

**Міністерство України  
з питань надзвичайних ситуацій  
та у справах захисту населення від наслідків  
Чорнобильської катастрофи**

**Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності**

**Український науково-дослідний  
інститут пожежної безпеки**

# **ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА**

**збірник  
наукових праць**



**№14, 2009**



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,  
РОСІЙСЬКОЮ, ПОЛЬСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ  
ТА АНГЛІЙСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

## ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ЛДУ БЖД, УкрНДІПБ  
МНС України

**№ 14, 2009**

заснований у 2002 році

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

канд. техн. наук	<b>Ковалишин В.В.</b> - головний редактор
канд. техн. наук	<b>Антонов А.В.</b> - заступник головного редактора
д-р техн. наук	<b>Семерак М.М.</b> - науковий редактор
канд. фіз.-мат. наук	<b>Кузик А.Д.</b> - заступник наукового редактора
д-р техн. наук	<b>Гудим В.І.</b>
д-р техн. наук	<b>Гуліда Е.М.</b>
д-р техн. наук	<b>Гивлюд М.М.</b>
д-р техн. наук	<b>Жартовський В.М.</b>
д-р пед. наук	<b>Козяр М.М.</b>
канд. пед. наук	<b>Коваль М.С.</b>
д-р техн. наук	<b>Кузьо І.В.</b>
д-р техн. наук	<b>Мартин Є.В.</b>
д-р хім. наук	<b>Михалічко Б.М.</b>
д-р техн. наук	<b>Мичко А.А.</b>
канд. техн. наук	<b>Откідач М.Я.</b>
д-р техн. наук	<b>Пашковський П.С.</b>
д-р техн. наук	<b>Рак Ю.П.</b>
д-р техн. наук	<b>Сидорчук О.В.</b>
д-р хім. наук	<b>Сушко В.О.</b>
д-р фіз.-мат. наук	<b>Таций Р.М.</b>
д-р фіз.-мат. наук	<b>Юзевич В.М.</b>
канд. техн. наук	<b>Юзьків Т.Б.</b>

**ЗАРЕЄСТРОВАНО** Міністерством юстиції України 26.06.2008 р. Серія КВ №14342-3313ПР

**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 12 червня 2002 року № 1-05/6*)

**ПОШТОВИЙ ІНДЕКС** 94657

**РЕКОМЕНДОВАНО ДО ВИДАННЯ** рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД  
(*Протокол № 8 від 21.05.2009 р.*)

**Літературний редактор** Падик Г.М.

**Редактор англійської мови** Іванів О.В.

**Технічний редактор** Сорочич М.П.

**Комп'ютерна верстка та  
відповідальний за друк** Фльорко М.Я.

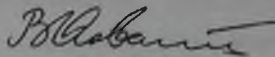
**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:** ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007  
**Контактні телефони:** (032) 233-24-79, 233-14-97, тел/факс 233-00-88  
**E-mail:** mail@ubgd.lviv.ua, ndr@ubgd.lviv.ua

Інформуємо Вас, що збірник наукових праць „Пожежна безпека” з 2006 року став передплатним виданням. Його поштовий індекс 94657, ціна одного примірника 52,02 грн; річна передплата – 104,04 грн.

„Пожежна безпека” видається з 2002 року у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності двічі на рік. Збірник внесено ВАК до переліку фахових видань у галузі технічних наук. У ньому публікуються статті, які є актуальними для працівників МНС і стосуються безпеки життєдіяльності людини.

Передплатити названий збірник можна у будь-якому поштовому відділенні України.

З повагою  
проректор з науково-дослідної роботи  
полковник служби цивільного захисту



**В.В.Ковалишин**

- В.В. Ковалишин, Р.Я. Лозинський,  
Я.Б. Кирилів**  
ТАКТИКО-ТЕХНІЧНІ ДІЇ ПОЖЕЖНО-  
РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРИ  
ДИСТАНЦІЙНОМУ ГАСІННІ ПОЖЕЖИ  
ПАРОГАЗОВОЮ СУМІШШЮ
- 7** *V.V. Kovalyshyn, R.Ya. Lozynskiy,  
Ya.B. Kyryliv*  
TACTICAL AND TECHNICAL ACTIONS OF  
THE FIRE-RESCUE SUBDIVISIONS WHILE  
DISTANT FIRE EXTINGUISHING BY  
STEAM-GAS MIXTURE
- Р.А. Бунь, О.П. Галюк**  
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ  
АНАЛІЗ ЕМІСІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ  
В РЕЗУЛЬТАТІ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В  
УКРАЇНІ
- 12** *R.A. Bun, O.P. Halyuk*  
MODELING AND SPATIAL ANALYSIS OF  
EMISSION OF GREENHOUSE GASES  
AS RESULT OF FOREST FIRES IN  
UKRAINE
- М.М. Семерак, Р.С. Яцишин**  
ПОЖЕЖНІ СПОВІЩУВАЧІ ІЗ  
ПРОТЯЖНИМИ РЕЗИСТИВНИМИ  
ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ
- 20** *M.M. Semerak, R.S. Yatsyshyn*  
FIRE DETECTORS WITH LINEAR  
RESISTIVE TRANSDUCERS
- Я.І. Хом'як, О.П. Якименко, Р.В. Климась**  
ЗАСТОСУВАННЯ РИЗИК-ОРІЄНТОВНИХ  
ПІДХОДІВ У ЗДІЙСНЕННІ НАГЛЯДОВОЇ  
ДІЯЛЬНОСТІ
- 25** *Ya.I. Hom'yak, O.P. Yakymenko, R.V. Klymas'*  
APPLICATION OF RISK-ORIENTED  
APPROACHES IN REALIZATION OF  
SUPERVISION ACTIVITIES
- В.І. Згуря**  
ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОВЕДЕННЯ  
ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ  
МЕЖИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ  
КОНСТРУКЦІЙ
- 31** *V.I. Zgurya*  
ESTIMATION OF QUALITY OF CARRYING  
OUT OF TEST FOR THE DETERMINATION  
OF FIRE RESISTANCE RATING OF  
BUILDING CONSTRUCTIONS
- В.І. Гудим, П.Г. Столярчук, В.М. Ванько,  
Ю.І. Рудик**  
ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
НОРМАТИВНОГО РІВНЯ БЕЗПЕКИ  
ПОБУТОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ
- 39** *V.I. Hudym, P.G. Stolarchuk, W.M. Wanko,  
Yu.I. Rudyk*  
TECHNICAL PROVIDENCE  
STANDARDIZES QUALITY LEVEL AND  
SAFETY OF ELECTRICAL NETWORKS OF  
EVERYDAY USE
- М.М. Гивлюд, С.Я. Вовк, В.Б. Лоїк,  
Д.Л. Дубина**  
ВОГНЕЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ  
НАПОВНЕНИХ ОКСИДНИМИ  
КОМПОНЕНТАМИ СИЛЦІЙОРГАНІЧНИХ  
СПОЛУК
- 44** *M.M. Hyvlyud, S.Ya. Vovk, V.B. Loik,  
D.L. Dubyna*  
FIRE-RESISTANT MATERIALS BASED ON  
OXIDE COMPONENTS-FILLED SILTITSUM-  
ORGANIC COMPOSITIONS
- А.П. Кушнір, Б.Л. Копчак**  
РЕАЛІЗАЦІЯ ПОЖЕЖНОГО  
СПОВІЩУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ  
НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ
- 50** *A.P. Kushnir, B.L. Kopchak*  
REALIZATION OF FIRE-ALARM BOX  
WITH THE USAGE OF FUZZY LOGIC

- С.В. Поздєєв, В.И. Осипенко, А.В. Поздєєв, В.М. Нуянзін*  
МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ РОБОТИ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІСЛЯ ТРИВАЛОГО КЛІМАТИЧНОГО ВПЛИВУ ПРИ ПОЖЕЖІ
- 56 *S.V. Pozdnyeyev, V.I. Osypenko, A.V. Pozdnyeyev, V.M. Nuyanzin*  
TECHNIQUE OF STUDYING THE WORK OF COMPRESSION MEMBERS OF CONCRETE STRUCTURES AFTER LONG-TIME CLIMATIC INFLUENCE DURING THE FIRE
- М.С. Коваль, Р.І. Сірко*  
ВРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТІ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ЛЮДЕЙ ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГОТЕЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ
- 62 *M.S. Koval, R.I. Sirko*  
PECULIARITIES OF PSYCHOLOGICAL BEHAVIOUR OF PEOPLE DURING THE PROJECTING OF EMERGENCY SITUATIONS AND HOTEL COMPLEXES
- Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко*  
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНЫ УЯЗВИМОСТИ ОБЪЕКТА «ЗАБОТЫ» ПОРАЖАЮЩИМИ ФАКТОРАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ
- 67 *Yu.A. Abramov, A.A. Tarasenko*  
MATHEMATICAL MODEL OF VULNERABILITY OBJECTS AREA "TURBOTA" WITH THE AFFECTING FACTORS OF EMERGENCY SITUATIONS
- І.М. Ольховий, Х.І. Лищинська*  
ПРО НАПРУЖЕНИЙ СТАН ТА МІЦНІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ПРИ ДІЇ ТЕМПЕРАТУРИ, ЩО ЗМІНЮЄТЬСЯ ЗА ЛІНІЙНИМ ЗАКОНОМ
- 74 *I.M. Olkhovyi, H.I. Lishchinska*  
ABOUT STRESS CONDITION AND DURABILITY OF CYLINDRICAL TANKS AT ACTION OF TEMPERATURE WHICH CHANGES UNDER THE LINEAR LAW
- А.А. Мичко, М.М. Клим'юк, А.С. Лин*  
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ СПЕЦІАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ДІЇ ВІДКРИТОГО ПОЛУМ'Я
- 79 *A.A. Mychko, M.M. Klymyuk, A.S. Lyn*  
THE INVESTIGATION OF THERMAL STABILITY OF SPECIAL MATERIALS IN AN OPEN FIRE
- Н.М. Годованець, Б.М. Михалічко, О.М. Шербина*  
УТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСУ  $[H_2NC_4H_8NH_2]CuCl_3$  В СИСТЕМІ  $CuCl$ -піперазин-НСІ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЧИННИК ІНГІБУВАННЯ ГОРІННЯ ОРГАНІЧНИХ АМІНІВ
- 84 *N.N. Godovanets, B.M. Mykhalichko, O.M. Shcherbyna*  
FORMATION OF  $[H_2NC_4H_8NH_2]CuCl_3$  COMPLEX IN A SYSTEM  $CuCl$ -PIPERAZINUM-HCL AS THE EFFECTIVE FACTOR OF INHIBITION OF BURNING OF ORGANIC AMINES
- А.Д. Кузик, В.В. Попович*  
ДІЯЛЬНІСТЬ ДЕРЖАВНИХ І МІЖНАРОДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ЛІСІВ, ЛАНДШАФТНОГО БІОРИЗНОМАНІТТЯ ТА ДОВКІЛЛЯ
- 91 *A.D. Kuzik, V.V. Popovych*  
THE COLLABORATION CONCERNING FORESTS PROTECTION, LANDSCAPE BIODIVERSITY AND ENVIRONMENT
- Ю.В. Цапко, В.М. Жартовський, М.Е. Карташов*  
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ ТАРИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА БОЄПРИПАСІВ
- 97 *Yu.V. Tsapko, V.M. Zhartovs'kyu, M.E. Kartashov*  
RESEARCH OF HEAT CONDUCTIVITY OF FIRE PROTECTIVE WOODEN CONTAINERS FOR ARMAMENT AND AMMUNITION STORAGE

- О.І. Башинський, В.В. Артеменко, Т.Б. Боднарчук, В.М. Андрієнко**  
ГОЛОВНІ ВІДМІННОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ СТРІЧКОВОЮ ТА СТЕРЖНЕВОЮ АРМАТУРОЮ ПРИ ЗГІНІ ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ ТА ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
- 104** *O.I. Bashinskiy, V.V. Artemenko, T.B. Bodnarchuk, V.M. Andrienko*  
MAIN DIFFERENCES OF WORK OF CONCRETE STRUCTURES ELEMENTS WITH BEND AND REINFORCEMENT ROOL UNDER THE ACTION OF TRANSVERSE FORCES AND HIGH TEMPERATURES
- С.Д. Муравьев, А.В. Бабич**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ СО СЛОЖНЫМ ВОЗДУХООБМЕНОМ
- 110** *S.D. Muravyov, A.V. Babich*  
RESEARCH OF AIR FLAW IN APARTMENTS WITH DIFFICULT VENTILATION
- О.Б. Зачко, Ю.П. Рак**  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ПРОЕКТАХ РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ
- 116** *O.B. Zachko, Yu.P. Rak*  
A MATHEMATICAL MODELLING OF LEVEL LIFE SAFETY IN THE PROJECTS OF REGIONAL DEVELOPMENT
- В.М. Баланюк**  
ЗАЛЕЖНІСТЬ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ ВІД ЗНАЧЕНЬ КОНЦЕНТРАЦІЙНИХ МЕЖ ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я
- 122** *V.M. Balanyuk*  
THE INFLUENCE OF CONCENTRATION BOUNDARIES AND THE WAY OF AEROSOL DELIVERY ON ITS MINIMAL FIRE EXTINGUISHING CONCENTRATION ON A BASIS OF INORGANIC POTASSIUM SALTS
- А.В. Каминський**  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВИСОТНОГО ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ДИСИПАТОРОМ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ
- 127** *A.V. Kaminskyi*  
THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INDIVIDUAL HIGH-RISE FIRE AND RESCUE DEVICE WITH A KINETIC ENERGY DYSYPATOR
- М.М. Семерик, Н.М. Козяр, В.В. Ковалишин**  
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПІННИХ ЗАРЯДІВ ВОГНЕГАСНИКІВ
- 133** *M.M. Semerak, N.M. Kozyar, V.V. Kovalyshyn*  
IDENTIFICATION OF FOAMY CHARGES OF FIRE-EXTINGUISHERS
- І.Г. Маладика, О.І. Дядченко**  
ВПЛИВ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ ТРИКОМПОНЕНТНИХ ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКОВИХ СУМІШЕЙ НА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ
- 139** *I.H. Maladyka, O.I. Dyudchenko*  
THE INFLUENCE OF BASIC INGREDIENTS OF THREE COMPONENT OF FIRE-EXTINGUISHING POWDER COMPOSITIONS ON THEIR EFFICIENCY
- С.П. Назарчук, Д.О. Чалий, С.Д. Кухарішин**  
ОБЧИСЛЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ КОЛІН ПОЖЕЖНОЇ АВТОДРАБИНИ «BERLIET»
- 144** *S.P. Nazarchuk, D.O. Chalyi, S.D. Kukharishyn*  
THE CALCULATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF FLAT SECTIONS OF BENDS OF EXTENSION LADDER «BERLIET»
- В.П. Диденко**  
ОЦЕНКА ИСКРОБЕЗОПАСНОСТИ ОМИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
- 151** *V.P. Didenko*  
AN ASSESSMENT OF INTRINSICALLY SAFETY OF OHMIC CHAINS

**О.О. Тригуба, Б.О. Білінський, П.О. Ішук**  
ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ  
ТА НЕШКІДЛИВИХ УМОВ ПРАЦІ ПРИ  
УТИЛІЗАЦІЇ ГІДРОЛІЗНОЇ СУЛЬФАТНОЇ  
КИСЛОТИ НА ЗАТ «КРИМСЬКИЙ  
ТИТАН»

159

**O.O. Tryguba, B.O. Bilinsky, P.O. Ischuk**  
TO QUESTION OF CREATION OF SAFE  
AND HARMLESS TERMS OF LABOUR  
DURING UTILIZATION OF HYDROLIZED  
SULFATE ACID ON JOINT-STOCK  
COMPANY OF «KRIMSKIY TITAN»

**В.В. Ковалишин, Т.В. Бойко, І.М. Зінченко**  
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВПЛИВУ  
ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ НА ОСЕРЕДОК  
ПОЖЕЖИ У ЗАМКНУТОМУ КОНТУРІ

166

**V.V. Kovalyshyn, T.V. Boyko, I.M. Zinchenko**  
DESIGN OF PROCESSES OF INFLUENCING  
OF PRODUCTS OF BURNING ON THE  
CELL OF FIRE IN THE RESERVED  
CONTOUR

**А.А. Мичко, А.Д. Кузик, А.С. Лин**  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ  
ВИПРОБУВАННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ  
ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ

171

**A.A. Mychko, A.D. Kuzyk, A. S. Lyn**  
MATHEMATICAL MODELLING OF  
THERMAL RADIATION FOR PROBATION  
OF PROTECTIVE CLOTHES OF FIRE MEN

**Е.М. Гуліда, Д.П. Войтович**  
ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСТАВИН В ЗОНІ  
ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖИ В МІСТАХ

177

**E.N. Gulida, D.P. Vojtovich**  
PROGNOSTICATION OF CIRCUMSTANCES  
IN AREA OF ORIGIN OF FIRE IN CITIES

**Р.М. Василів**  
ПИЛОВЛОВЛЕННЯ – ЯК МЕТОД  
ЗНИЖЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ  
ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ ТА ВИБУХІВ  
СПРИЧИНЕНИХ ПИЛОМ

188

**R.M. Vasyliv**  
DUST EXTRACTION AS THE METHOD  
OF DECREASE OF FIRE EXPLOSIVE  
DUST QUALITIES

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ НА ОЧАГ ПОЖАРА В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ

В статье приведены результаты моделирования влияния содержания кислорода, и продуктов сгорания на очаг пожара в изолированном объеме.

Ключевые слова: динамика температуры, концентрация кислорода, интенсивности горения, зоне горения, изолированный объем, моделирование

*В.К. Kovalyshyn, Candidate of Science (Engineering), Docent, T.V. Boyko, I.M. Zinchenko, Candidate of Science (Engineering)*

## DESIGN OF PROCESSES OF INFLUENCING OF PRODUCTS OF BURNING ON THE CELL OF FIRE IN THE RESERVED CONTOUR

The results of design of influencing of maintenance of oxygen are resulted in the article, and products of combustion on the cell of fire in the isolated volume.

Key words: dynamics of temperature, concentration of oxygen, intensity of burning, the area of burning, isolated volume, design

УДК 614.842.84.

*А.А. Мичко д.т.н., проф., А.Д. Кузик, к.ф.-м. н., доц., А.С. Лин (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ

З допомогою моделювання здійснюється оцінка теплового випромінювання, яке діє на вертикальну поверхню від деяких високотемпературних джерел: конуса та прямокутника, які розташовані вертикально

Ключові слова: полум'я, математичне моделювання, променевий потік, інтенсивність теплового випромінювання, високотемпературні джерела

**Сучасний стан проблеми.** Горіння на пожежах супроводжується виділенням великої кількості тепла, значна частина якого передається тілам, які оточують осередок пожежі, шляхом випромінювання. Доля конвективної складової теплообміну в умовах пожежі (при температурах 800 °С і вище) незначна, тому основний вплив на прогрів оточуючих тіл відіграє дія випромінювання. Як нам відомо [4], що променевий тепловий потік, який надходить з полум'я залежить від ряду факторів, включаючи температуру полум'я і товщину, концентрацію випромінювальних речовин і геометричне відношення між полум'ям і приймачем випромінювання. Проте, на практиці полум'я може відрізнятись від циліндричної форми і наближатись до форми конуса. Зрозуміло, що в такому випадку значення теплового потоку буде дещо іншим і тому його визначення потребує додаткових досліджень. Це приводить до розгляду більш загальної задачі, яка полягає у дослідженні дії



теплого випромінювання від високотемпературних джерел різноманітної форми на вертикальну поверхню. Такими джерелами можуть бути полум'я, продукти горіння, предмети, нагріті до певної температури, тощо.

**Постановка завдання.** Метою роботи є моделювання теплового випромінювання, що діє на вертикальну поверхню від джерел, які мають форму конуса та прямокутника розташованого паралельно до вертикальної поверхні. Встановлюються при цьому залежності величини теплового потоку не лише від форми джерела випромінювання, а від його геометричних параметрів (висоти), а також віддаленості від джерела ділянки вертикальної поверхні.

**Виклад основного матеріалу.** При створенні математичного моделювання теплового випромінювання нами були опрацьовані два методи для визначення інтенсивності теплового випромінювання [1, 2], та запропоновано свій метод №3 визначення інтенсивності теплового випромінювання для випробування захисного одягу пожежників-рятувальників.

Розглянувши метод №1 ми бачимо, що рівняння Стефана-Больцмана [1], сумарна енергія, яка випромінюється тілом, прямопропорційна  $T^4$ , де  $T$  – абсолютна температура тіла в градусах Кельвіна. Сумарна випромінювальна потужність,  $\text{kВт/м}^2$ , обчислюється за формулою

$$E = e Q T^4 \quad (1)$$

де  $Q$  – константа Стефана-Больцмана,  $Q = 5,67 \cdot 10^8 \text{ Вт/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)}$ ,  
 $e$  – ступінь чорноти тіла, яке випромінює.

Інтенсивність випромінювальної енергії ( $q$ ), що падає на поверхню, віддалену від випромінювального тіла, визначається з допомогою відповідного коефіцієнта опромінення ( $\Phi$ ), який враховує геометричний зв'язок між тілом, яке випромінює і тілом, яке приймає випромінювання

$$q = \Phi e Q T^4 \quad (2)$$

Рівняння (1) дає можливість визначити сумарний променевий потік по всіх напрямках півсфери. Воно може використовуватись без будь-яких змін для розрахунку теплових втрат випромінювання з поверхні тіла. Оскільки теплове випромінювання має дифузійний характер, то для визначення інтенсифікації теплообміну з іншими тілами необхідний метод розрахунку кількості енергії, яка випромінюється в довільних напрямках. З цією метою вводиться поняття густини (інтенсивності) випромінювання в напрямку нормалі і випромінювальної поверхні ( $I_n$ ), для визначення густини випромінювання під кутом  $\theta$  до нормалі використовується закон Ламберта

$$I = I_n \cos \theta \quad (3)$$

який застосовується тільки до джерел дифузного випромінювання. Згідно з визначенням величини  $I_n$  і закону Ламберта, маємо

$$dE = I_n \cos \theta dA_1 d\omega, \quad (4)$$

де елементарний тілесний кут  $d\omega$  рівний за визначенням

$$d\omega = dA_2 / r^2 \quad (5)$$

$$dA_2 = 2\pi r \sin \theta r d\theta \quad (6)$$

Підставляючи вираз (5) і (6) у співвідношення (4), отримаємо

$$dE = 2I_n \sin \theta \cos \theta d\theta dA_1 \quad (7)$$

Представляючи це у вигляді теплового потоку, що випромінюється елементом поверхні  $dA_1$ , і беручи інтеграл від  $\theta=0$  до  $\theta=\pi/2$ , отримаємо

Найвний наближений метод визначення теплового випромінювання вимагає знання висоти полум'я  $l$ , її можна знайти із співвідношення  $l = 0,23Q_c - 1,02D$ . Інтенсивність тепловиділення  $Q_c$  може бути обчислена з виразу

$$Q_c = m\Delta H_c A_f \quad (9)$$

де  $A_f$  - площа поверхні пального,  $m^2$ .

При тридцятипроцентному рівні випромінювання теплоти згорання інтенсивність променевого тепловиділення можна записати у вигляді

$$Q_r = 0,3m\Delta H_c A_f. \quad (10)$$

По цьому методу приймається, що  $Q_r$  виходить від точкового джерела на осі полум'я на висоті  $0,5 l$  над поверхнею пального. Тепловий потік ( $qr$ ) на відстані  $R$  від точкового джерела  $P$  визначиться виразом

$$qr = 0,3m\Delta H_c A_f / 4\pi R^2 \quad (11)$$

як це ілюструється на рис. 1, де  $R^2 = (l/2)^2 + d^2$ , де  $d$  - відстань від осі факела до приймача випромінювання. Проте якщо поверхня приймача випромінювання розташована під кутом в до лінії видимості  $P'G$ , тоді необхідно зменшити величину потоку за допомогою введення множника, рівного:

$$qrT = (0,3m\Delta H_c A_f \cos\theta) / 4\pi R^2 \quad (12)$$

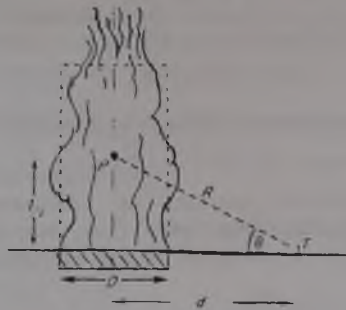


Рис.1. Оцінка променевого теплового потоку

Розглянувши метод №2 визначення інтенсивності теплового випромінювання  $q$ , кВт/ $m^2$ , ми бачимо [2], що тепловий потік визначається за формулою

$$q = E_f F_q \tau, \quad (13)$$

де  $E_f$  — середньповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, кВт/ $m^2$ ;

$F_q$  — кутовий коефіцієнт опромінення;

$\tau$  — коефіцієнт пропускання атмосферою.

$E_f$  приймають на основі наявних експериментальних даних. При відсутності даних допускається приймати величину  $E_f$  рівною 100 кВт/ $m^2$  для СВГ, 40 кВт/ $m^2$  для нафтопродуктів, 40 кВт/ $m^2$  для твердих матеріалів.

Розраховують ефективний діаметр горіння рідини  $d$ , м, за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (14)$$

де  $F$  — площа горіння, м<sup>2</sup>.

Розраховують висоту полум'я  $H$ , м, за формулою

$$H = 42d \left( \frac{M}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0.66}, \quad (13)$$

де  $M$  — питома масова швидкість вигорання палива, кг/(м · с);

$\rho_a$  — густина навколишнього повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — прискорення вільного падіння, рівне 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Визначають кутловий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулою

$$E_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (16)$$

$$\text{де } F_V = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg \left( \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \left\{ \arctg \left( \frac{S-1}{S+1} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (17)$$

$$\text{де } A = (h^2 + S^2 + 1) / (2S), \quad (18)$$

$$S = 2r/d, \quad (19)$$

$$h = 2H/d, \quad (20)$$

де  $r$  — відстань відгеометричного центру площі горіння до опроміненого об'єкту,

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg \left( \frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left( \sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}} \right) \right], \quad (21)$$

$$B = (1+S^2) / (2S). \quad (22)$$

Визначається коефіцієнт пропускання атмосфери за формулою

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (r - 0,5 d)] \quad (23)$$

Проаналізувавши вищевказані методи, які застосовуються для визначення інтенсивності теплового випромінювання, нами було запропоновано новий метод за допомогою якого можна більш точно визначати теплове випромінювання.

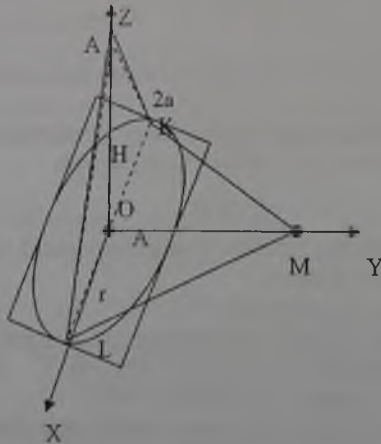


Рис. 2. Випромінювання поверхню конуса

Полум'я часто має форму, близьку до конічної. Тому дослідимо випромінювання від поверхні конуса. Можемо вважати, що конус розташований таким чином, що його основа розташована на площині Оху та має радіус  $r$ , а висота  $H$  лежить на осі  $Oz$  (рис.2). Точку  $M$  розташуємо на осі  $Oy$  на відстані  $y_0$  від початку координат у додатному напрямку. У цьому випадку бічна поверхня конуса є частиною конічної поверхні, яка описується рівнянням

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{a^2} - \frac{(z-H)^2}{H^2} = 0. \quad (24)$$

Тоді видима з точки  $M$  частина конуса описується рівнянням

$$y = a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}. \quad (25)$$

Підставимо часткові похідні функції (25)

$$\frac{\partial y}{\partial x} = a \frac{1}{2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \left( -\frac{2x}{r^2} \right) = -\frac{a}{r^2} \frac{x}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}, \quad (26)$$

$$\frac{\partial y}{\partial z} = a \frac{1}{2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \frac{2(z-H)}{H^2} = \frac{a}{H^2} \frac{z-H}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}. \quad (27)$$

Проінтегрувавши трикутник  $ALK$ , який є проекцією видимої точки  $M$  частини конуса на площину  $Oxz$ . Для визначення меж інтегрування опишемо цей трикутник нерівностями.

Тоді трикутник  $ALK$  має межі які описуються нерівностями  $0 \leq z \leq H$  та

$-r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \leq x \leq r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right)$ . Таким чином, тепловий потік, який потрапляє з поверхні конуса, визначається за формулою

$$\frac{\partial \Phi}{\partial S z} = \iint_{S_z} \ln \frac{(x_0 - x) \cdot \left(-\frac{a}{r^2}\right) \frac{x}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right) + (z_0 - z) \cdot \frac{a}{H^2} \frac{(z-H)}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}{\left( (x_0 - x)^2 + \left(y_0 - a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^{3/2}} \times \left[ a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} - y_0 \right] dx dz. \quad (28)$$

Підставивши експериментальні дані у вищевказані методи, які застосовуються для визначення інтенсивності теплового випромінювання, бачимо, що методи №1, №2 розрахунку теплового випромінювання (рис.3) приводять до заниженої оцінки променевого потоку.

Розглянувши (рис.3) дані запропонованого методу визначення інтенсивності теплового випромінювання, бачимо, що цей метод розрахунку є більш наближеним до експериментальних даних. Таким чином, запропонований нами метод доцільніше використовувати для визначення інтенсивності теплового випромінювання.

$q$ , кВт/м<sup>2</sup>.

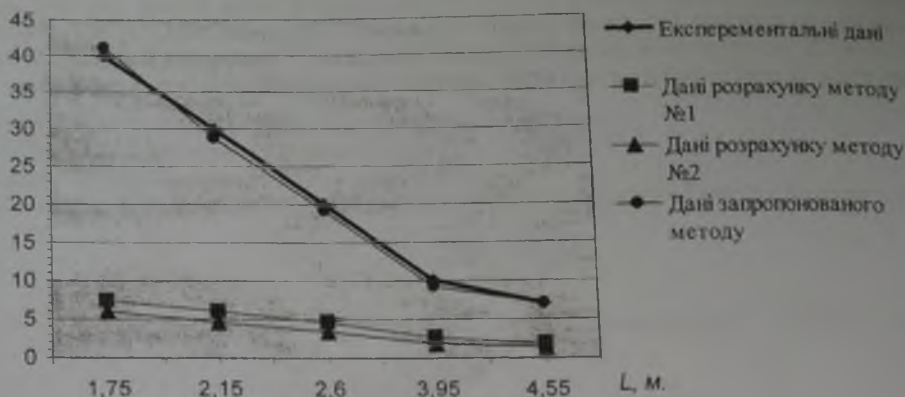


Рис. 3. Значення густини теплового випромінювання в залежності від відстані до джерела випромінювання

### Висновки:

1. Тепловий потік, який діє на вертикальну ділянку від джерела випромінювання – конуса спадає із збільшенням відстані до тіла і зростає із збільшенням висоти конуса. При цьому із збільшенням відстані вплив висоти полум'я на значення теплового потоку менш відчутний, ніж безпосередньо поблизу основи конуса.

2. Тепловий потік є слабшим у випадку, коли джерело випромінювання є конусом, сильнішим – коли випромінювання відбувається від вертикально розміщеного прямокутника.

3. Із збільшенням відстані від джерела випромінювання до тіла зменшується величина теплового потоку у випадку кожного з цих джерел, причому для прямокутної форми теплового джерела вона майже лінійна і тому не придатна для розрахунку випромінювання від конусоподібного джерела.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М. : Стройиздат, 1990.- С. 67-68, 149-150.
2. ГОСТ. Р. 12.3.047-98 ССБТ- Пожарная безопасность технологичных процессов. Общие требования.
3. Вісник Укр НДПБ. Збірник наукових праць. – К. : Укр НДПБ, 2008 №1(17). - С. 91-100.
4. Романенко П. Н. Теплопередача в пожарном деле / П. Н. Романенко. – М., 1969.- С.151.

*А.А. Мычко д.т.н., проф., А.Д. Кузык, к.ф.-м. н., доц., А.С. Лын (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)*

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНИКОВ-СПАСАТЕЛЕЙ

С помощью моделирования проводится оценка теплового излучения, которое действует на вертикальную поверхность от некоторых высокотемпературных источников: конуса и прямоугольника, которые расположены вертикально

**Ключевые слова:** пламя, математическое моделирование, лучистый поток, интенсивность теплового излучения, высокотемпературные источники