

УДК 614.838; 623.459.59

А.Д. Левченко, к.т.н., доц., Д.Е. Левченко, В.Н. Кришталь, А.Н. Землянский, к.т.н.

КОМПЛЕКС РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Представлен комплекс раннего обнаружения возможных чрезвычайных ситуаций на ранних стадиях их возникновения.

UDK 159.9:316.6: 614.84

L. M. Mandryk, I. P. Jatsenko, A. V. Karakotsia

RESEARCH ON AGGRESSION PHENOMENON IN FUTURE SPECIALISTS OF STATE SERVICE OF UKRAINE IN EMERGENCY SITUATIONS

The article reveals the problem of study of aggression phenomenon in future specialists of State Service of Ukraine in emergency situations. The term “aggression” is viewed as a result of distortion of professional and personal qualities in a specialist as affected by negative factors of activity and environment. Psychological analysis of different approaches to the study of aggression and peculiarities of its manifestation as a whole and in specialists of State Service of Ukraine in emergency situations was performed.

УДК 159.9:316.6: 614.84

Л.М. Мандрик, І.П. Яценко, А.В. Каракоця

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОМЕНА АГРЕССИВНОСТИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ УКРАИНЫ ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ

В статье раскрыта проблема изучения агрессивности будущих специалистов Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям. Понятие «агрессивности» рассматривается как результат искажения профессиональных и личностных качеств специалиста под влиянием негативных факторов деятельности и окружающей среды. Проведен психологический анализ разных подходов к изучению агрессивности и особенностей ее проявления у специалистов Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям.

UDC 624,012

V. Nuyanzin, S. Pozdeyev, Dr. Of Sc. (Eng), A. Pozdeyev, Cand. Of Sc. (Eng), A. Kovaliov, Cand. Of Sc. (Eng), A. Nuyanzin

ANALYSIS OF ERRORS IN TEMPERATURE MEASUREMENT ERROR IN DETERMINING THERMAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE REINFORCED CONCRETE COLUMNS THAT SUFFERED IMPACT OF CLIMATIC FACTORS

The effect of errors in determining temperatures in samples reinforced concrete columns, which has been influenced by climatic factors for 30 years, during experimental studies on the accuracy of the thermal characteristics of concrete (thermal conductivity and heat capacity per unit volume).

УДК 624.012

В.М. Нуянзин, С.В. Поздеев, д.т.н., доц., А.В. Поздеев, к.т.н., А.И. Ковалев, к.т.н., А.М. Нуянзин

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБОК В ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУР НА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ, ИСПЫТАВШЕЙ ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Исследовано влияние ошибок при определении температур в образцах железобетонной колонны, которая подверглась воздействию климатических факторов продолжительностью 30 лет, во время проведения экспериментальных исследований на точность определения теплофизических характеристик бетона (коэффициента теплопроводности и удельной объемной теплоемкости).

UDC 624.012

Nuyanzin O.M., Pozdeyev S.V. Dr. Of Sc. (Eng), Andrienko V.M. Cand. Of Sc. (Eng), Yeremenko S.A. Cand. Of Sc. (Eng)

**ADEQUACY OF MATHEMATICAL MODEL OF HEAT AND MASS EXCHANGE
RESEARCH ON FIRE-RESISTANCE OF BUILD CONSTRUCTIONS.**

Adequacy of fire stoves settings mathematical models is in-process probed for tests on the reinforce-concrete build constructions fire-resistance on the basis of the complete system of equalizations of Nav'e-Stoks by a programmatic complex FlowVision 2.5. Comparison of the tests results got by a computer design is conducted on a fire-resistance in fire stoves with experimental information. Accordance of design results is rotined in the environment of CFD programs to the real tests information.

УДК 624.012

Нуянзин А.М., Поздеев С.В., д.т.н., доц., Андриенко В.Н., к.и.н., доц., Еременко С.А., к.т.н., доц.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ТЕПЛОМАССОБМЕНА ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

В работе исследуется адекватность математических моделей огневых печей установок для испытаний на огнестойкость железобетонных строительных конструкций на основе полной системы уравнений Навье-Стокса с помощью программного комплекса FlowVision 2.5. Проведено сравнение результатов, полученных путем компьютерного моделирования испытаний на огнестойкость в огневых печах, с экспериментальными данными. Показано соответствие результатов моделирования в среде CFD программ данным реальных испытаний.

UDC 614.842

V.V. Popovych, Cand. Of Sc. (Agr.), Ya.I. Pidgorodetsky, Cand. Of Sc. (Eng.), I.V. Pashnak, D.V. Rudenko

**HYDRAULIC TESTING MANUAL FIRE BARREL WITH AUTONOMOUS SUPPLY
OF FOAM**

The results of hydraulic tests of manual fire logs with independent supply foam. Established that the flight range of continuous foam jet at pressure of 6 kg/cm² is 11.4 m. Time fighting through this barrel is 10 s, the area of fighting 6 m². The proposed barrel effectively used in small Class B fires, the burning of cars, trams, trolleys etc. Recruit him find fire trucks with pumping units without tanks of foaming agents and stationary mix foam.

УДК 614.842

В.В. Попович, к.с.-х.н., Я.И. Пидгородецкий, к.т.н., И.В. Паснак, Д.В. Руденко

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РУЧНОГО ПОЖАРНОГО СТВОЛА С
АВТОНОМНЫМ ЗАПАСОМ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ**

Приведены результаты гидравлических испытаний пожарного ручного ствола с автономным запасом пенообразователя. Установлено, что дальность полета сплошной струи пены при давлении 6 кгс/см² составляет 11,4 м. Время тушения с помощью данного ствола составляет 10 с, площадь тушения 6 м². Предложенный ствол эффективно использовать при незначительных пожарах класса В, при горении легковых автомобилей, трамваев, троллейбусов и т.п. Комплектовать им предлагается пожарные машины с насосными установками при отсутствии баков с пенообразователем и стационарного пеносмесителя.

UDC 614.841.345

V.L. Poteha, A.V. Poteha, G.N. Zdor

ROBOTIC FIREFIGHTING SYSTEMS IN BELARUS

The results of research and experimental development on the design, testing and practical application of robotic fire-fighting systems are described.

УДК 614.841.345

В. Л. Потеха, д.т.н., проф., А. В. Потеха, Г.Н. Здор, д.т.н., проф.

РОБОТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ В РЕСПУБЛІЦІ БІЛОРУСЬ

Представлені результати науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення, випробування та практичного використання роботизованих систем пожежогасіння.

UDC 624.014

I.Rudeshko, Y.Otrosh, Candidate of Sciences (Engineering), V.Zolotariov

THE PECULIARITIES OF CHEMICAL COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIRE-RESISTANT STEEL

The comparative analysis of chemical composition and mechanical properties of new fire-resistant and ordinary building steels has been considered and done in the article. The article also describes the peculiarities of chemical composition and mechanical properties of fire-resistant steel produced by Kawasaki Steel Company, Japan.

УДК 624.014

И.В. Рудешко, Ю.А. Отрош, к.т.н., доц., В.В.Золотарев

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОГНЕСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

В статье проведен сравнительный анализ химического состава и механических свойств новых огнестойких и обычных строительных сталей. Представлены особенности химического состава и механических свойств огнестойкой стали фирмы Kawasaki Steel, Япония.

UDC 614.843 (075.32)

O. Koval

SPEED OF DISTRIBUTION OF FIREFRONT ON OPEN STORAGE OF SAW-TIMBERS

On the basis of analysis of process of development and distribution of fire depending on the place of her origin on open storages of saw-timbers of woodworking enterprises and taking into account speed of wind speed of distribution of firefront is considered. It is set with the use of графових models of variants of distribution of fire, that the least duration of distribution of firefront will be in the case when she will arise up in the center of quarter of storage. On the basis of results of analysis of speed of distribution of firefront there is possibility to work out directions for prognostication of measures to diminishing of risk of origin of fire, and in the case of her origin to diminishing of area of her distribution. that is very important for diminishing of fire losses.

Keywords: fire, composition of saw-timbers, stack, speed of distribution of firefront, convection column, caloradiance.

УДК 614.843 (075.32)

А.М. Коваль, к.т.н.

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ПОЖАРА НА ОТКРЫТЫХ СКЛАДАХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

На основании анализа процесса развития и распространения пожара в зависимости от места его возникновения на открытых складах пиломатериалов деревообрабатывающих предприятий и с учетом скорости ветра рассмотрена скорость распространения фронта пожара. С использованием графовых моделей вариантов распространения пожара установлено, что наименьшая продолжительность распространения фронта пожара будет в случае, когда он возникнет в центре квартала склада. На основании результатов анализа скорости распространения фронта пожара есть возможность разработать направления для прогнозирования мероприятий, ведущих к уменьшению риска возникновения пожара, а в случае его возникновения – к уменьшению площади распространения. что является очень важным для уменьшения убытков от пожара.

Ключевые слова: пожар, состав пиломатериалов, штабель, скорость распространения фронта пожара, конвективная колонка, тепловое излучение.

UDC 544.128.12

V.V. Kukueva, PhD of chemistry, Associate Professor, R.V. Romanyuk

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATIONS OF HEKSAFLUORPROPANE INHIBITING PROPERTIES

Destruction energies of molecules of fire extinguishing substances have been studied by quantum-chemical calculations using Hartree-Fock method with the basis set 6-31 G * in order to find new compounds for their use in fire fighting as an alternative replacement halocarbon. It is shown that the decomposition products of fluorine-containing hydrocarbons form effective traps for the active centers of the flame.

УДК 544.128.12

В.В. Кукуева, к.х.н., н., доц., Р.В. Романюк

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНГИБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ГЕКСАФЛУОРПРОПАНА

Представлены квантово-химические расчеты методом Хартри-Фока с базисным набором 6-31 G * энергий деструкции исследуемых молекул с целью поиска новых веществ для применения их в пожаротушении как альтернативной замены хладонов. Показано, что фторсодержащие углеводороды при разложении образуют эффективные ловушки для активных центров пламени.

АВТОРИ (алфавітний показчик)

Стор.

Акіншин В.Д.	10
Андрієнко В.М.	91
Баланюк В.М.	32
Баракін А.Г.	10
Гвоздь В.М.	10
Гнєний О.П.	43
Гуліда Е.М.	15
Єременко С.А.	91
Жартовський С.В.	20
Желяк В.І.	28
Журбинський Д.А.	32
Заика П.И.	60
Захарова М.В.	38
Здор Г.Н.	106
Землянський О.М.	71
Золотарьов В.В.	116
Каракоця А.В.	43,79
Карпенчук И.В.	47
Квашніна О.В.	10
Коваль В.М.	123
Ковальов А.І.	4,86
Кришталь В.М.	71
Круковський П.Г.	53
Кукуєва В.В.	132
Куценко С.В.	60
Лавренюк О.І.	66
Лазаренко О.В.	28
Левченко А.Д.	71
Левченко Д.Є.	71
Мандрик Л.М.	79
Максимов П.В.	47
Марченко В.А.	10
Мовчан І.О.	15
Мусяєнко М.П.	60
Нуянзін В.М.	86
Нуянзін О.М.	86,91
Отрош Ю.А.	116
Паснак І.В.	101
Перепелица М.С.	53
Підгородецький Я.І.	101
Поздєєв А.В.	86
Поздєєв С.В.	86,91
Попович В.В.	101
Потеха А.В.	106
Потеха В.Л.	106
Регуш А.Я.	28
Романюк Р.В.	132
Руденко Д.В.	101
Рудешко І.В.	116
Савинов В.Ю.	60
Чалая И.В.	53
Яценко І.П.	43,79

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ У НАУКОВЕ ФАХОВЕ ВИДАННЯ «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА»

(ВИХОДИТЬ 3 РАЗИ НА РІК, РУКОПИСИ СТАТЕЙ ПРИЙМАЮТЬСЯ
ДО 01.03, ДО 01.07 ТА ДО 01.11 ПОТОЧНОГО РОКУ)

Тематична спрямованість видання «Пожежна безпека: теорія і практика» – висвітлення проблемних питань і результатів фундаментальних і прикладних наукових досліджень в сфері пожежної безпеки, а також психології діяльності в особливих умовах.

Згідно з постановою ВАК України від 15 січня 2003 р. «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України» у науковій статті мають бути наявні такі необхідні елементи:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження;
- перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. Матеріали для публікації в друкованому та електронному вигляді повинні бути написані українською, англійською або російською мовою й оформлені таким чином:

- у першому рядку ліворуч вказують індекс **УДК** (виділити жирним);
- через рядок (у називному відмінку, прямим шрифтом, по центру) ініціали, прізвище, науковий ступінь, учене звання, місце роботи автора (скорочення наукових ступенів та вчених звань оформити згідно з вимогами ВАК);
- через рядок (по центру великими літерами, виділити жирним) **НАЗВА СТАТТІ**;
- через рядок анотація українською мовою (рекомендований обсяг не більше 500 друкованих знаків), яка вміщує характеристику основної теми, проблеми об'єкта, мету роботи та її результати, представлені в статті (друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 10, ліве поле – 3,75 см, праве – 2,75 см).
- через рядок: ключові слова (не менше 3);
- через рядок текст статті;
- через рядок (по центру, великими літерами, жирним шрифтом) **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**. Список літератури оформляється відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 *Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання*;

2. Текст статті має бути набраний шрифтом Times New Roman, 12 кеглем, міжрядковий інтервал одинарний; верхнє і нижнє поле – 2 см, ліве – 2,5 см, праве – 1,5 см; абзац – 1,25 см. **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 друкованого рукопису: стаття роздрукована на білих аркушах паперу формату А4 в якості, достатній для коректорського опрацювання, з підписами авторів на кожній сторінці.

7. Вимоги до електронної копії статті: стаття має бути в одному файлі, названому за прізвищем першого автора (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**

8. Якщо автори не мають наукового ступеня та вченого звання, то до статті додається рецензія кандидата або доктора наук за профілем даного наукового дослідження.

9. Відповідальність за науковий зміст статті, точність фактів, дат, формул, прізвищ тощо несе автор.

10. Статті, переклад яких здійснено електронними перекладачами, статті з великою кількістю помилок або такі, що не відповідають вимогам щодо технічного оформлення (див. пп. 1-7), до розгляду не приймаються. Рішення про публікацію рукопису статті приймає редакційна колегія збірника. Прорецензована стаття може бути повернута автору на доопрацювання, відхилений оригінал авторові не повертається. В одному номері може бути опублікована тільки одна стаття кожного автора.

До статті на окремому аркуші додаються:

- анотація англійською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12);

- анотація російською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12).

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 614.84

Ю.П. Рак, д.т.н., проф., ЛДУБЖД, О.В. Савченко, к.т.н., доц., НУЦЗУ,
О.І. Шкоруп, к.т.н., с.н.с., УкрНДІПБ

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 під час 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 не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Для з'ясування економічної ефективності ГУС необхідно проведення відповідних розрахунків, які дозволять порівняти ГУС і традиційну ВР – воду. Задача ускладнюється тим, що на відміну від виробничих приміщень, складів матеріалів тощо, кількість і склад горючого завантаження у квартирах не регламентується.

Із аналізу роботи [2-4] відомі дані стосовно середньої кількості горючого завантаження в сучасній квартирі. Найбільшу частку горючого завантаження складає деревина та вироби на її основі – 47,1%, оббивка меблів – 34,1%, вироби з пластмаси – 11,1%, килими – 7,8%. Але безпосередньої інформації стосовно середньої «ціни» 1 м² квартири, яка включає в себе вартість меблів, майна, оздоблення тощо, в літературі немає.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Економічний результат P від використання ГУС буде визначатися за формулою:

$$P = W_B - W_H, \quad (1)$$

де W_B та W_H – відповідно збитки від пожеж для базового (гасіння водою) та нового варіанту (гасіння ГУС).

Таблиця 1 - Характеристика фізико-механічних властивостей вогнезахисних покриттів, що спучуються

Матеріал	ρ_o , кг/м ³	φ_0	λ_0 , Вт/(м·К)	μ_n	K	Θ , кДж/кг	$T_{нп}$, °С	$T_{кп}$, °С	κ_v	$\Theta \cdot 10^{11}$, Вт/(м·К ⁴)	ψ
ВПМ-2	1150	0,25	0,23	0,085	0,25	1500	100	500	7	9,6	2,0
ВПМ-2'	1100	0,28	0,29	0,073	0,25	1500	100	510	7	8,5	0,5
СГК-1	950	0,27	0,53	0,043	0,44	3000	150	400	25	9,1	0,5
Эндотерм ХТ-1500	930	0,3	0,46	0,160	0,45	2500	150	400	18	8,0	0,5

Пожежі у житловому секторі є найбільш поширеними у більшості країн світу. Не є виключенням й Україна. За останні роки від 70 до 85% пожеж відбувалось саме у житлових будівлях, на них припадає 95-98% загиблих. Щороку збитки від цих пожеж складають сотні мільйонів гривень. Але ще більшу суму складають побічні збитки. Наприклад, у 2006 році побічні збитки (547067 тис. грн.) перевищували прямі (200552 тис. грн.) більше ніж у 2,7 раз. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 2030 від 26 грудня 2003 року, до побічних збитків від пожеж відносяться оцінені у грошовому вираженні витрати на гасіння пожежі (вартість вогнегасних речовин, паливно-мастильних матеріалів тощо), ліквідацію її наслідків (враховуючи соціально-економічні та екологічні втрати), у тому числі на відбудову об'єкту; втрати, зумовлені простоєм у виробництві, перервою в роботі, зміною графіка руху транспортних засобів тощо. Майже 68% загальної кількості побічних збитків припадає саме на пожежі у житловому секторі.

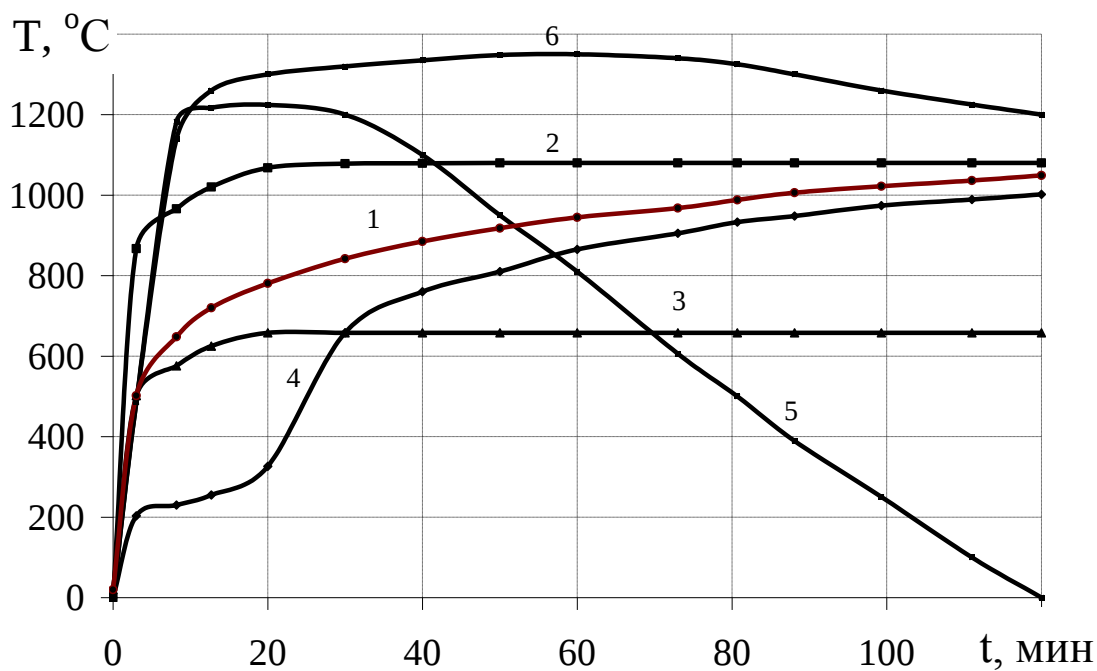


Рисунок 1 - Залежність зміни температури від тривалості вогневого впливу при різних темпах нагріву, де:

- 1 - стандартна температурна крива по ISO 834 і Держстандарт 30247.0-94;
- 2 - крива згідно EN 1363-2: 1999;
- 3 - мінімізована єдина стандартна температурна крива згідно ISO 834;
- 4 - крива тліючої пожежі згідно EN 1363-2: 1999;
- 5 - тунельна крива згідно стандарту Німеччини (RABT);
- 6 - тунельна крива згідно стандарту Нідерландів (RWS).

Висновки. Проведені розрахунки економічних показників засвідчили економічну доцільність використання ГУС для ліквідації пожеж на об'єктах житлового сектору. Екстраполяція одержаного результату дозволяє стверджувати, що використання даного складу дозволить зменшити матеріальні втрати від пожеж на об'єктах житлового сектору на $\approx 10\%$.

Перспективи подальших досліджень.

У цей момент в Україні відсутня нормативна база по визначенню вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів на залізобетонних конструкціях. Тому, метою подальших досліджень є вивчення особливостей підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою ВОП і можливості застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення вогнезахисної здатності ВОП на залізобетонних конструкціях при різних режимах пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захматов В.Д. Новые методы и техника для тушения лесных пожаров / В.Д. Захматов, Н.Я. Откидач, Н.В. Щербак // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – №4. – С.69-77.
2. Бондарев В.Ф. Организация и проведение водозащитных работ при тушении пожаров / В.Ф. Бондарев, П.М. Агеев // Крупные пожары: предупреждение и тушение/ Материалы 16 научно-практической конференции, Ч 2 . – М.: Изд-во ВНИИПО, 2001.– С. 239-241.
3. Савченко О.В. Попередження надзвичайних ситуацій при горінні полівінілхлориду / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, В.В. Тригуб, К.В. Жернокльов // Проблеми надзвичайних ситуацій: Сб. наук. пр. УЦЗ України – Харків, 2007. – Вип. 5. – С. 177 – 181.

ABSTRACTS

UDC 614.84

P. Krukovsky, Dr. Of Sc. (Eng), Y. Kachkar, Cand. Of Sc. (Eng), A. Kovalyov

APPLICATION OF SWELLING FIREPROOFING SURFACES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN DIFFERENT FIRE CONDITIONS

Was analyzed the application of swelling fireproofing surfaces in modern building and their physicochemical features. Was considered a question of fire-protective ability of fireproofing surfaces for reinforced concrete structures and parameters which influence on this ability. Was analyzed the existing fire conditions and their influence on fire-protective abilities, the problems of applying of experiment-calculated method of identification of this ability for protecting reinforced concrete structures.

УДК 614.84

Ю.П. Рак, д.т.н., проф., А.В. Савченко, к.т.н., доц., О.И. Шкоруп, к.т.н., с.н.с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОЖАРА

Проведен анализ применения вспучивающихся огнезащитных покрытий в современном строительстве и физико-механические характеристики таких покрытий. Рассмотрен вопрос огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий для железобетонных конструкций и параметры, от которых она зависит. Приведен анализ существующих режимов пожаров, их влияния на огнезащитную способность, возможности и проблемы применения расчетно-экспериментального подхода определения этой способности для защиты железобетонных конструкций.

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	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). 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). 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). 4. Шкляр В. Елементал : [роман] / Василь Шкляр. – Львів : Кальварія, 2005. – 196, [1] с. – (Першотвір).
Два автори	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). 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). 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.
Три автори	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.
Чотири автори	1. Методика нормування ресурсів для виробництва продукції рослинництва / [Вітвіцький В. В., Кисляченко М. Ф., Лобастов І. В., Нечипорук А. А.]. – К. : НДІ "Укراгропромпродуктивність", 2006. – 106с. – (Бібліотека спеціаліста АПК. Економічні нормативи). 2. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу : [підруч. для учнів проф. – техн. навч. закл.] / О. В. Гвоздев, Ф. Ю. Ялпачик, Ю. П. Рогащ, М. М. Сердюк. – К. : Вища освіта, 2006. – 478, [1] с. – (ПТО : Професійно-технічна освіта).

П'ять і більше авторів	1. Психология менеджмента / [Власов П. К., Липницкий А. В., Лушихина И. М. и др.] ; под ред. Г. С. Никифорова. – [3-е изд.]. – Х. : Гуманитар, центр, 2007. – 510с. 2. Формування здорового способу життя молоді : навч. – метод. посіб. для працівників соц. служб для сім'ї, дітей та молоді / [Т. В. Бондар, О. Г. Карпенко, Д. М. Дикова-Фаворська та ін.]. – К. : Укр. ін-т соц. дослідж., 2005. – 115с. – (Серія "Формування здорового способу життя молоді" : у 14 кн., кн. 13).
Без автора	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. Каліушенко В. та ін.]. – Чернівці : Рута, 2007. – 310 с.
Словники	1. Географія : словник-довідник / [авт. – уклад. Ципін В. Л.]. – Х. : Халімон, 2006. – 175, [1] с. 2. Тимошенко З. І. Болонський процес в дії : словник-довідник основ, термінів і понять з орг. навч. процесу у вищ. навч. закл. / З. І. Тимошенко, О. І. Тимошенко. – К. : Європ. ун-т, 2007. – 57 с. 3. Українсько-німецький тематичний словник [уклад. Н. Яцко та ін.]. – К. : Карпенко, 2007. – 219 с. 4. Європейський Союз : словник-довідник / [ред. – упоряд. М. Марченко]. – 2-ге вид., оновл. – К. : К.І.С., 2006. – 138 с.
Багатотомний документ	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	1. Економіка, менеджмент, освіта в системі реформування агропромислового комплексу : матеріали Всеукр. конф. молодих учених-аграрників ["Молодь України і аграрна реформа"], (Харків, 11 – 13 жовт. 2000 р.) / М-во аграр. політики, Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. – Х. : Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва, 2000. – 167 с. 2. Кібернетика в сучасних економічних процесах : зб. текстів виступів на республік, міжвуз. наук. – практ. конф. / Держкомстат України, Ін-т статистики, обліку та аудиту. – К. : ІСОА, 2002. – 147 с. 3. Матеріали ІХ з'їзду Асоціації українських банків, 30 червня 2000 р. інформ. бюл. – К. : Асоц. укр. банків, 2000. – 117 с. – (Спецвип. : 10 років АУБ). 4. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6 – 9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трощенко. – К. : НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559– 956, ХІІІ, [2] с. – (Ресурс 2000). 5. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : зб. наук, праць / наук. ред. В. І. Моссаковський. – Дніпропетровськ : Навч. кн., 1999. – 215 с. 6. Ризикологія в економіці та підприємстві : зб. наук, праць за матеріалами міжнар. наук. – практ. конф., 27-28 берез. 2001 р. / М-во освіти і науки України, Держ податк. адмін. України [та ін.]. – К. : КНЕУ : Акад. ДПС України, 2001. – 452с.
Препринти	1. Шиляев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиляев Б. А., Воеводин В. Н. – Х. ННЦ ХФТИ, 2006. – 19 с. – (Препринт / НАН Украины, Нац. науч. центр "Харьк. физ. – техн. ин-т" ; ХФТИ 2006-4). 2. Панасюк М. І. Про точність визначення активності твердих радіоактивних відходів гамма-методами / Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Сплошной Б, М. – Чорнобиль : Ін-т пробл. безпеки АЕС НАМ України, 2006. – 7, [1] с. – (Препринт / НАН України, Ін-т пробл. безпеки АЕС ; 06-1).
Депоновані наукові праці	1. Социологическое исследование малых групп населения / В.И.Иванов [и др.] ; М-во образования Рос. Федерации, Финансовая академия. – М., 2002. – 1 10 с. – Деп. в ВИНТИ 13.06.02, № 145432. 2. Разумовский В. А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев. – М., 2002. – 210 с. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.
Атласи	1. Україна : екол. – геогр. атлас : присвяч. всесвіт, дню науки в ім'я миру та розвитку згідно з рішенням 31 сесії ген. конф. ЮНЕСКО / [наук, редкол. : С. С. Куруленко та ін.] ; Рада по вивч. продукт, сил України НАН України [та ін.]. – / [наук, редкол. : С. С. Куруленко та ін.]. – К. : Варта, 2006. – 217, [1] с. 2. Анатомія пам'яті : атлас схем і рисунків провідних шляхів і структур нервової системи, що беруть участь у процесах пам'яті : посіб. для студ. та лікарів / О. Л. Дроздов, Л. А. Дзяк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. – 2-ге вид., розшир. та доповн. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 218 с. 3. Куерда Х. Атлас ботаніки / Хосе Куерда ; [пер. з ісп. В. Й. Шовкун]. – Х. : Ранок, 2005. – 96 с.
Законодавчі та нормативні документи	1. Кримінально-процесуальний кодекс України : за станом на 1 груд. 2005 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2006. – 207 с. – (Бібліотека офіційних видань). 2. Медична статистика : зб. нормат. док. / упоряд. та голов. ред. В. М. Заболотько. – К. : МНІАЦ мед. статистики : Медінформ, 2006. – 459 с. – (Нормативні директивні правові документи). 3. Експлуатація, порядок і терміни перевірки запобіжних пристроїв посудин, апаратів і трубопроводів теплових електростанцій : СОУ-Н ЕЕ 39.501 : 2007. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007. – VI, 74 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).

Стандарти	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). 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). 3. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірального 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).
Каталоги	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. 2. Пам'ятки історії та мистецтва Львівської області : каталог-довідник / [авт. – упоряд. М. Зобків та ін.]. – Львів : Новий час, 2003. – 160 с. 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.
Частина книги, періодичного, продовжуваного видання	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. 2. Гранчак Т. Інформаційно-аналітичні структури бібліотек в умовах демократичних перетворень / Тетяна Гранчак, Валерій Горовий // Бібліотечний вісник. – 2006. – № 6. – С. 14–17. 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. 4. Ма Шуїн. Проблеми психологічної підготовки в системі фізкультурної освіти / Ма Шуїн // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 5. – С. 12–14. 5. Регіональні особливості смертності населення України / Л. А. Чепелевська, Р. О. Моїсеєнко, Г. 1. Баторшина [та ін.] // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2007. – № 1. – С. 25–29. 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. 7. Зеров М. Поетична діяльність Куліша // Українське письменство XIX ст. Від Куліша до Винниченка : (нарис з новітнього укр. письменства) : статті / Микола Зеров. – Дрогобич, 2007. – С. 245–291. 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. 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.

Бібліографічні показники	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. 2. Систематизований показчик матеріалів з кримінального права, опублікованих у Віснику Конституційного Суду України за 1997 – 2005 роки / [уклад. Кириш Б. О., Потлань О. С.]. – Львів : Львів, держ. ун-т внутр. справ, 2006. – 11 с. – (Серія : Бібліографічні довідники ; вип. 2).
Дисертації	1. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз., -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.
Автореферати дисертацій	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. 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.
Авторські свідоцтва	1. А. с. 1007970 СССР, МКМ³ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайки (СССР). – № 3360585/25-08 ; заявл. 23.11.81 ; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12.
Патенти	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.).
Електронні ресурси	1. Богомольний Б. Р. Медицина екстремальних ситуацій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. мед. вузів III – IV рівнів акредитації / Б. Р. Богомольний, В. В. Кононенко, П. М. Чув. – 80 Мп / 700 МВ. – Одеса : Одес. мед. ун-т, 2003. – (Бібліотека студента-медика) – 1 електрон, опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; MS Word 97-2000. – Назва з контейнера. 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. 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.