

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»



**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ
З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**



**Черкаський інститут пожежної безпеки імені
Героїв Чорнобиля Національного університету
цивільного захисту України**

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Збірник наукових праць

№ 1 / 2017

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової
інформації, Серія КВ № 22700-12600ПР,
видане 04.05.2017 Міністерством юстиції України***

*Рекомендовано до друку та до поширення через мережу Інтернет
Вченою радою Черкаського інституту пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
(протокол № 3 від 30.11.2017.)*

*Дозволяється публікація матеріалів збірника у відкритому доступі
комісією Черкаського інституту пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
з питань роботи із службовою інформацією
(протокол № 11 від 03.11.2017.)*

**УДК 614.8
Н 17**

**Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація :
збірник наукових праць. – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв
Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – № 1. – 126 с.**

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР – *Тищенко О. М.*, канд. техн. наук, проф. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА – *Поздєєв С. В.*, д-р техн. наук, проф. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР – *Школяр Є. В.*, канд. психол. наук (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Абрамов Ю. О., д-р техн. наук, проф. (Національний університет цивільного захисту України (м. Харків);

Акіншин В. Д., д-р фіз-мат. наук, проф. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Беліков А. С., д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (м. Дніпро);

Ватуля Г. Л., д-р техн. наук, доц. (Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків);

Ващенко В. А., д-р техн. наук, проф. (Черкаський державний технологічний університет);

Волянін Єжи., д-р техн. наук, проф. (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща);

Дия Хенрік, д-р техн. наук, проф. (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща);

Кириченко О. В., д-р техн. наук, с. н. с. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Кнапінський Марцін, д-р техн. наук (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща);

Кенпка Павел, д-р техн. наук (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща);

Ковалишин В. В., д-р техн. наук, проф. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності);

Мазур В. Л., д-р техн. наук, проф. (Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України (м. Київ);

Мізерський Анжей, д-р техн. наук, проф. (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща);

Мосов С. П., д-р війс. наук, проф. (Національна академія державного управління при Президентові України (м. Київ);

Осипенко В. І., д-р техн. наук, проф. (Черкаський державний технологічний університет);

Радомяк Хенрік, д-р техн. наук (Ченстоховський політехнічний університет (Республіка Польща);

Семерак М. М., д-р техн. наук, проф. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності);

Тарасенко О. А., д-р техн. наук, с. н. с. (Національний університет цивільного захисту України (м. Харків);

Землянський О. М., канд. техн. наук, доц. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Камлюк А. М., канд. техн. наук, доц. (Університет цивільного захисту Міністерства по надзвичайним ситуаціям Республіки Білорусь (м. Мінськ);

Некора О. В., канд. техн. наук, с. н. с. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Нуянзін В. М., канд. техн. наук (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Стась С. В., канд. техн. наук, доц. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Пармон В. В., канд. техн. наук, доц. (Університет цивільного захисту Міністерства по надзвичайним ситуаціям Республіки Білорусь (м. Мінськ);

Полевода І. І., канд. техн. наук, доц. (Університет цивільного захисту Міністерства по надзвичайним ситуаціям Республіки Білорусь (м. Мінськ);

Швиденко А. В., канд. техн. наук, доц. (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

Ясколовський Вальдемар, канд. техн. наук (Головна школа пожежної служби (м. Варшава, Республіка Польща).

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР – *Рябокоть В. В.*, канд. пед. наук (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України);

РЕДАКТОР ТЕХНІЧНИХ ТЕКСТІВ ЗІ ЗНАННЯМ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ – *Хряпак С. О.*, канд. філол. наук (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України).

ЗМІСТ / CONTENTS

| | |
|---|-----------|
| <i>О. Є. Басманов, Г. О. Кулакова</i> ОЦІНКА ШВИДКОСТІ ВИСХІДНИХ ПОТОКІВ НАД ОСЕРЕДКОМ ГОРІННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ..... | 5 |
| <i>O.E. Basmanov, G.O. Kulakova</i> ESTIMATION OF THE VELOCITY OF THERMAL PLUME FROM BURNING SPILLED OIL | |
| <i>С. О. Вамболь, В. Ю. Колосков</i> ВДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЮ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ВІДХОДІВ..... | 11 |
| <i>Vambol S.O., Koloskov V.Yu.</i> IMPROVEMENT OF CRITERION OF SAFETY LEVEL ESTIMATION OF WASTES STORAGE PLACES | |
| <i>С. І. Головченко</i> ІННОВАЦІЙНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БІОІНДИКАЦІЇ ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ | 18 |
| <i>S. I. Golovchenko</i> INNOVATIVE BASIS OF THE USE OF BIOINDICATION METHOD DURING MAN-MADE EMERGENCIES | |
| <i>А. Г. Іваницький, А. В. Барсукова</i> ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЕМОВ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ..... | 26 |
| <i>A. Ivanitski, A. Barsukova</i> CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF EVALUATING THE INFLUENCE OF THE HORIZONTAL OPENINGS IN THE SEPARATING STRUCTURES ON THE FIRE TEMPERATURE IN THE COMPARTMENT | |
| <i>А. А. Киреев, Д. И. Савельев</i> ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ | 35 |
| <i>Kireev O. O., Saveliev D. I.</i> THE STUDY OF THE FIRE-RETARDANT ACTION TIME OF GEL-FORMING SYSTEMS USED FOR EXTINGUISHING FOREST FIRES | |
| <i>В. К. Костенко, А. А. Нестеренко, О. М. Нуянзін, В. М. Покалюк</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ В ІЗОЛЯЦІЙНОМУ ОДЯЗІ З СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА БЕЗ НЕЇ..... | 42 |
| <i>V. Kostenko, A. Nesterenko, O. Nuianzin, V. Pokaliuk</i> HEAT EXCHANGE MATHEMATICAL MODEL IN ISOLATION WARE WITH AND WITHOUT COOLING SYSTEM | |
| <i>О. М. Ларін, С. А. Виноградов, С. М. Шахов</i> АНАЛІЗ СВІТОВИХ ЗРАЗКІВ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГАЗОНАПОВНЕНОЮ ПІНОЮ | 50 |
| <i>A.N. Larin, S.A. Vinogradov, S.M. Shakhov</i> ANALYSIS OF WORLD'S COMPRESSED AIR FOAM SYSTEMS | |

А. С. Миканович, О. В. Любимова, О. А. Бужин

| | |
|--|-----------|
| АНАЛИЗ ВОПРОСА ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ ГАЗО-ПЫЛЕ- ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ..... | 59 |
|--|-----------|

Mikanovich A.S, Liubimova O.V.,
**ANALYSIS OF BUILDINGS PROTECTION FROM THE IMPACT
OF INTERNAL EXPLOSION OF THE GAS- DUST- AIR MIXTURE**

| | |
|---|-----------|
| ОСОБЛИВОСТІ ВИМОГ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ АЕРОДРОМІВ..... | 66 |
|---|-----------|

S. Mosov
**PECULIARITIES OF REQUIREMENTS FOR ENSURING THE LEVEL
OF FIRE PROTECTION OF AIRFIELDS**

| | |
|---|-----------|
| ПАРАМЕТРЫ МАКРОКИНЕТИКИ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЧИСЛЕННОМ РАСЧЕТЕ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ..... | 75 |
|---|-----------|

Nalisko N.N.
**THE MACROKINETICS PARAMETERS OF THE
HYDROCARBONS COMBUSTION IN THE NUMERICAL
CALCULATION OF ACCIDENTAL EXPLOSIONS IN MINES**

| | |
|--|-----------|
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСІЇ ТЕМПЕРАТУР ПО ОБІГРИВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ НЕСУЧИХ СТІН НА ЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОЇ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ | 89 |
|--|-----------|

O. M. Nuianzin, S. V. Pozdieiev, S. O. Sidney, M. A. Kryshstal
**STUDY OF DISPERSION IN THE HEATER TEMPERATURE SURFACE
OF THE BASE WALL ON THE VALUE OF THEIR FIRE RESISTANCE**

| | |
|---|------------|
| РЕSEARCH OF BEHAVIOR OF WOODEN BEAMS WITH FIRE BIO PROTECTION IN FIRE..... | 101 |
|---|------------|

V. I. Osipenko, Ya. V. Zmaga, A. U. Novgorochenko, T. V. Samchenko
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК
З ВОГНЕБІОЗАХИСТОМ ПРИ ПОЖЕЖІ**

| | |
|---|------------|
| АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ХІМІЧНИМИ, БІОЛОГІЧНИМИ, РАДІАЦІЙНИМИ ЧИ ЯДЕРНИМИ ІНЦИДЕНТАМИ ТЕРОРИСТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ | 108 |
|---|------------|

Taraduda D. V.
**ANALYSIS OF HAZARDS RELATED TO THE CHEMICAL, BIOLOGICAL,
RADIATION OR NUCLEAR INCIDENTS OF A TERRORIST CHARACTER**

| | |
|---|------------|
| USING COMPUTER MODELING FOR SOLVING FIRE SAFETY OBJECTIVES | 115 |
|---|------------|

S.V. Цвіркун
**ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ
ПРИ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

УДК 614.8

О. Є. Басманов, д-р техн. наук, професор, гол. наук. співр.,
Г. О. Кулакова,
Національний університет цивільного захисту України

ОЦІНКА ШВИДКОСТІ ВИСХІДНИХ ПОТОКІВ НАД ОСЕРЕДКОМ ГОРІННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ

Побудовано оцінку швидкості висхідних потоків над осередком горіння горючої рідини, яка базується на аналізі надлишкового об'єму повітря і продуктів горіння, що утворюються під час реакції горіння. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку теплового впливу конвекційних потоків під час пожежі.

Ключові слова: горюча рідина, пожежа, висхідні конвекційні потоки.

Постановка проблеми. Пожежі нафтопродуктів в резервуарних парках є одними з найскладніших внаслідок загрози каскадного розповсюдження пожежі на сусідні резервуари, яке здатне призвести до значних матеріальних збитків і загибелі людей. Запобігання каскадному розповсюдженню пожежі потребує прогнозування можливих сценаріїв розвитку пожежі, що неможливо без побудови математичних моделей теплового впливу пожежі на споруди резервуарного парку. Існує три основних типи пожежі в резервуарному парку: пожежа в резервуарі, пожежа в обвалуванні резервуара, одночасне горіння нафтопродукту в резервуарі і обвалуванні. Особливістю пожежі в обвалуванні є близьке розташування осередку горіння і резервуара, внаслідок чого охолодження резервуара за допомогою стандартних зрошувальних кілець може виявитися недостатнім. Іншою відмінністю пожежі в обвалуванні є передача тепла від осередку горіння до резервуара як випромінюванням, так і конвекцією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Випромінювання є основним видом теплопередачі від відкритої пожежі горючої рідини [1]. В роботах [2, 3, 9] побудовано моделі теплового впливу пожежі нафтопродукту в резервуарі на сусідній резервуар. В [8] розглянуто модель теплового впливу пожежі в обвалуванні на резервуар. Але всі ці моделі виходять лише із променевої складової теплового потоку від пожежі, конвекційна складова не розглядається. Такий підхід є виправданим

для випадку пожежі в резервуарі, оскільки конвекційні потоки розігрітих продуктів горіння і повітря спрямовані вгору. У випадку ж пожежі в обвалуванні, якщо розлив знаходиться поруч із резервуаром, вплив конвекційних потоків, що здіймаються над осередком горіння, може бути істотним. В [4] на основі теорії затоплених струменів розглянуто розподіл швидкостей і температур у висхідних потоках над осередком горіння, але використання цієї моделі потребує оцінки початкової швидкості струменя, утвореного продуктами горіння і розігрітим повітрям. В [5] наведено оцінку максимальної швидкості u_{\max} висхідних потоків над пропановою горілкою діаметром 0,3 м у вигляді:

$$u_{\max} = 1,9Q^{1/5},$$

де Q – загальна інтенсивність тепловиділення полум'я, задана в кВт. Перенесення цієї оцінки на випадок горіння рідин у розливах більших діаметрів неможливе внаслідок відмінностей в умовах горіння.

Формулювання цілей статті.

Метою роботи є побудова оцінки швидкості висхідних конвекційних потоків над осередком горіння горючої рідини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо процес горіння розливу горючої рідини (рис. 1): в зону горіння надходять пари горючої рідини, що випаровуються з її поверхні, і повітря, а продукти горіння здіймаються вгору.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

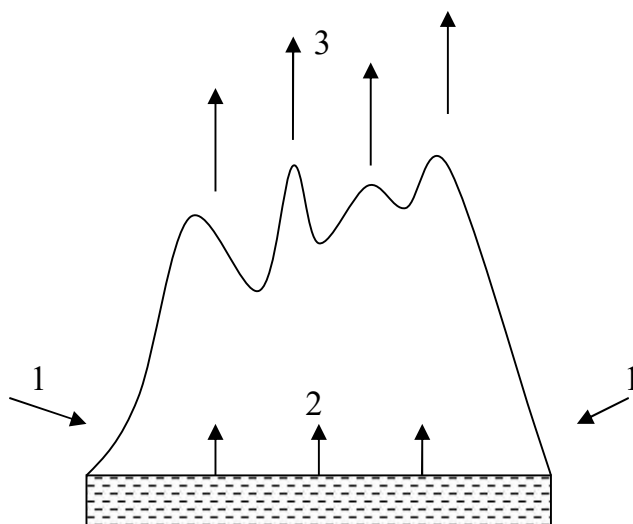
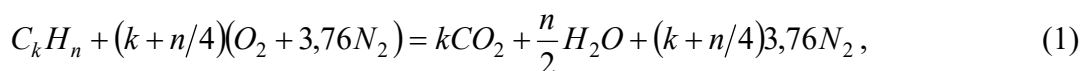


Рисунок 1 – Схема горіння горючої рідини з вільної поверхні: 1 – повітря; 2 – пари горючої рідини; 3 – продукти горіння

Розглянемо витрати газу в об'ємі, в якому відбувається горіння. Будемо описувати нафтопродукт умовною хімічною формулою C_kH_n , а процес горіння рівнянням:



де враховано молекулярний склад повітря у вигляді $(O_2 + 3,76N_2)$. Аналіз рівняння (1) показує, що в реакції бере участь $4,76(k + n/4)$ молей кисню, азоту і парів горючої рідини, внаслідок чого утворюється $[k + n/2 + 3,76(k + n/4)]$ молей азоту і продуктів горіння.

В реакцію вступають гази з температурою T_1 , а продукти горіння мають температуру T_2 . Крім того, будемо вважати всі ці гази ідеальними і такими, що задовольняють співвідношення

$$\frac{pV}{T} = const,$$

Аналогічно, об'єм утворених внаслідок реакції продуктів горіння дорівнює:

$$V_2 = 22,4[k + n/2 + 3,76(k + n/4)] \frac{T_2}{T_0}.$$

Тоді приріст об'єму внаслідок реакції горіння (1):

де p – тиск; V – об'єм газу; T – температура. Приймаючи тиск в зоні горіння таким, що приблизно дорівнює атмосферному тиску, отримаємо:

$$\frac{V}{T} = const.$$

Тоді загальний об'єм повітря і парів горючої рідини, що вступають в реакцію, визначається їх кількістю і температурою:

$$V_1 = 4,76 \cdot 22,4(k + n/4) \frac{T_1}{T_0}.$$

$$\Delta V = 22,4[k + n/2 + 3,76(k + n/4)]\frac{T_2}{T_0} - 4,76 \cdot 22,4(k + n/4)\frac{T_1}{T_0}. \quad (2)$$

При цьому відносний приріст об'єму буде складати:

$$\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{22,4[k + n/2 + 3,76(k + n/4)]\frac{T_2}{T_0} - 4,76 \cdot 22,4(k + n/4)\frac{T_1}{T_0}}{4,76 \cdot 22,4(k + n/4)\frac{T_1}{T_0}};$$

$$\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{1 + n/2k + 3,76(1 + n/4k)}{4,76(1 + n/4k)} \frac{T_2}{T_1} - 1;$$

$$\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{1 + \alpha/2 + 3,76(1 + \alpha/4)}{4,76(1 + \alpha/4)} \frac{T_2}{T_1} - 1,$$

де $\alpha = n/k$. На рис. 2 показано залежність відносного приросту об'єму від відношень $\alpha = n/k$ і T_2/T_1 .

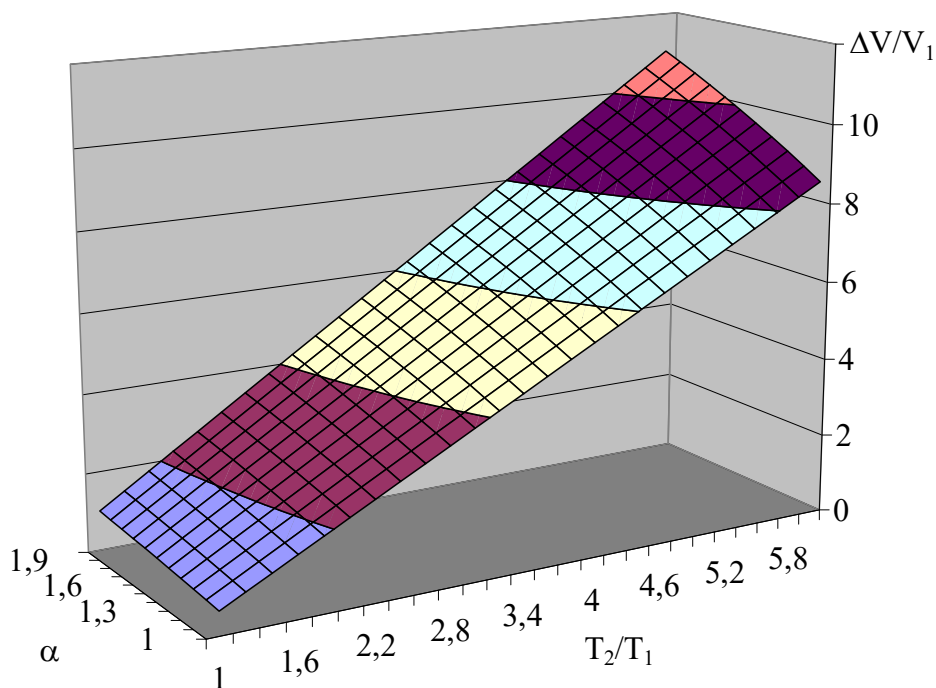


Рисунок 2 – Відносний приріст об'єму продуктів горіння в залежності від відношення кількості атомів водню до атомів вуглецю (α) в горючій рідині і відношення температур до і після реакції горіння (T_2/T_1)

Аналіз графічних залежностей на рис. 2 засвідчує, що більш вагомий вклад в приріст об'єму вносить відношення температур речовин до початку реакції горіння та після неї.

Аналіз рівнянь (1), (2) показує, що при згоранні вуглеводневого палива масою $m = 12k + n$ утворюється надлишковий об'єм

газу ΔV . При горінні нафтопродукту з питомою масовою швидкістю вигорання η з вільною площею S протягом часу Δt буде вигорати кількість нафтопродукту масою:

$$m_0 = \eta S \Delta t.$$

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

При цьому буде утворюватися надлишковий об'єм продуктів горіння:

$$\Delta V = 22,4\eta S \frac{[k + n/2 + 3,76(k + n/4)] \frac{T_2}{T_0} - 4,76 \cdot 22,4(k + n/4) \frac{T_1}{T_0}}{12k + n} \Delta t.$$

Наявність надлишкового об'єму над областю горіння (рис. 1). Витрати газового призводить до утворення висхідних потоків середовища в цих потоках складають:

$$\Delta Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

Середня швидкість цих потоків над областю горіння складає:

$$u_0 = \frac{\Delta Q}{S} = 22,4\eta \frac{[k + n/2 + 3,76(k + n/4)] \frac{T_2}{T_0} - 4,76 \cdot 22,4(k + n/4) \frac{T_1}{T_0}}{12k + n}.$$

Будемо вважати, що повітря і пари нафтопродукту, які вступають в реакцію, мають температуру кипіння нафтопродукту $T_{кин}$, а температура продуктів горіння дорівнює температурі факела T_ϕ . Тоді швидкість висхідних потоків безпосередньо над областю горіння може бути оцінена виразом:

$$u_0 = 22,4\eta \frac{[k + n/2 + 3,76(k + n/4)] \frac{T_\phi}{T_0} - 4,76(k + n/4) \frac{T_{кин}}{T_0}}{12k + n}.$$

або

$$u_0 = 22,4\eta \frac{[1 + \alpha/2 + 3,76(1 + \alpha/4)] \frac{T_\phi}{T_0} - 4,76(1 + \alpha/4) \frac{T_{кин}}{T_0}}{12 + \alpha}.$$

Таким чином, швидкість висхідних потоків над осередком горіння буде визначатися відношенням α кількості атомів вуглецю до кількості атомів водню в умовній хімічній формулі горючої рідини, а також температурою факела, температурою кипіння і питомою масовою швидкістю вигорання. Орієнтовні швидкості висхідних потоків для деяких типів нафтопродуктів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Швидкість висхідних потоків над осередком горіння для деяких горючих рідин

| Горюча рідина | Умовна хімічна формула | Питома масова швидкість вигорання [6], η , кг/м ² с | Температура кипіння, $T_{кин}$, °С | Температура факела [7], T_ϕ , °С | Швидкість, u_0 , м/с |
|-----------------|------------------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Бензин | C_8H_{18} | 0,048 | 33÷205 | 1200 | 2,3÷2,6 |
| Дизельне пальне | $C_{10}H_{20}$ | 0,055 | 170÷380 | 1000 | 1,6÷2,1 |
| Гас | $CH_{1,95}$ | 0,038 | 175÷270 | 1000 | 1,3÷1,4 |

Слід зазначити, що наведені в табл. 1 оцінки швидкості висхідних потоків мають місце в області, розташованій безпосередньо над зоною горіння. Зі збільшенням висоти швидкість висхідних потоків буде зменшуватися внаслідок втягнення нерухомих мас навколишнього повітря, а також внаслідок охолодження продуктів горіння і розігрітого повітря.

Висновки. Побудовано оцінку швидкості висхідних конвекційних потоків над осередком горіння горючої рідини. Оцінка

базується на аналізі надлишкового об'єму газу, який утворюється за рахунок хімічної реакції горіння, а також теплового розширення продуктів горіння.

Отримані результати можуть бути використані для розрахунку швидкості і температури висхідних потоків над осередком горіння [4], а також для побудови моделі їх теплового впливу на споруди різного типу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mannan S., Lees E.P. Lees' Loss Prevention in the Process Industries (Fourth Edition): hazard identification, assessment and control. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam; London, 2012.

2. Абрамов Ю. А. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 251 с.

3. Абрамов Ю.А. Моделирование нагрева резервуара под действием излучения пожара / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов // Вісник міжнародного слов'янського університету. – Харків: ТОВ ПКФ „Яна”, 2004. – Т. 7. – №2. – С. 7-9.

4. Басманов О.Є. Розподіл параметрів висхідного конвекційного потоку над палаючим розливом нафтопродукту / О.Є. Басманов, Я.С. Кулик // Проблеми пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. 2016. – №39. – С. 33-38.

5. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – Москва: Стройиздат, 1990. – 424 с.

6. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – Москва: Стройиздат, 1987. – 288 с.

7. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М.: Химия, 1990. – 496 с.

8. Улинец Э.М. Математическая модель теплового воздействия пожара разлива нефтепродукта на резервуар / Э.М. Улинец // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 27-31.

9. Чернецький В.В. Математичне моделювання та дослідження теплових процесів у вертикальних сталевих резервуарах за умов пожежі / В.В. Чернецький, М.М. Семерак, М.Р. Михайлишин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – 2015. – №27. – С. 151 – 157.

REFERENCES

1. Mannan S., Lees E.P. Lees' Loss Prevention in the Process Industries (Fourth Edition): hazard identification, assessment and control. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam; London, 2012.

2. Abramov Yu.A. Preduprezhdenye i likvidatsiya chrezvychainykh situatsiy v rezervuarnykh parkakh s nefteproduktami / Yu.A. Abramov, A.E. Basmanov. – Kharkov: ANZU, 2006. – 251 s.

3. Abramov Yu.A. Modelirovanie nahreva rezervuara pod deistviem izlucheniia

pozharov / Yu.A. Abramov, A.E. Basmanov // Visnyk mizhnarodnoho slovianskoho universytetu. – Kharkiv: TOV PKF „Iana”, 2004. – Т. 7. – №2. – С. 7-9.

4. Basmanov O.Ie. Rozpodil parametrov vyskhidnoho konveksiinoho potoku nad palaiuchym rozlyvom naftoproduktu / O.Ie. Basmanov, Ya.S. Kulyk // Problemy pozharnoi bezopasnosti. – Kh.: NUHZU. 2016. – №39. – С. 33-38.

5. Draizdeil D. Vvedenie v dinamiku pozharov / D. Draizdeil. – Moskva: Stroiiizdat, 1990. – 424 s.

6. Ivannikov V.P. Spravochnik rukovoditelia tusheniya pozhara / V.P. Ivannykov, P.P. Klius. – Moskva: Stroizdat, 1987. – 288 s.

7. Pozharovzryvobezopasnost veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya / A.N. Baratov, A.Ia. Korolchenko, H.N. Kravchuk i dr. – M.: Khimia, 1990. – 496 s.

8. Ulynets Э.М. Matematicheskaia model teplovoho vozdeistviia pozhara razliva

nefteprodukta na rezervuar / Э.М. Ulynets // Problemy pozharnoi bezopasnosti. – 2008. – Vyp. 24. – S. 27-31.

9. Chernetskyi V.V. Matematychno modeliuвання ta doslidzhennia teplovykh protsesiv u vertykalnykh stalevykh rezervuarakh za umov pozhezhi / V.V. Chernetskyi, M.M. Semerak, M.R. Mykhailyshyn // Pozhezha bezpeka: zb. nauk. prats. – 2015. – №27. – S. 151 – 157.

*A. E. Басманов, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотр., А. О. Кулакова,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ВОСХОДЯЩИХ ПОТОКОВ НАД ОЧАГОМ ГОРЕНИЯ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Построена оценка скорости восходящих потоков над очагом горения горючей жидкости, основывающаяся на анализе избыточного объема воздуха и продуктов горения, образующихся в ходе реакции горения. Полученные результаты могут

быть использованы для расчета теплового воздействия конвективных потоков во время пожара.

Ключевые слова: *горючая жидкость, пожар, конвективные потоки.*

*O.E. Basmanov, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Chief Researcher, G.O. Kulakova,
National University of Civil Protection of Ukraine*

ESTIMATION OF THE VELOCITY OF THERMAL PLUME FROM BURNING SPILLED OIL

Fires of petroleum products in tank storages is one of the most difficult situations, because of the threat of cascading fire spreading to the next tanks, which can lead to significant material damage and death of people. There are three main types of fires in the tank storages: fire in the tank, fire in the tank dike, burning the petroleum products in the tank and dike. The feature of a fire in the dike is close location of combustion chamber and tank. So, cooling the tanks using standard irrigation rings may be insufficient. Another difference is the fire in the dike is transfer of heat from the combustion chamber to the tank by radiation and convection.

Accounting the convective heat transfer requires obtaining the estimation of the speed and temperature of the air streams rising above the hearth point.

The purpose of the work is construction of speed estimation ascending convection flows above the combustion area of the combustible liquid. The construction was based on the analysis of excess gas volume which is formed due to the chemical

reaction of combustion, as well as the thermal expansion of combustion products. In this work we can watch the rate of ascending flows over the combustion cell which is determined by the ratio α the number of carbon atoms to the number of hydrogen atoms in the conventional chemical formula of the combustible liquid, as well as the temperature of the flame, the boiling point and the specific mass burn rate. Calculations made for some combustible liquids show that the approximate speed of ascending flows is 1.3-2.6 m/s. The resulting estimates of the rate of ascending flows occur in the area located directly above the combustion zone. As the height increases, the rate of ascending flows will decrease as a result of drawing of stationary masses of the surrounding air, as well as by cooling the combustion products and the heated air.

The obtained results can be used to construct a model of their thermal influence on different types of structures.

Keywords: *flammable liquid, fire, convective flows.*

УДК 614.84:628.472

*С. О. Вамболь, д-р техн. наук, професор, В. Ю. Колосков, канд. техн. наук, доцент,
Національний університет цивільного захисту України*

ВДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЮ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ МІСЦЬ ЗБЕРІГАННЯ ВІДХОДІВ

Проаналізовано особливості розвитку надзвичайних ситуацій у місцях зберігання відходів. Визначено умови міцності елементів протизсувної конструкції під впливом пожежі, які враховують поведінку матеріалів у динаміці зміни режиму пожежогасіння. Запропоновано вдосконалений критерій оцінювання рівня безпеки при імітаційному моделюванні системи управління безпекою місця зберігання відходів під час пожежі за міцністю елементів протизсувної конструкції.

Ключові слова: *відходи, полігон, зсув, пожежа, система управління безпекою*

Постановка проблеми. Законом України від 18.01.2003 р. № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки» об'єкт підвищеної небезпеки визначено як такий, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, або будь-якого іншого, що є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру. Як можна бачити, під наведене визначення підпадають, зокрема, місця зберігання усіх видів відходів як санкціоновані, так і несанкціоновані. Вказані об'єкти водночас включені й до «Переліку видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 28.08.2013 р. № 808, при чому об'єктами підвищеної екологічної небезпеки вважаються об'єкти захоронення не лише небезпечних, а й побутових відходів.

Сьогодні в усьому світі як ніколи гостро постає проблема забезпечення безпеки на території місць зберігання відходів, в том числі при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) на них. Велику небезпеку для життя та здоров'я людей під час подібних подій складають сукупні фактори різнопланових НС, які діють на ділянках відкритих територій. Аналіз НС техногенного та природного характеру на полігонах зберігання відходів демонструє

наявність взаємозв'язку між джерелами екологічної небезпеки та факторами ризику НС, особливо під час пожеж.

В Україні, як і у більшості країн пострадянського простору, окремого врахування пожеж, що відбуваються у місцях зберігання відходів, накопичення сміття тощо, до останнього часу не проводилося. Підтвердженням цьому є результати вивчення матеріалів зі зведених статистичних показників стосовно об'єктів виникнення пожеж, накопичених вітчизняними та закордонними дослідниками. Зокрема, у матеріалах аналізу масиву карток обліку пожеж, розміщених на офіційному веб-сайті Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) [1], при класифікації пожеж переважає підхід, орієнтований на першочергове врахування пожеж у будівлях та спорудах різного призначення. Безумовно, істотним підґрунтям для цього є той факт, що більшість людей гине та отримує травми під час саме таких подій. Втім, у читача, не обізнаного зі специфікою обліку пожеж, може скластися враження, що пожежі у місцях накопичення відходів не є достатньо поширеними в Україні, адже вже при першому погляді виникає природне бажання віднести місця розташування сміття до категорії інших об'єктів. Втім, цей показник обчислено за всіма можливими видами інших об'єктів укупі, він дорівнює менш ніж 25 %, а отже пожежі у місцях зберігання та накопичення відходів мали б становити ще меншу кількість. У повідомленнях же засобів масової інформації увагу, як правило, звертають на великі за

масштабом події, про що, зокрема, свідчить перелік, висвітлених в останні роки у вітчизняній пресі, пожеж на сміттєзвалищах (див. табл. 2).

Альтернативним джерелом інформації стосовно загальної кількості та розподілу пожеж в Україні та світі є серія статистичних звітів [2], які готує щорічно Центр пожежної статистики Міжнародної асоціації пожежно-рятувальних служб. Як свідчать представлені на офіційному веб-сайті асоціації дані, Україна до 2014 року не надавала окремо інформації стосовно пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття. У звіті за 2015 рік дані стосовно цієї групи об'єктів в Україні знову зникають, однак, натомість, з'являється відповідна кількість пожеж, пов'язаних зі спалахуванням трави та кущів. Втім, навіть наявна статистика за один 2014 рік демонструє різку різницю з розглянутими раніше результатами. Як можна побачити, доля пожеж у місцях накопичення сміття та відходів за даними, наданими Україною Міжнародній асоціації пожежно-рятувальних служб, становить майже на 14 відсотків більше за величину, розраховану в матеріалах УкрНДЦЗ для усієї категорії інших об'єктів. Ще більш вражаюче виглядають дані стосовно розподілу об'єктів виникнення пожеж для м. Києва, адже кількість пожеж у місцях накопичення сміття виявляється навіть більшою за кількість пожеж у будівлях. Пояснити таке розходження у результатах можна лише за умови, що частину пожеж, пов'язаних зі спалахуванням сміття у місцях його накопичення та зберігання, у національних статистичних звітах було віднесено до категорій пожеж у різних типах споруд та будівель. Загалом отримані дані [2] свідчать про те, що більшість з врахованих випадків пожеж у місцях накопичення та зберігання відходів було зареєстровано у країнах Східної Європи, серед яких, на жаль, Україна є беззаперечним лідером. Загальносвітова статистика виглядає порівняно кращою, однак для багатьох країн випадки подібних пожеж взагалі не враховуються при формуванні відповідних звітних даних, що суттєвим чином впливає на отримані результати.

Особливу небезпеку пожежі у місцях накопичення великих обсягів твердих побутових відходів (ТПВ) набувають через можливість виникнення на них зсувів великих мас відходів, наслідки чого у окремих випадках є катастрофічними, підтвердженням чого слугує цілий ряд НС, наведений у таблиці 1. Виходячи з усього вищенаведеного, проблема підвищення безпеки місць зберігання відходів в Україні та інших країнах світу є безумовно актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередити виникнення катастрофічних зсувів внаслідок пожеж на полігонах зі зберігання ТПВ дозволяє зведення на них протизсувних споруд, однак при їх проектуванні практично не приділяється увага питанням, пов'язаним зі зміною міцнісних характеристик використовуваних матеріалів у залежності від факторів середовища, в тому числі від температури. Аналіз літературних джерел продемонстрував наявність достатньої кількості робіт, присвячених питанню розрахунків міцності протизсувних конструкцій, наприклад, у роботі [3] представлений метод розрахунку пальної протизсувної конструкції, однак, при його використанні фізико-механічні характеристики матеріалів палі вважаються незмінними. Натомість під впливом факторів пожежі границі міцності будівельних матеріалів можуть суттєво змінюватися, тому використання цього підходу для розрахунку міцності конструкції, створеної у місці зберігання відходів, потребує суттєвого уточнення.

В державних стандартах України, впроваджених згідно з ДБН А.1.1-94:2010 за програмою імплементації системи стандартів Єврокод та присвячених, зокрема, питанням розрахунків конструкцій на вогнестійкість, представлені математичні моделі залежності від температури властивостей будівельних матеріалів, що мають використовуватися при проектуванні будівель та споруд. Точність наведених моделей є цілком достатньою, однак вони визначені для температурних режимів, аналогічних стандартному, а отже не можуть бути застосовані при більш складних залежностях температури від часу без суттєвого уточнення.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Таблиця 1 – Найбільш катастрофічні надзвичайні події у місцях зберігання відходів у світі

| Назва об'єкта, міста та країни розташування | Дата | Кількість загиблих | Характеристика події |
|--|---------------|--------------------|---|
| Полігон зберігання ТПВ, м. Коломбо, Шрі-Ланка | 14.04.2017 р. | 28 | 1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Пожежа внаслідок спалахування метану за декілька годин до зсуву. 3. Потужна злива у попередню добу. 4. Порушення умов складування відходів. |
| Полігон зберігання ТПВ, м. Аддис-Абеба, Ефіопія | 12.03.2017 р. | 113 | 1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Пожежі внаслідок спалахування метану у попередній час. 3. Порушення умов складування відходів. |
| Полігон зберігання ТПВ, С. Великі Грибовичі, Львівська обл., Україна | 30.05.2016 р. | 4 | 1. Зсув мас сміття. 2. Пожежа на полігоні у попередні дні. 3. Використання для гасіння пожежі великих обсягів води. 4. Порушення умов складування. |
| Полігон зберігання ТПВ, м. Бандунг, Індонезія | 21.02.2005 р. | 147 | 1. Зсув мас сміття на сусідні будинки. 2. Потужні зливи у попередні дні. 3. Пожежі внаслідок спалахування пластику та паперу у попередній час. 4. Порушення умов складування відходів. |

У роботах багатьох авторів [4-7] представлені різні підходи до створення уточнених методів визначення вогнестійкості матеріалів несучих конструкцій, однак питанням аналізу міцності у динаміці сприйняття зовнішнього термічно-силового впливу приділяється недостатньо уваги. Зокрема, у [4] представлений експериментально-розрахунковий метод, який є уточненим відносно методу, представленого у стандартах Єврокод, але він також не бере до уваги зміни навантаження на елемент конструкції під час самої пожежі.

Загальний підхід до створення моделей, що використовувався у дослідженнях, викладено у роботі [8]. Що стосується застосування даного підходу для окремих випадків у вирішенні проблем забезпечення безпеки як загального плану, так і конкретних задач, ці результати викладено у роботах автора [9-13], зокрема у роботах [11, 12] було сформовано імітаційну модель системи управління безпекою під час пожежі та запропоновано критерії оцінювання рівня безпеки за міцністю несучої конструкції за умови відповідно рівномірного та нерівномірного нагрівання її

елементів за довжиною та збереження пружного характеру деформацій в них. В роботі [13] було досліджено вплив наявності пластичних деформацій у перенавантаженому елементі конструкції на його вогнестійкість.

Формулювання цілей статті.

Метою представленої роботи є дослідження впливу факторів пожежі у місці зберігання відходів на вогнестійкість елементів протизсувної конструкції. Для досягнення поставленої мети поставлено та вирішено наступну задачу:

- розробити критерій оцінювання рівня безпеки при імітаційному моделюванні системи управління безпекою місця зберігання відходів під час пожежі за міцністю елементів протизсувної конструкції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно ДСТУ Б В.1.1-4-98 навантаження при випробуванні зразків на вогнестійкість встановлюються з урахуванням лише сталих та тимчасових тривалих напружень. Відомі та широкоживані методи розрахунку критичних температур та меж вогнестійкості елементів конструкцій, що використовують такий підхід [5,7]. Натомість

у [12] було показано, що тимчасові навантаження внаслідок температурних деформацій елементів конструкцій, а також ваги вогнегасильної суміші можуть за деяких умов суттєво їх перевищувати, а отже визначені за пропонованими методиками критичні температури нагрівання виявляються завищеними, та такими, що мають бути скореговані з урахуванням всіх умов перебігу пожежі та використовуваних засобів пожежогасіння.

За результатами моделювання міцності балки перекриття у роботі [12] за умови забезпечення збереження пружного характеру деформації критичні температури для різних марок сталей знаходилися у діапазоні значень 80...90 °С. У роботах деяких авторів, присвячених дослідженню проблеми вогнестійкості будівельних конструкцій, є посилання на набагато більші значення критичної температури, отримані в експериментах за нормативного експлуатаційного навантаження, наприклад для сталей різних марок у [7] наведені значення у діапазоні 470...550 °С. Однією з причин значної відмінності у отриманих даних може бути недостатня увага до резерву міцності, який заключений у можливості непружного деформування елементів несучої конструкції.

У представленій роботі було проведено дослідження впливу факторів пожежі у місці зберігання відходів на міцнісні властивості матеріалів елементів протизсувних конструкцій, результати якого дозволили створити інтегровану модель їх напружено-деформованого стану під час пожежі з урахуванням наявності в них пружно-пластичних деформацій.

Під час пожежі у місці зберігання відходів за умови застосування засобів пожежогасіння у елементах протизсувної конструкції виникає складний напружено-деформований стан, який визначається комбінацією стискання у повздовжньому напрямку внаслідок температурних деформацій та згинання у поперечному напрямку внаслідок навантаження від мас сміття та залишків поданої до зони горіння вогнегасильної суміші. Використовуючи результати роботи [13], сформулюємо критерій оцінювання рівня безпеки за

вимогою збереження несучої здатності елементу конструкції з урахуванням наявності пружнопластичного деформування під дією факторів пожежі, який можна представити у наступному формалізованому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varepsilon_K(T_K(t)) \cdot E(T_K(t))}{\sigma_T(T_K(t))} \leq 1; \\ \frac{(\sigma_0(t) + \sigma_M(t)) \cdot \frac{W_x}{2 \cdot S_p(A_p)}}{\sigma_T(T_K(t))} \leq 1; \\ \frac{(\tau_0(t) + \tau_M(t))}{\tau_B(T_K(t))} \leq 1, \end{array} \right. \quad (1)$$

де $t_{руйн}$ – час руйнування елементу конструкції; σ_0 , τ_0 – значення нормальних та дотичних напружень за рахунок навантаження від розташованих у приміщенні об'єктів та самого перекриття; σ_M , τ_M – значення нормальних та дотичних напружень за рахунок навантаження залишками вогнегасильної суміші, накопичених у товщі відходів; W_x – осьовий момент опору перерізу; $S_p(A_p)$ – залежність між значенням статичного моменту зони пластичного розтягування відносно нейтральної осі перерізу та площиною відповідної зони, яку встановлюють з геометричних міркувань; $T_K(t)$ – значення температури елемента у досліджуваному перерізі у момент часу t від початку пожежі; E – модуль пружності матеріалу; σ_T – границя текучості матеріалу; ε_K – відносна лінійна деформація елементу конструкції, яка у загальному випадку може бути представлена деякою функцією від значення відносної лінійної деформації розширення матеріалу ε_T

$$\varepsilon_K(t) = \Psi(\varepsilon_T(T_K(t))), \quad (2)$$

вигляд якої визначається розрахунковою схемою протизсувної конструкції в цілому та схемою закріплення елемента.

Для практичного застосування критерію (1) застосовано інтегральну модель

напружено-деформованого стану елементів конструкцій у вигляді залежностей

$$E(T_K) = E_{20} \cdot k_E(T_K); \quad (3)$$

$$\sigma_T(T_K) = \sigma_{T20} \cdot k_T(T_K), \quad (4)$$

де $k_E(T_K)$, $k_T(T_K)$ – апроксимуючі залежності відповідних коефіцієнтів; E_{20} , σ_{T20} – значення модуля пружності та границі текучості, визначених для матеріалу за нормальних умов ($T=20$ °C).

Для практичного використання запропонованої моделі необхідно задати лише параметри E_{20} та σ_{T20} , отримавши можливість перейти до розгляду поведінки елементів протизсувної конструкції у тривимірному просторі «температура-деформація-напруження», що допоможе визначати безпечні режими навантаження елементів у процесі НС, а також їх розвантаження без руйнування в процесі ліквідації наслідків НС у вигляді керуючих залежностей між деформацією та температурою. Слід зазначити, що вигляд

запропонованих критеріальних залежностей (1) не зміниться і за інших видів НС без присутності факторів впливу пожежі. Наприклад, за катастрофічних злив навантаження від накопичених мас дощової води можна враховувати у складових σ_M , τ_M .

Висновки.

Запропонована формалізація умов міцності елемента протизсувної конструкції дає можливість аналізувати її поведінку при складному температурному режимі та змінному навантаженні на окремі її ділянки у процесі протікання НС, а також при виконанні робіт з ліквідації її наслідків на території місць зберігання відходів.

Перспективи подальших досліджень. Для практичної реалізації запропонованого критерію необхідним є проведення системних досліджень, направлених на визначення формалізованих залежностей фізико-механічних характеристик матеріалів протизсувних конструкцій від температури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. Аналіз масиву карток обліку пожеж. Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html> (дата звернення 17.10.2017).
2. International Association of Fire and Rescue Service. World Fire Statistics. Режим доступу: <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (дата звернення 17.10.2017).
3. Готман А. Л. Расчет противооползневых свайных сооружений. Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). С. 1-7.
4. Поздеев С. В. Верификация результатов уточненного расчетного метода определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2011. Вып. 29. С. 141-148.
5. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. 496 с.
6. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.
7. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости. М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. 382 с.
8. Shannon R. E. Systems simulation: the art and science. Prentice Hall, 1975. 387 p.
9. Вамболь С. О., Вамболь В. В., Колосков В. Ю. та ін. Прогнозування рівня безпеки несанкціонованого сміттєзвалища з використанням імітаційного моделювання. Екологічна безпека. 2016. № 2/2016(22). С. 51-58.
10. Колосков В. Ю. Моделі та методи прогнозування рівня безпеки полігону зі зберігання твердих побутових відходів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». 2016. №4(1176). С. 142-146.

11. Колосков В. Ю. Моделирование прочности несущих конструкций зданий под час пожежі. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2015. Вып. 38. С. 83-90.

12. Колосков В. Ю. Моделирование прочности несущих конструкций зданий за умов локалізованої пожежі. Проблемы

пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2016. Вып. 39. С. 142-151.

13. Вамболь С. О., Колосков В. Ю. Моделирование влияния пластических деформаций у несущих конструкциях зданий на їх вогнестійкість під час пожежі. Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. 2016. Вып. 40. С. 48-56.

REFERENCES

1. Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut tsyvilnoho zakhystu. Analiz masyvu kartok obliku pozhezh. Available at: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masyvu-kartok-obliku-pozhezh.html> (accessed on 17.10.2017).

2. International Association of Fire and Rescue Service. World Fire Statistics. Available at: <http://www.ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (accessed on 17.10.2017).

3. Gotman A. L. Raschet protivopolznevnykh svaynykh sooruzheniy. Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. Vol. 2(27). Pp. 1-7.

4. Pozdeev S. V. Verifikatsiya rezultatov utochnenogo raschetnogo metoda opredeleniya predelov ognestoykosti zhelezobetonnykh konstruktsiy. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2011. Vol. 29. Pp. 141-148.

5. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy. M.: ZAO «SPYeTsTYeKhNIKA», 2001. 496 p.

6. Yakovlev A. I. Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruktsiy. M.: Stroyizdat, 1988. 143 p.

7. Roytman V. M. Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti. M.: Assotsiatsiya «Pozharnaya bezopasnost i nauka», 2001. 382 p.

8. Shannon R. E. Systems simulation: the art and science. Prentice Hall, 1975. 387 p.

9. Vambol S. O., Vambol V. V., Koloskov V. Yu., etc. Prohnozuvannya rivnia bezpeky nesanktsionovanoho smittiezvalyshcha z vykorystanniam imitatsiinoho modeliuвання. Ekolohichna bezpeka. 2016. No.2/2016(22). Pp. 51-58.

10. Koloskov V. Yu. Modeli ta metody prohnozuvannya rivnia bezpeky polihonu zi zberihannya tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zb. nauk. prats. Seriya «Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekсы». 2016. No.4(1176). Pp. 142-146.

11. Koloskov V. Yu. Modeliuвання mitsnosti nesuchykh konstruktsii budivel pid chas pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2015. Vol. 38. Pp. 83-90.

12. Koloskov V. Yu. Modeliuвання mitsnosti nesuchykh konstruktsii budivel za umov lokalizovanoi pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. 2016. Vol. 39. Pp. 142-151.

13. Vambol S. O., Koloskov V. Yu. Modeliuвання vplyvu plastychnykh deformatsii u nesuchykh konstruktsiiakh budivel na yikh vohnestiikist pid chas pozhezhi. Problemy pozharnoy bezopasnosti: Sb. науч. тр. Vol. 40. Pp. 48-56.

*С. А. Вамболь, д-р техн. наук, профессор, В. Ю. Колосков, канд. техн. наук, доцент,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ МЕСТ ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ

Проанализированы особенности уровня безопасности при имитационном развитии чрезвычайных ситуаций в местах моделировании системы управления хранения отходов. Определены условия безопасностью места хранения отходов во прочности элементов противооползневой время пожара по прочности элементов конструкции под воздействием пожара, противооползневой конструкции. учитывающие поведение материалов в динамике изменения режима оползень, пожар, система управления пожара тушения. Предложен безопасностью усовершенствованный критерий оценивания

*Vambol S.O., doctor of technical sciences, professor,
Koloskov V.Yu., candidate of technical sciences, associate professor
National University of Civil Protection of Ukraine*

IMPROVEMENT OF CRITERION OF SAFETY LEVEL ESTIMATION OF WASTES STORAGE PLACES

Fires at places of storage of big amounts of solid household wastes are extremely dangerous due to possibility of catastrophic landslides. As it is seen from the results of analysis of extreme situations statistics for wastes storage places the consequences of such events may come out of the limits of the object and bring down serious damage for the natural environment. The aim of the represented work is to investigate the influence of factors of fire taking place at wastes storage place on fire resistance of anti-landslide construction. To achieve the stated aim the peculiarities of extreme situations development at wastes storage places are analyzed. Interconnection between factors of fire impact and extinguishing mode parameters is shown. It is represented with the occurrence of the complex strength-strain condition in anti-landslide construction elements which is defined with the combination of compression in longitudinal direction caused by thermal deformations and bending in transverse direction caused by loading of wastes mass and remains of fire extinguishing mixture delivered into combustion zone. Taking into account the behavior of materials in dynamics of fire extinguishing mode variation the conditions of anti-landslide construction elements are defined. Considering stated strength conditions of anti-landslide construction elements the improved criterion of safety level estimation is proposed for simulation modelling of safety management system of wastes storage place. Proposed formalization of strength conditions for anti-landslide construction element gives the opportunity to analyze its behavior at complex thermal mode and variable loading on separate locations at extreme situation passing same as during its liquidation on the territory of wastes storage place.

Key words: *wastes, polygon, landslide, fire, safety management system*

УДК 504.05.581.5

С. І. Головченко, канд. екон. наук,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ІННОВАЦІЙНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БІОІНДИКАЦІЇ ПІД ЧАС НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

У статті розглянуто метод біоіндикації, який раніше застосовувався в процесі проведення екологічної експертизи з метою визначення екологічного навантаження на складові біосфери. Ми модернізували цей метод екологічної біоіндикації для визначення обсягу забруднення і видів забруднюючих факторів з метою попередження небезпечного впливу на людину. Створення методики контролю небезпечного стану навколишнього середовища, без використання технічних засобів контролю, а також об'єктивної оцінки ситуації в зоні дії хімічно небезпечних речовин та іонізуючого випромінювання, представляє наукову новизну та, що не менш важливо, практичне значення.

Ключові слова: екологічна експертиза, екологічне навантаження, біосфера, навколишнє середовище, сильнотоксичні отруйні речовини, токсичні інгредієнти, хлороз, некроз, технічний спосіб контролю, метод біоіндикації.

Постановка проблеми. Для пожежі є характерними такі небезпечні фактори, як підвищена температура, задимлення, погіршення складу газового середовища, зменшення кисню в повітрі. Організація захисту від кожного з цих факторів є важливим завданням. Так задимлення впливає на швидкість проведення рятувальних робіт, швидкість евакуації, а наявність небезпечних отруйних речовин у продуктах горіння може призвести до смерті, як потерпілого, так і пожежника [4].

Посилення наукової і матеріалоозброєності злочинного світу і міжнародного тероризму, поява в їх арсеналі новітніх розробок хімічної та бактеріологічної зброї, свідчить про необхідність адекватної підготовки рятувальників [2, 5, 6].

Вогнеборці повинні у будь-якій ситуації захистити життя і здоров'я від різних небезпек. Але щоб кваліфіковано проводити захист, необхідно діючий небезпечний фактор вірно і швидко ідентифікувати.

Тому створення та використання методики та послідовності контролю стану навколишнього середовища без використання технічних засобів контролю, є вельми актуальним завданням в сучасних умовах праці рятувальників [3].

Формулювання цілей статті.

Метою роботи є забезпечення максимального захисту людей, які знаходяться в екстремальних ситуаціях, від дії хімічно небезпечних речовин та іонізуючого випромінювання шляхом контролю стану навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. У статті 16 Конституції України зазначається, що «забезпечення екологічної безпеки та підтримання екологічної рівноваги на території України, збереження генофонду українського народу є обов'язком держави».

Щорічно в Україні виникають сотні надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, від яких гинуть та отримують травми цивільне населення, особовий склад вогнеборців, знищується величезна кількість матеріальних цінностей. Протягом 2016 року в Україні виникло 149 надзвичайних ситуацій. Відповідно до Державного класифікатора надзвичайних ситуацій вони розподілилися на надзвичайні ситуації: техногенного характеру – 56; природного характеру – 89; соціального характеру – 4. Внаслідок цих надзвичайних ситуацій загинули 183 особи та 1856 осіб постраждали. При цьому понад 265306 тис. грн. – збитки від надзвичайних ситуацій.

Проблема надзвичайних ситуацій техногенного характеру стає глобальною за своїми масштабами, торкаючись не тільки національних, але й міжнародних інтересів. Таке становище змушує постійно шукати нові, більш досконалі методи та способи забезпечення захисту цивільного населення в державі. Велика кількість існуючих запасів отруйних та радіоактивних речовин, а також синтез їх нових видів, велика мережа складів та трубопроводів з сильнодіючими отруйними речовинами, використання таких речовин під час терористичних актів, що вимагає вдосконалення знань співробітників ДСНС (Державна служба з надзвичайних ситуацій) щодо контролю небезпеки навколишнього середовища [1].

Під час виконання поставлених завдань особовий склад ДСНС повинен контролювати навколишнє природне середовище і постійно захищати себе від небезпечних чинників. Всі способи контролю стану повітря поділяються на чотири групи:

- 1) технічний спосіб;
- 2) поява запаху, невластивого для такої ситуації;
- 3) поява кольору хмари, туману, диму, невластивого для такої ситуації;
- 4) реакція навколишнього середовища.

Технічний спосіб дозволяє використання приладів хімічної розвідки (ВПХР, ГСП - 11) та різного роду газоаналізаторів (УГ - 2; ГУП 10 МБ - 3А; Платан - 1; Нітрон; Сірена - 2; Паладій - М6, 623 КПУ - 0,3; Гама - М; 645 ХЛ - 03; ГМК - 3; і т. і.).

Цей спосіб контролю дозволяє об'єктивно визначити концентрацію шкідливої речовини, і сигналізувати про появу сильнодіючої отруйної речовини і є найпоширенішим зі всіх перерахованих. Для прикладу розглянемо військовий прилад хімічної розвідки (ВПХР).

Принцип його роботи заснований на зміні кольору спеціально підібраних речовин (індикаторів) при взаємодії із сильнодіючою отруйною речовиною.

Визначення сильнодіючих отруйних речовин (СДОР) в повітрі таким приладом займає якийсь час (6 – 7 хв.), до того ж цей прилад важить близько 2,3 кг. Так само ускладнює роботу з цим приладом низька

температура повітря. Все це зумовлює деякі незручності з роботою ВПХР. До недоліків цього приладу відноситься його здатність визначати тільки наявність бойових отруйних речовин, у той час, коли підрозділи ДСНС України, частіше за все зустрічаються з продуктами горіння і промисловими отрутами. Три останні способи контролю стану навколишнього середовища з другого по четвертий носять загальну назву біоіндикація.

Біоіндикація – властивість організмів або середовища реагувати на зміни фізичних, хімічних і екологічних характеристик незаселеного середовища, що виражається в особливостях росту, розвитку і чисельності. У рослин і тварин відбуваються структурні та функціональні зміни під впливом небезпечних чинників. Використовуючи біоіндикатори, можна оцінити ступінь забруднення навколишнього середовища, проводити постійний моніторинг його якості і змін. За складом, зовнішнім виглядом флори і фауни, чисельним співвідношенням їх представників роблять висновок про характер забруднення, придатність води для пиття і господарських цілей, про ефективність роботи очисних споруд і т.д.

Біоіндикатор – біологічний індикатор, особина або співтовариство, наявність, стан і поведінка яких служить показником природних процесів, стану незаселеного середовища і його антропогенних змін. Метод біоіндикації забруднення навколишнього середовища якісно і наочно доповнює результати технічних засобів. Застосування біоіндикаторів має ряд переваг перед точним вимірюванням властивостей середовища:

- біоіндикація – найбільш «екологічно чистий» і безпечний метод контролю стану навколишнього середовища;
- біоіндикація є способом постійного контролю;
- на відміну від технічних засобів контролю якості середовища біоіндикатори не мають похибок, менш дорогі;
- показують негативні зміни в біосфері, які виникають протягом довгого часу;
- біоіндикатори реагують на всі забруднюючі речовини, тоді як спектр речовин, аналізованих приладами, обмежений;

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», № 1 / 2017

- біоіндикатори встановлюють наявність впливу шкідливих речовин, які знаходяться в кількостях менших, ніж гранично допустимі концентрації, що відбувається за рахунок біоаккумуляції;

- технічні методи контролю не дозволяють враховувати процеси синергізму й антагонізму;

- біоіндикацією можна скористатися завжди, технічні засоби у нас, як правило, в повсякденному житті відсутні;

- технічні засоби виходять з ладу і вимагають ремонту, калібрування;

- багато приладів технічного контролю вже морально застаріли, а сучасні прилади дуже дорогі [7, 8].

Найпростішим способом є контроль запахів у місцях перебування людей, оскільки багато газів мають специфічні запахи, відображено в табл. 1. Основний принцип застосування цього способу простий, якщо знайдений запах не властивий для такої ситуації, це говорить про появу небезпеки і необхідності захищатися або евакуювати з цього місця цивільне населення.

Таблиця 1 – Запахи сильнодіючих отруйних речовин

| Речовина | Хімічна формула | ГДК, мг/м | Запах |
|--------------------|----------------------------------|-----------|------------------------------|
| Аміак | NH ₃ | 0.2 | Нашатирного спирту |
| Ацетофенон | C ₈ H ₁₁ O | 0.003 | Черемхи |
| Звеселяючий газ | N ₂ O | 0.05 | Солодкий |
| Сірчистий ангідрид | SO ₂ | 0.085 | Різкий |
| Сірководень | H ₂ S | 0.008 | Тухлих яєць |
| Сірковуглець | CS ₂ | 0.005 | Прілого сіна |
| Фосген | COCl ₂ | 0.005 | Прілого сіна, гнилого яблука |
| Фосфін | PH ₃ | 0.003 | Рибно-часниковий |
| Ціаністий водень | HCN | 0.01 | Гіркий мигдаль |

Рослини реагують на всі види забруднюючих речовин, особливо яскраво виражена ця реакція у разі появи в повітрі штучних, синтезованих речовин. В

результаті пошкоджень і видозмін рослин, можна з упевненістю говорити про наявність певних забруднюючих речовин відображено в табл. 2.

Таблиця 2 – Реакція рослин на хімічне забруднення

| Речовина | Індикатор | Реакція рослин |
|---------------------------------------|--|---|
| Загальне забруднення | Лишайники, мохи. | Загибель рослинних організмів |
| Сірчистий ангідрид (SO ₂) | Сосна, ялина, ялиця, люцерна, пшениця, ясен, смородина. | У хвойних - синдром плакучості, виступ смоли на гілках, побуріння кінчиків голок хвої. Подрібнення листя. Хлороз листя (у смородини – почервоніння) |
| Фтористий водень (HF) | Сосна, ялина, ялиця, кісточкові плоди, горіх, гладіолус. | Листопад, некроз і хлороз хвої і листя (бурий колір листя). Зміна росту і розвитку рослин. Скручування листя. |
| Хлористий водень (HCl) | Сосна, ялина, ялиця, береза бородавча та суниця лісова. | Некроз і хлороз (пожовтіння) листя і хвої. Зміна росту і розвитку рослин. Скручування листя. |
| Сірководень (H ₂ S) | Шпинат, горох | Зменшення врожайності, зміна росту і розвитку рослин. |
| Аміак (NH ₃) | Соняшник, кінський каштан. | Скручування листя, листопад. Некроз і хлороз листя. |

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Візуально легко проводити аналіз стану навколишнього середовища по деревах. У разі появи небезпечних чинників у всіх порід дерев спостерігається проріджування крони (листя і хвоя опадають частково в зеленому вигляді), спостерігається відмирання дрібних корінців. Найбільш чутлива до стану навколишнього середовища ялина, а з листяних порід – бук. До видимих пошкоджень відносяться: відмирання ділянок рослини або її загибель (некроз), зміна забарвлення різних ділянок рослини (хлороз) зміна росту і розвитку рослини (пригніблення зростання, зменшення або збільшення розмірів листя, стовбура, зміна крони і т.д.). Крайнім проявом реакції рослини на стан атмосферного повітря є некроз. Вид некрозу залежить від концентрації і виду

забруднюючої речовини. Некроз листя розрізняють: краєвий (вражаються краї листя); інтеркостальний (вражаються простір листя між жилками); точковий.

Певні речовини викликають і яскраво виражену реакцію організму людини, тобто у випадку дії на людину можна говорити про наявність конкретної речовини. Наприклад, симптоми у разі дії фосгену швидко слабшають і зникають (прихований період 1 – 24 години), а потім поновлюються; чадний газ викликає сонливість; оксиди азоту викликають синюшність шкіри; бензол викликає кровотечу з носу і ясен; сірководень викликає біль і сльозливість, сірчаний ангідрид викликає утруднення ковтання і т.д. відображено в табл. 3.

Таблиця 3 – Реакція людини на хімічне забруднення

| Реакція людини | Речовина | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|----|-----------------|------------------|-----|----|-----|
| | Cl ₂ | NH ₃ | COCl ₂ | CO | SO ₂ | H ₂ S | HCN | NO | HCl |
| Головний біль | - | - | - | + | - | + | - | + | - |
| Сльозотеча | + | + | - | - | - | + | - | - | - |
| Кашель | + | + | + | - | + | - | - | + | + |
| Відчуття страху | - | - | - | + | - | - | + | + | - |
| Підвищена температура | - | - | + | + | - | - | - | + | - |
| Присмак металу | - | - | - | - | - | + | + | - | - |
| Нудота, блювання | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Задуха | + | + | + | - | + | - | - | - | + |
| Нежить | - | + | - | - | - | - | - | - | + |
| Загальна слабкість | - | - | - | + | - | - | + | + | - |
| Почервоніння шкіри | - | + | - | + | - | - | + | - | + |
| Судоми | - | - | - | + | - | - | + | - | - |
| Утруднення мови | - | - | - | - | + | - | - | - | + |
| Болі в грудях | + | - | + | - | - | + | - | + | - |
| Різь в очах | + | + | - | - | + | + | - | + | - |

Розглянемо небезпечний фактор пожеж та аварій – підвищену загазованість, проведемо статистичний аналіз впливу цього фактору на людей.

Існують мало поширені методи контролю середовища, які в сукупності з відомими можуть забезпечити безпечну роботу Державної служби з надзвичайних ситуацій. До них відносяться візуальний контроль запаху, контроль реакції оточуючого середовища.

Візуальний контроль полягає у фіксації зміни кольору диму, появи на низькій висоті хмари над об'єктом.

Контроль запаху включає в себе спостереження за появою на об'єкті запахів, які не властиві в конкретних випадках. В табл. 4 представлені речовини, які мають характерні запахи, які небезпечні для людини. Показником безпеки виступають гранично допустимі концентрації (ГДК).

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Таблиця 4 – Характеристики небезпечних речовин

| Речовина | Хім. формула | ГДК мг/м ³ | Запах |
|-------------------|---|-----------------------|--------------------|
| Аміак | NH ₃ | 0,2 | Різкий |
| Ацетофенон | C ₈ H ₁₀ O | 0,003 | Черемхи |
| Бензол | C ₆ H ₆ | 0,8 | Відштовхуючий |
| Ізобутилацетат | C ₆ H ₁₂ O ₂ | 0,1 | Бананів |
| Нітробензол | C ₆ H ₅ NO ₂ | 0,008 | Гіркий мигдаль |
| Оксид азоту | NO ₂ | 0,085 | Різкий |
| Сірчаний ангідрид | SO ₂ | 0,05 | Гострий |
| Сірководень | H ₂ S | 0,008 | Тухлих яєць |
| Сірковуглець | C ₂ S | 0,005 | Прілого сіна |
| Формальдегід | CH ₂ O | 0,003 | Різкий, задушливий |
| Фосген | COCl ₂ | 0,005 | Сіна |
| Фосфін | PH ₃ | Отруйний | Рибно-часниковий |

Для більш якісної оцінки небезпеки середовища особовому складу ДСНС необхідно враховувати та вивчати фактори навколишнього середовища (запахи, реакцію

середовища при впливі на нього небезпечних речовин). Реакцію рослин у випадку впливу деяких речовин наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Реакція рослин на вплив різних речовин.

| Речовина | Індикатор | Реакція рослин |
|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| Аміак, (NH ₃) | Соняшник, кінський каштан | Листопад, некроз листя. |
| Сірчаний ангідрид, (SO ₂) | Сосна, ялина, піхта, смородина. | У хвойних – опадання хвої, побуріння хвої. У смородини – хлороз листя. |
| Хлористий водень, (HCL) | Сосна, ялина, піхта. | Зміни росту рослин, скручування листя. |
| Сірководень, (H ₂ S) | Шпинат, горох. | Зміни росту рослин, зменшення врожайності. |

Найбільш чутливими до забруднення навколишнього середовища є мох та лишайники, а також хвойні різновиди дерев.

Контроль реакції навколишнього середовища містить в собі зміни компонентів природи навколо об'єкту. Перш за все продукти горіння і речовини, які утворилися внаслідок вибуху, розливу, випаровування, впливають на рослинність. Рослини – біоіндикатори реагують на всі небезпечні речовини, в той же час коли вимірювальні прилади визначають лише ті речовини, для яких вони призначені. У рослин відбуваються структурні та функціональні зміни (кольору кори дерев, кольору листя, зів'яння листя, листопадіння, некроз і хлороз листя тощо) за якими реєструються зміни властивостей середовища.

Таким чином, використання методу біоіндикації особовим складом Державної служби з надзвичайних ситуацій під час

професійного становлення приводить до формування професійно важливих якостей, відповідний рівень розвитку яких забезпечує ефективне виконання професійних завдань за призначенням.

Висновки. Отже, виходячи з вище наведеного можна зробити висновки, що зміна хімічного складу повітря несприятливо впливає на більшість біосферних процесів. Забруднення повітря токсичними речовинами призводить до зниження неспецифічної стійкості організму та сприяє розвитку багатьох захворювань людини, несприятливо впливає на стан тварин та рослинних організмів.

Дію шкідливих газів на сьогодні визначено тільки частково. Як правило, головну увагу дивлячись на обставини, спрямовували на вивчення лише поодинокій дії кожного з них. Тому ми зовсім не знаємо, наскільки велика шкода може бути викликана дією їх в сукупності. І до тих пір, поки ми будемо не в змозі скласти таке уявлення про

це, необхідно передбачити ступінь небезпеки для людини окремих шкідливих забруднюючих речовин, які існують в межах атмосфери. Звичайно слід підкреслити, що необхідно досягнути того, щоб забруднення атмосфери трималось на більш низькому рівні, щоб за цим був встановлений постійний контроль. Якби суспільство раніше усвідомило важливість цієї проблеми або цією програмою займались на тому ж рівні, що і проблемою розвитку економіки, тоді б забруднення середовища не дійшло до таких розмірів, як сьогодні. Дуже шкода, що потрібно ще багато часу, доки вдасться в містах концентрації промислового виробництва населення затримати і зупинити процес забруднення атмосфери на нормальному безпечному рівні.

Людство повинне спрямовувати свій інтерес, свою перетворюючу діяльність на різке скорочення, а в перспективі – на усунення несприятливих факторів для природи в цілому і для здоров'я людини зокрема.

З метою вдосконалення методів контролю стану навколишнього середовища під час пожеж впроваджуються мало поширені методи контролю середовища. Ці методи у сукупності з відомими можуть забезпечити безпечну роботу бойових підрозділів. До них відносяться – візуальний контроль, контроль запаху, контроль реакції навколишнього середовища.

Застосування біоіндикаторів має ряд переваг щодо технічних методів контролю, а саме:

- біоіндикація – екологічно чистий та безпечний метод контролю стану навколишнього середовища;

- біоіндикація – спосіб постійного контролю, який не має похибки.

Цей метод демонструє негативні зміни у біосфері, які виникають упродовж тривалого часу. Крім того, біоіндикатори реагують на всі речовини – забруднювачі, тоді як спектр речовин, який можна проаналізувати приладами, обмежений. Біоіндикатори встановлюють вплив шкідливих речовин, які є в малих кількостях, що відбувається за рахунок біоіндикації.

Багато понять методики були відомі студентам, курсантам та слухачам і раніше, що дозволяло пов'язати їх життєвий досвід з майбутньою професійною діяльністю. Отримані знання примушують під час виконання службових обов'язків постійно знаходитися в готовності, обережно діяти і правильно вибирати способи і засоби захисту від встановлених небезпечних чинників. Окрім цього, приведена інформація розширює кругозір і загальний рівень знань. Підводячи підсумки, хотілося б підкреслити те, що метод біоіндикації об'єктивно доповнює технічний спосіб контролю стану навколишнього середовища, і має ряд переваг над ним. Так само хотілося б, щоб метод біоіндикації обов'язково вивчали і знали люди, які працюють в Державній службі з надзвичайних ситуацій України.

Перспективи подальших досліджень. Перспективи розробки та впровадження нових методів контролю стану навколишнього середовища в навчальних закладах та практичних підрозділах ДСНС України є актуальними і є цікавими для подальших досліджень як науковців, так і практичних працівників.

Пропонуємо використовувати метод біоіндикації під час проведення оперативно-практичних навчань керівного складу та в учбовому процесі навчальних закладів ДСНС України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Биков С. О. Екологічні аспекти пожежної безпеки / С. О. Биков, В. І. Шутенко. – Ч. : ЧПБ, 2003, – 82 с.

2. Головченко С. І. Сучасні шляхи вдосконалення методів контролю стану навколишнього середовища під час пожеж / С. І. Головченко, В. І. Шутенко // Матеріали відкритого конкурсу на кращу науково-дослідну роботу з професійно орієнтованих гуманітарних та соціально-економічних

дисциплін ВНЗ МНС України. – Ч. : ЧПБ, 2006. – С. 14–17.

3. Головченко С. І. Захист особового складу служби цивільного захисту та населення під час надзвичайних ситуацій / С. І. Головченко, В. І. Шутенко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Ч. : АПБ, 2008. – С. 63–66.

4. Желяк В. І. Методи захисту пожежників від теплового випромінювання вогнища пожежі / В. І. Желяк, М. А. Наливайко,

О. В. Лазаренко, С. Я. Кінтер // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. – Ч. : АПБ, 2014. – №16. – С. 30–35.

5. Шутенко В. І. Використання методу біоіндикації як складової частини системи екологічного моніторингу під час надзвичайних ситуацій / С. І. Головченко, В. І. Шутенко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Ч. : ЧПБ, 2005. – С. 232–235.

6. Шутенко В. І. Екологічний моніторинг під час надзвичайних ситуацій / С. І. Головченко, В. І. Шутенко // Матеріали відкритого конкурсу на кращу наукову роботу з професійно орієнтованих гуманітарних та соціально-економічних

дисциплін ВНЗ МНС України. – Ч. : ЧПБ, 2007. – С. 4–7.

7. Шутенко В. І. Использование метода биоиндикации во время чрезвычайных ситуаций / В. И. Шутенко, С. И. Головченко // Материалы IV международной научно-практической конференции курсантов, студентов и слушателей. – Минск : МКИИ, 2007, – С. 416–419.

8. Шутенко В. І. Інноваційні засади при проведенні моніторингу надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі спостережень за екологічними об'єктами / В. І. Шутенко, С. І. Головченко // Збірник наукових праць ЧДТУ, Серія: «Економічні науки». – Вип. 31. – Ч., 2012. – С. 34–38.

REFERENCES

1. Bykov S. A. Ekologichni aspekty pozhezhnoyi bezpeky [Environmental aspects of fire safety] / S. A. Bykov, V. I. Shutenko. – Ch. : CHIPB, 2003. – 82 p.

2. Holovchenko S. I. Shutenko V. I. Suchasni shlyakhy vdoskonalennya metodiv kontrolyu stanu navkolyshn'oho seredovyscha pid chas pozhezh [Modern ways to improve environmental monitoring methods during fires] / S. I. Holovchenko, V. I. Shutenko // Materialy vidkrytoho konkursu na krashchu naukovu-doslidnu robotu z profesiyno oriyentovanykh humanitarnykh ta sotsial'no-ekonomichnykh dystsyplin VNZ MNS Ukrayiny. – Ch. : CHIPB, 2006. – p. 14–17.

3. Holovchenko S. I. Zakhyst osobovoho skladu sluzhby tsyvil'noho zakhystu ta naselennya pid chas nadzvychaynykh sytuatsiy [Protection of the personnel of the civil protection service and the population during emergencies] / S. I. Holovchenko, V. I. Shutenko // Materialy mizhnarodnoyi naukovu-praktychnoyi konferentsiyi. – Ch. : APB, 2008. – p. 63–66.

4. Zhelyak V. I. Metody zakhystu pozhezhnykiv vid teplovoho vyprominyuvannya vohnyshcha pozhezhi [Methods of protection of firefighters from the heat radiation of the fire center] / V. I. Zhelyak, M. A. Nalyvayko, O. V. Lazarenko, S. Ya. Kinter // Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka: zbirnyk naukovykh prats'. – Ch. : APB, 2014. – №16. – p. 30–35.

5. Shutenko V. I. Vykorystannya metodu bioindykatsiyi yak skladovoyi chastyny systemy ekolohichnoho monitorynhu pid chas

nadzvychaynykh sytuatsiy [Use of the method of bioindication as an integral part of the system of environmental monitoring during emergencies] / V. I. Shutenko, S. I. Holovchenko // Materialy Mizhnarodnoyi naukovu-praktychnoyi konferentsiyi. – Ch. : CHIPB, 2005. – p. 232–235.

6. Shutenko V. I. Ekologichnyy monitorynh pid chas nadzvychaynykh sytuatsiy [Environmental monitoring during emergencies] / V. I. Shutenko, S. I. Holovchenko // Materialy vidkrytoho konkursu na krashchu naukovu robotu z profesiyno oriyentovanykh humanitarnykh ta sotsial'no-ekonomichnykh dystsyplin VNZ MNS Ukrayiny. – Ch. : CHIPB, 2007. – p. 4–7.

7. Shutenko V. I. Ispol'zovaniye metoda bioindikatsii vo vremya chrezvychaynykh situatsiy [Use of bioindication method during emergencies] / V. I. Shutenko, S. I. Holovchenko // Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii kursantov, studentov i slushateley. – Minsk : MKII, 2007. – p. 416–419.

8. Shutenko V. I. Innovatsiyini zasady pry provedenni monitorynhu nadzvychaynykh sytuatsiy tekhnogennoho kharakteru na osnovi sposterezhen' za ekolohichnymy ob'yektamy [Innovative principles in the monitoring of man-made emergencies on the basis of observations of environmental objects] / V. I. Shutenko, S. I. Holovchenko. – Ch. : Zbirnyk naukovykh prats' CHDTU, Seriya: «Ekonomichni nauky», 2012, vyp. 31. – P. 34–38.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

С. И. Головченко, канд. экон. наук,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины

ИННОВАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

В статье рассмотрен метод биоиндикации, ранее применялся при проведении экологической экспертизы с целью определения экологической нагрузки на составляющие биосферы. Мы модернизировали этот метод экологической биоиндикации для определения объема загрязнения и видов загрязняющих факторов с целью предупреждения опасного воздействия на человека. Создание методики контроля опасного состояния окружающей среды, без использования технических средств

контроля, а также объективной оценки ситуации в зоне действия химически опасных веществ и ионизирующего излучения, представляет научную новизну и, что не менее важно, практическое значение.

Ключевые слова: экологическая экспертиза, экологическая нагрузка, биосфера, окружающая среда, сильнодействующие ядовитые вещества, токсичные ингредиенты, хлороз, некроз, технический способ контроля, метод биоиндикации.

S. I. Golovchenko, Ph.D.
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
Of the National University of Civil Protection of Ukraine

INNOVATIVE BASIS OF THE USE OF BIOINDICATION METHOD DURING MAN-MADE EMERGENCIES

The article deals with the method of bioindication, which was used earlier in the course of ecological expertise in order to determine the ecological load on the components of the biosphere (soil, water environment, air), determining of the general level of pollution was done and the clarification of the pollution zones was carried out in order to determine the ecological load on the components of the biosphere. In situations where chemical pollution occurs, units of the State Emergency Service (SES) continue to perform their duties: extinguishing fires, participating in the elimination of the consequences of an emergency. The extent to which the SES units are prepared for their tasks in a complex, chemically dangerous environment affects the effectiveness of the activities, life and health of the personnel of the SES units, as well as the civilian population, the period during which the consequences of the emergency will be eliminated. But in order to efficiently carry out protection against dangerous factors, the operating hazardous factor must be correctly and quickly identified. The accuracy of the means and tactics of protection depends on this. New dangerous substances appear, there is a high probability of using poisonous substances during terrorist acts. Very often a person suffers from a lack of knowledge, and during the emergencies the number of dangerous factors

increases. The most important task of the personnel working in extreme situations, and above all, the specialists of the civil protection service, is to timely recognize and fix the danger. Today the problem of man-made emergencies has become global in its scope, affecting not only national but also international interests. In view of the significant increase in the number of catastrophic events in the last two decades in comparison with previous periods of human history, the relevance of this problem is not in doubt. This situation forces us to constantly search for new, more advanced methods of ensuring the protection of the personnel and civilian population in the state. We upgraded this method of environmental bioindication to determine the extent of pollution and types of contaminating factors to prevent dangerous effects on humans. Creation of a method for controlling the dangerous state of the environment without the use of technical means of control, as well as an objective assessment of the situation in the area of exposure of chemically hazardous substances and ionizing radiation, presents scientific novelty and, equally important, practical significance.

Key words: ecological expertise, ecological load, biosphere, environment, strong poisonous substances, toxic ingredients, chlorosis, necrosis, technical method of control, method of bioindication.

*А. Г. Іваніцкі, канд. техн. наук, доцент, А. В. Барсукова,
ГУО «Універсітэт гражданскай зашчыты
Міністэрства па чрэзвычайным сітуацыям Рэспублікі Беларусь»*

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЕМОВ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Проведен анализ литературных источников по вопросу влияния горизонтальных проемов в горящем помещении на параметры пожара. Показаны ограничения по использованию ранее полученных результатов исследований при моделировании пожаров. Для предварительной оценки влияния горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении проведено моделирование горения древесины в административном помещении для случая наличия только вертикального дверного проема и для присутствия дополнительных горизонтальных световых проемов. Разработаны выводы по результатам проведения анализа.

Ключевые слова: *расчет, температурный режим пожара, интегральная модель, горизонтальный проем, алгоритм.*

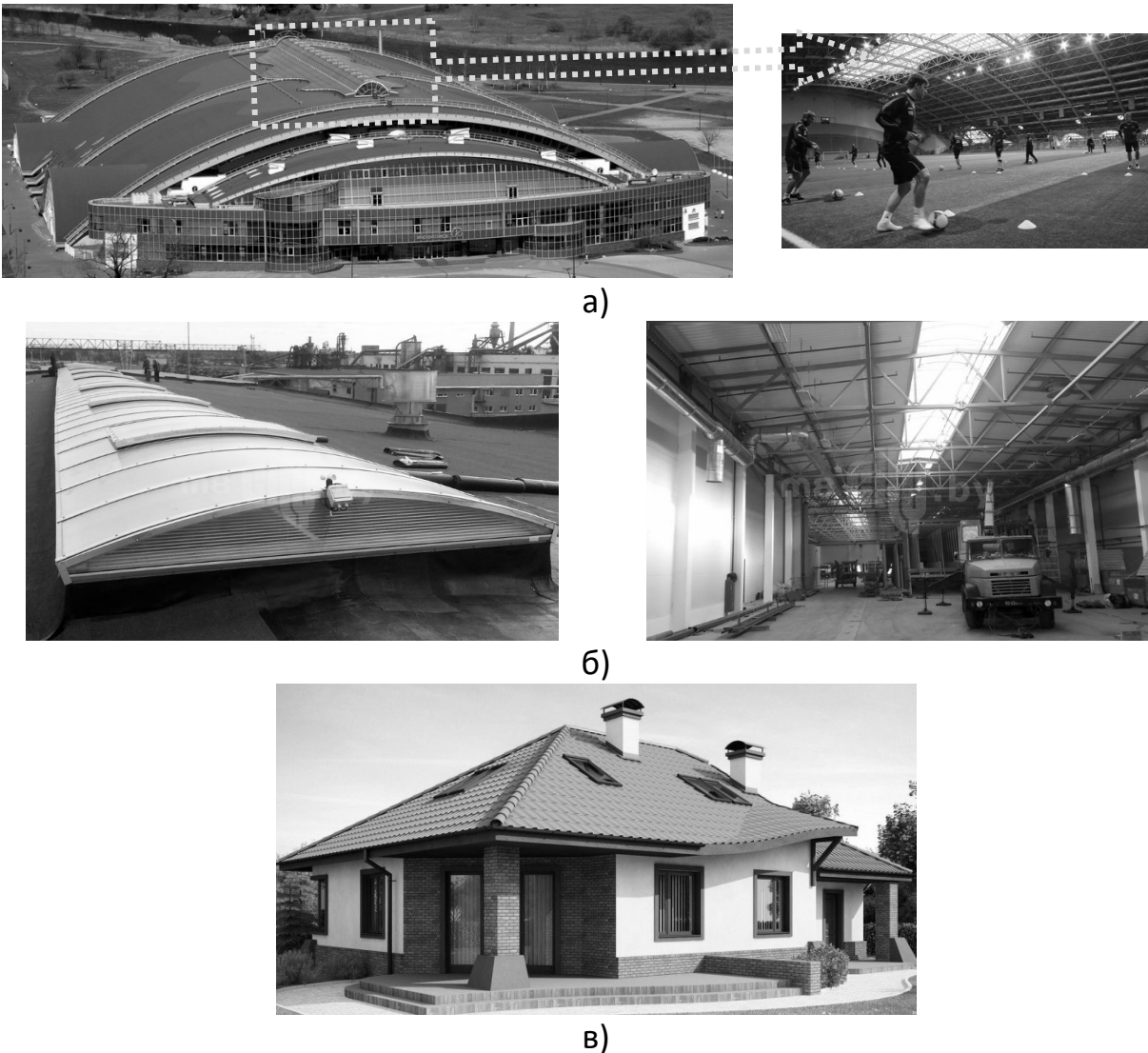
Постановка проблемы. Все проектируемые и строящиеся здания или помещения должны отвечать существенным (базовым) требованиям пожарной безопасности, которые являются обязательными для применения [1]. В современных условиях совершенствования технологий строительства зданий и сооружений, повышения требований к организации их внутреннего пространства все большее внимание уделяется обеспечению пожарной безопасности.

В помещениях различного функционального назначения (торговые, логистические комплексы, здания с атриумами, производственные, складские и другие помещения) в случаях, предусмотренных нормативными документами, в горизонтальных или наклонных ограждающих конструкциях часто устраивается верхнее естественное освещение, а также проемы, используемые для целей дымоудаления в начальной стадии развития пожара (рисунок 1).

При принудительном открывании или разрушении заполнения указанных проемов вследствие воздействия высокой температуры пожара для определения параметров газовой среды внутри

помещения необходимо учитывать тепломассообмен с окружающей средой и через эти проемы. Особенно заметно влияние проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на параметры пожара будет проявляться в помещениях при наличии только вертикальных дверных проемов и отсутствии оконных проемов.

Переход к гибкому противопожарному нормированию, когда проектные решения обосновываются и применяются во взаимосвязи друг с другом, в том числе с использованием расчетных методов, обусловил необходимость разработки инструментов оценки технической эффективности принятых решений в области пожарной безопасности. Для этого используются критерии выполнения системами пожарной безопасности задач по обеспечению безопасности людей и материальных ценностей. При этом чаще всего решаются вопросы обеспечения огнестойкости строительных конструкций при пожаре и обеспечения безопасной эвакуации людей, в которых основными опасными факторами пожара являются параметры газовой среды в помещении (температура, концентрация продуктов горения и т.п.).



а) футбольний манеж; б) производственное помещение [2]; в) жилой дом

Рисунок 1 – Примеры зданий с проемами в горизонтальных (наклонных) ограждающих конструкциях

Необходимое время эвакуации людей и фактическая огнестойкость строительных конструкций определяются динамикой нарастания во времени и пространстве упомянутых опасных факторов пожара. В инженерных расчетах при проектировании специалистами чаще всего используется подход с использованием интегральной модели пожара, когда условно принимается равномерное распределение усредненных по объему параметров газовой среды в помещении. При определении интегральных характеристик состояния газовой среды в помещении основными параметрами, определяющими динамику изменения одного из основных опасных факторов пожара – температуры, являются характеристики пожарной нагрузки и ее размещения в

помещении, геометрия (площадь и высота) помещения, размеры проемов в вертикальных ограждающих конструкциях, характеристики ограждающих конструкций. В основу методики расчета [3] вошли положения [4–6], разработанные в результате решения системы уравнений, описывающих закон сохранения энергии и массы газов.

В [7] приведена методика расчета параметрического температурного режима для помещений без проемов в покрытии с площадью пола до 500 м^2 и максимальной высотой до 4 м, при этом основными параметрами, влияющими на температуру обозначены: расчетная удельная пожарная нагрузка, теплотехнические характеристики и размеры ограждающих конструкций, площадь и геометрия проемов.

Анализ последних исследований публикаций. Анализ методик показал, что в рекомендациях и нормативных документах отсутствуют сведения о том, как учитываются при расчете имеющиеся проемы в горизонтальных ограждающих конструкциях, кроме этого в поясняющих методики примерах и научных публикациях приводятся результаты расчета для моделей помещений без горизонтальных проемов [8-10]. Отсутствие информации в нормативных документах и разное толкование их требований привели к тому, что в настоящее время при расчете температурного режима пожара в помещениях зданий на территории Республики Беларусь не требуется учитывать наличие проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях, что не отражает реальных условий теплообмена на внутреннем пожаре [9].

Постановка задачи и ее решение. С учетом изложенного, оценка влияния проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях на интегральные теплотехнические параметры объемного свободно развивающегося пожара в помещении с последующей разработкой соответствующей инженерной методики расчета является актуальной научной и технической задачей.

Изложение основного материала исследования. Для предварительной оценки влияния наличия горизонтальных проемов на температурный режим пожара в помещении рассмотрены результаты моделирования для административного помещения размером 8,5×9,3 м высотой 4,3 м. В помещении имеется один вертикальный дверной проем размером 1,0×2,1 м и два горизонтальных световых проема размером 1,5×1,5 м каждый. Помещение не оборудовано техническими средствами противопожарной защиты. Моделирование производилось для равномерно распределенной пожарной нагрузки, представленной сосновой древесиной (828 МДж/м²). Скорость распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки принята равной 0,02 м/с, удельная массовая скорость выгорания – 0,0185 кг·м⁻²·с⁻¹ [11]. Возгорание моделировалось в геометрическом центре пола помещения.

Анализ результатов моделирования (рис. 2, 3) показал практически идентичный начальный участок роста интенсивности тепловыделения, а соответственно и среднеобъемной температуры. Этот начальный участок соответствует периоду распространения

горения по площади пожарной нагрузки, которое происходит при избытке кислорода воздуха без существенного газообмена со средой за пределами помещения. Далее начинает устанавливаться газообмен с окружающей средой за пределами горящего помещения. При этом при наличии только вертикального проема горение переходит в стадию, характеризующуюся недостатком кислорода воздуха по причине двунаправленного движения в проеме и интенсивность тепловыделения (среднеобъемная температура) начинает снижаться. В случае наличия горизонтальных проемов вертикальный проем работает преимущественно на приток, а горизонтальные – на удаление продуктов горения, обеспечивая достаточный приток воздуха в зону горения и, как следствие, практически максимальную интенсивность выгорания пожарной нагрузки и среднеобъемную температуру.

На основании изложенного можно сделать вывод о существенном влиянии в данной ситуации горизонтальных проемов на температуру пожара, что связано с условиями воздухообмена в помещении. В этом случае игнорирование наличия горизонтальных проемов при определении возможности использования в указанном помещении незащищенных стальных конструкций в качестве балок покрытия приведет к завышенной оценке их огнестойкости:

для расчета по [3] время достижения среднеобъемной температуры 500 °С составит не менее 40 минут, что соответствует расчетному пределу огнестойкости не менее R30;

результаты полевого моделирования при учете и вертикального и горизонтального проема демонстрируют достижение среднеобъемной температуры 500 °С на 3 минуте пожара, что соответствует расчетному пределу огнестойкости менее R15;

при учете только вертикального проема среднеобъемная температура 500 °С в помещении по результатам полевого моделирования не достигается, что соответствует расчетному пределу огнестойкости более R120.

Такое завышение расчетной огнестойкости строительных конструкций по условиям обеспечения пожарной безопасности недопустимо, это приводит к необходимости разработки инженерных подходов для адекватной оценки пожарной безопасности в случае наличия в помещениях проемов в горизонтальных ограждающих конструкциях.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

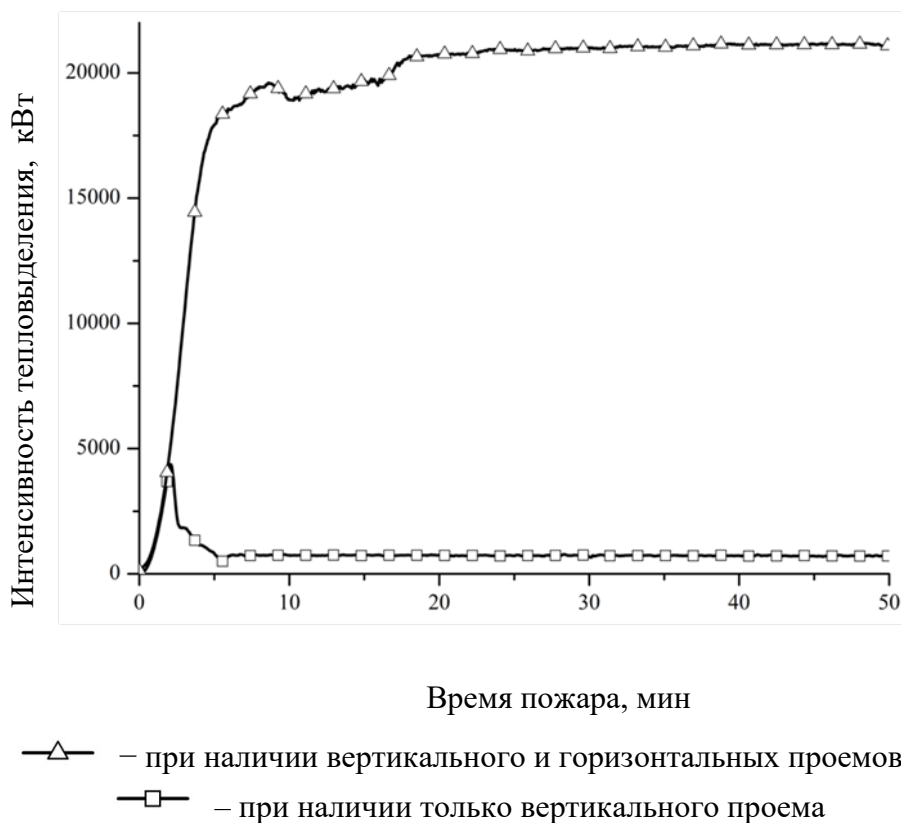
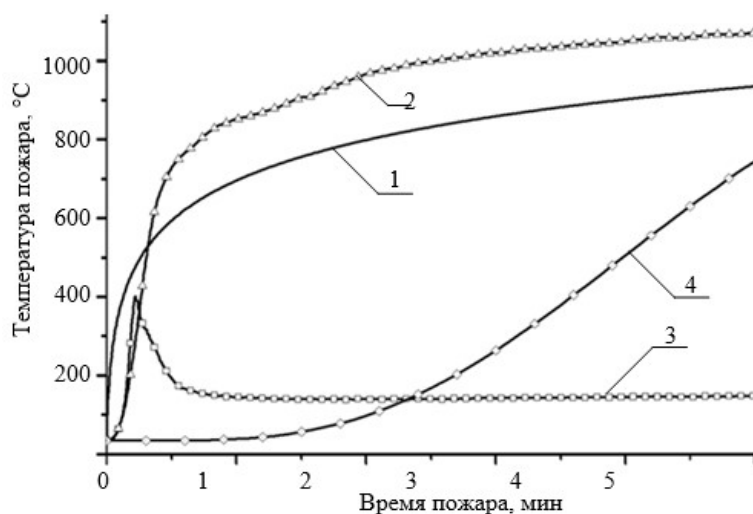


Рисунок 2 – Зміна інтенсивності тепловиділення моделюваного пожежі в административному приміщенні для різного поєднання проемів



1 – «стандартний» пожежі; 2 – результати моделювання з використанням FDS при наявності вертикального і горизонтальних проемів; 3 – результати моделювання з використанням FDS при наявності тільки вертикального проєма; 4 – результати розрахунку по [3] при урахуванні тільки вертикального проєма

Рисунок 3. – Зміна температури моделюваного пожежі в административному приміщенні для різного поєднання проемів

Вопросом оцінки впливу горизонтальних проемів на газообмен при пожежі проблематично по причині того, що в них входять величини, зависячі від температури. Ручний поетапний розрахунок проведених досліджень напряму для визначення середньобъемної температури нестационарних процесів тепло- і

массообмена с учетом наличия горизонтальных проемов при проектировании и оценке огнестойкости строительных конструкций при пожаре характеризуется огромной трудоемкостью. Результат использования программных средств полевого моделирования пожаров также сильно зависит от квалификации пользователя, принятой точности сетки, допущений и упрощений модели.

При этом, сравнивая усредненные значения результатов моделирования для рассмотренного административного помещения с результатами расчета с

использованием формул, приведенных в [12], установлено, что средняя скорость по результатам моделирования в горизонтальном проеме равна 11 м/с, что составляет 125 % от расчетной по [12]. Расчетная высота нейтральной зоны по [13] составила 3,9 м, а по результатам моделирования (рисунок 4) – около 2-2,5 м (на уровне верхнего края вертикального проема), что свидетельствует о необходимости дополнительного изучения условий применения данных [13] при инженерной оценке параметров пожара.

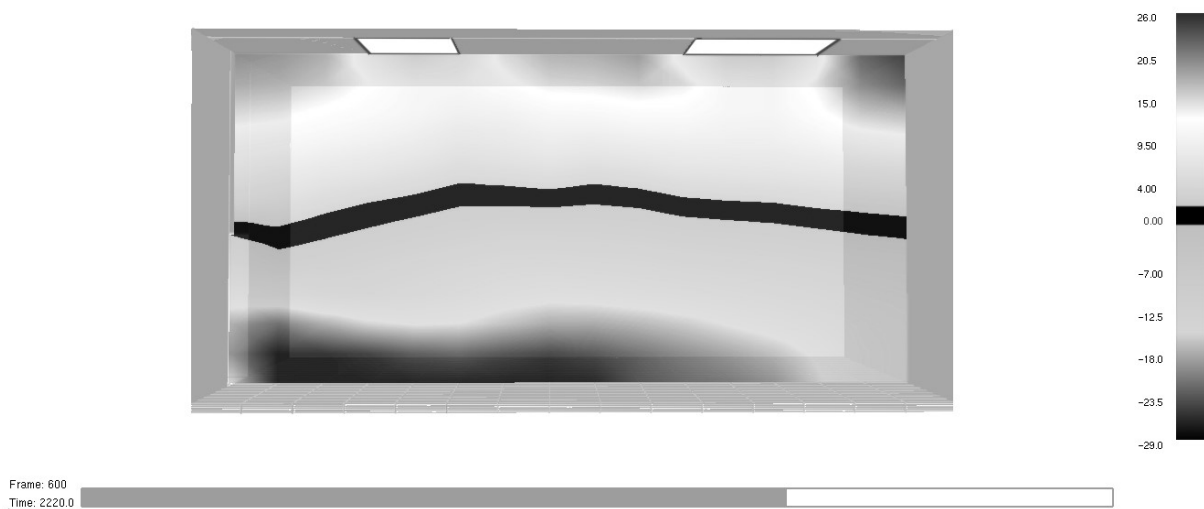


Рисунок 4 – Положение плоскости равных давлений моделируемого пожара в административном помещении с наличием горизонтальных проемов на 37 минуте горения

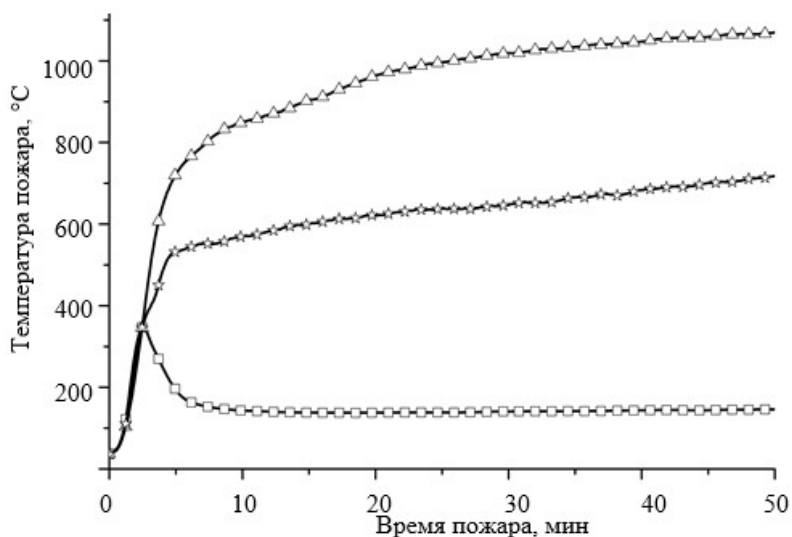
Практический интерес вызывает различие динамики изменения температуры на участке после начального. Для оценки влияния площади горизонтального проема на динамику изменения температуры пожара рассмотрим результаты моделирования пожара в помещении с вышеупомянутыми характеристиками при наличии в покрытии горизонтального проема площадью 1 м² (рисунок 5).

Угол наклона графика на втором участке зависит от сопротивления вертикального проема притоку воздуха снаружи помещения, оказываемого истекающими через него продуктами

горения. Чем больше площадь вертикального проема, работающего на приток, тем более интенсивно происходит горение, тем, соответственно, выше температура пожара (больше угол наклона второго участка относительно горизонтальной оси).

С учетом изложенного, можно сделать вывод, что на сегодняшний день отсутствуют инженерные методики, базирующиеся на результатах исследований и позволяющие в достаточной мере оценить влияние проемов в горизонтальных конструкциях на интегральные теплотехнические параметры объемного свободно развивающегося пожара в помещении.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»



- ▲ – с вертикальним і горизонтальними проемами ($S_{гор}=4,5 \text{ м}^2$);
- ★ – с вертикальним і горизонтальним проемом ($S_{гор}=1,0 \text{ м}^2$);
- – с вертикальним проемом

Рисунок 5 – Изменение температуры моделируемого пожара в административном помещении для разного сочетания площади горизонтальных проемов

С целью учета горизонтальных проемов предлагается при решении классических уравнений тепло- и массообмена дополнительно учесть уменьшение площади тепловоспринимающих поверхностей, конвективные теплотери и потери излучением через горизонтальные проемы, а также возможное влияние горизонтальных проемов на величину критической пожарной

нагрузки, критическую продолжительность пожара и скорость выгорания. Для этого планируется доработать алгоритм, приведенный в [6], программно его реализовать и проверить работоспособность путем сопоставления результатов расчета с использованием усовершенствованного алгоритма с результатами экспериментальных исследований.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ

1. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность : ТР 2009/013/ВУ* // Полнотекстовая информационно-поисковая система «Строй-ДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Светопрозрачные конструкции. Организация мебельного и лесопильного производства // ООО «М8 Сити» [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://m8city.by/projects/188/>. – Дата доступа: 01.07.2017.

3. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ.

28.04.10. / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tnpa.by/ViewFileText.php?UrlRid=106043&UrlOnd=%D1%D2%C1%2011.05.03-200>. Дата доступа: 01.07.2017.

4. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля : ГОСТ Р 12.3.047. – Введ. 01.01.14. – М.: ФГБУ «ВНИИПО» МЧС России, 2014. – 66 с.

5. Методы расчета температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения. Рекомендации – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988 – 56 с.

6. Руководство по расчету температурного режима пожара в помещениях жилых зданий / И.С. Молчадский [и др.]. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983. – 49 с.

7. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости : ТКП EN 1991-1-2-2009 // Полнотекстовая информационно-поисковая система «Строй-ДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

8. Шебеко, Ю.Н. Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для строительных конструкций на основе моделирования пожара в помещении / Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко, Д.М. Гордиенко // Пожарная безопасность. – 2015. - № 1. - С. 31–39.

9. Кураченко, И.Ю. Анализ подходов к определению приведенной высоты проемов при расчете температурного режима пожара / И.Ю. Кураченко, С.М. Жамойдик, А.Г. Немурова // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. - № 1 (37). - С. 79–86.

10. Supplementary reports of work for the C.I.B. international co-operative research

program on fully-developed fires : Fire Research Note №923 / A.J.M. Heselden [et al.] // Fire research station [Electronic resource]. – BRE Trust : Borehamwood, Hertfordshire, 1972. – 254 p. – Mode of access: [http://www.iafss.org/publications/frn/923/-1/view /frn_923.pdf](http://www.iafss.org/publications/frn/923/-1/view/frn_923.pdf). – Date of access: 01.07.2017.

11. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

12. Handbook of fire protection engineering / Philip J. DiNenno [et al.]. – 3rd ed. – Quincy, MA: NFPA, SFPE, 2002. – 1604 p.

13. Heiselberg, P. Modelling of natural and hybrid ventilation : DCE Lecture Notes №4 / P. Heiselberg // Aalborg Univ.: Department of civil eng. [Electronic resource]. – Aalborg, 2006. – Mode of access: [http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation\(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541).html). – Date of access: 01.07.2017.

REFERENCES

1. Technical Regulation TR 2009/013/BY* Zdaniya i sooruzheniya, stroitel'nye materialy i izdeliya. Bezopasnost' [Buildings and structures, constructional materials and units. Safety]. The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT» [Electronic resource]. Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)

2. Svetoprozrachnye konstruksii. Organizatsiya mebel'nogo i lesopil'nogo proizvodstva [Translucent constructions. Organizing of sawmill and cabinet making]. LLC «M8 City» [Electronic resource]. 2017. Mode of access: <http://m8city.by/projects/188/>. Date of access: 01.07.2017. (rus)

3. Standard STB 11.05.03-2010 Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Metody otsenki i analiza pozharnoy opasnosti. Obshchie trebovaniya [System of fire safety standards. Fire safety in industrial processes. Methods of evaluation and analysis of fire hazard. General requirements]. Affirmed 28.04.2010. State Council for standardization of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Mode of access:

<http://tnpa.by/ViewFileText.php?UrlRid=106043&UrlOnd=%D1%D2%C1%2011.05.03-2010>. Date of access: 01.07.2017. (rus)

4. Standard GOST R 12.3.047 Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya [System of labor safety standards. Fire safety in industrial processes. Methods of evaluation and analysis of fire hazard. General requirements. Control methods]. Affirmed 01.01.2014. Moscow : FSBA «VNIPO» MES of Russia, 2014. 66 p. (rus)

5. Metody rascheta temperaturnogo rezhima pozhara v pomeshcheniyakh zdaniy razlichnogo naznacheniya. Rekomendatsii [Calculation methods of fire temperature in enclosures of functional buildings. Recommendations]. Moscow : VNIPO MIA USSR, 1988. 56 p. (rus)

6. I. Molchadskiy Rukovodstvo po raschetu temperaturnogo rezhima pozhara v pomeshcheniyakh zhilykh zdaniy [Guide for calculation of fire temperature in rooms of residential buildings]. Moscow : VNIPO MIA USSR, 1983. 49 p. (rus)

7. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия.

Vozdeystviya dlya opredeleniya ognestoykosti [TKP EN 1991-1-2-2009. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire]. The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT» [Electronic resource]. Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2007. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)

8. Shebeko Yu., Shebeko A., Gordienko D. Raschetnaya otsenka ekvivalentnoy prodolzhitel'nosti pozhara dlya stroitel'nykh konstruktsiy na osnove modelirovaniya pozhara v pomeshchenii [Effective estimation of equivalent fire duration for building structure on the basis of fire modeling in enclosure]. Fire safety. 2015. No. 1. Pp. 31–39. (rus)

9. Kurachenko I., Zhamoydik S., Nemurova A. Analiz podkhodov k opredeleniyu privedennoy vysoty proemov pri raschete temperaturnogo rezhima pozhara [Analysis of approaches to determining the weighted average of openings heights in calculating of the fire temperature]. Chrezvychaynst situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya [Emergency situations: prevention and elimination]. 2015. No. 1 (37). Pp. 79–86. (rus)

10. Supplementary reports of work for the C.I.B. international co-operative research program on fully-developed fires : Fire Research Note №923 / A.J.M. Heselden [et al.] // Fire research station [Electronic resource]. – BRE Trust : Borehamwood, Hertfordshire, 1972. – 254 p. – Mode of access: http://www.iafss.org/publications/firn/923/-1/view/firn_923.pdf. – Date of access: 01.07.2017.

11. Yii, E.H. Modelling the effects of fuel types and ventilation openings on post-flashover compartment fires : PhD in fire eng. thesis / E.H. Yii. – New Zealand: Univ. of Canterbury Christchurch, 2002. – 328 p.

12. Lia, Q. Influence of roof opening on gas temperature rise in an enclosure / Q. Lia, J. Zhanga, S. Lua // ScienceDirect [electronic resource] : The 9th Asia-Oceania Symp. on Fire Science and Technology, China, Hefei, 17–20 oct. 2012; ed.: Naian Liu. – Hefei, 2013. – Vol. 62. – P. 194–201. – Mode of access: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581301237X>. Date of access: 01.07.2017.

13. Heselden, A.J.M. Fire problems of pedestrian precincts. Part 2. Large-scale experiments with a shaft vent : Fire Research Note

№954 / A.J.M. Heselden, H.G.H. Wraight, P.R. Watts // Department of the environment and fire offices' committee Joint fire research organization [Electronic resource]. – BRE Trust, 1972. – 54 p. – Mode of access: http://www.iafss.org/publications/firn/954/-1/view/firn_954.pdf. – Date of access: 01.07.2017.

14. Handbook of fire protection engineering / Philip J. DiNenno [et al.]. – 3rd ed. – Quincy, MA: NFPA, SFPE, 2002. – 1604 p.

15. Epstein, M. Combined natural convection and forced flow through small openings in a horizontal partition, with special reference to flows in multicompartment enclosures / M. Epstein, M.A. Kenton // Journal of Heat Transfer – 1989. – № 111(4). – Pp. 980–987.

16. Flow through horizontal vents as related to compartment fire environments : Report / National inst. of standards and technology; Q. Tan, Y. Jaluria. – Gaithersburg, MD, 1992. – 104 p. – № NIST-GCR-92-607.

17. Than, C.F. Modeling fire behavior in an enclosure with a ceiling vent / C.F. Than, B.J. Sivilonis // Fire safety journal – 1993. – № 20(2). – Pp. 151-174.

18. Use of a zone model for validation of a horizontal ceiling/floor vent algorithm: Report / Naval research lab; J.L. Bailey, F.W. Williams, P.A. Tatem. – Washington, DC, 1991. – 42 p. – № 6811.

19. Fire in a roof-ventilated room : Report / Nat. Defense Research Inst.; R. Jansson, B. Onnermark, K. Halvarsson. – Stockholm, 1986. – 145 p. – № C 20606-D6.

20. Heiselberg, P. Modelling of natural and hybrid ventilation : DCE Lecture Notes №4 / P. Heiselberg // Aalborg Univ.: Department of civil eng. [Electronic resource]. – Aalborg, 2006. – Mode of access: [http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation\(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/modelling-of-natural-and-hybrid-ventilation(e8c6f086-f42c-46b0-a67b-9fec1fc29541).html). – Date of access: 01.07.2017.

21. Cooper, L.Y. Calculation of the flow through a horizontal ceiling floor vent / L.Y. Cooper. – Gaithersburg, MD: National inst. of standards and technology, 1989. – 25 p.

22. Li, Z. Characteristics of buoyancy driven natural ventilation through horizontal openings : PhD in fire eng. thesis / Z. Li. – Aalborg, 2007. – 118 p.

23. Ivannikov V., Klyus P. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara [Handbook of руководителя тушения пожара]. Moscow : Stroyizdat, 1987. – 288 p. (rus)

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

*А. Г. Іваніцкій, канд. техн. наук, доцент, А. В. Барсукова,
ДЗО «Університет цивільного захисту
Міністерства з надзвичайних ситуацій Республіки Білорусь»*

ВПЛИВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ПРОРІЗІВ В ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ

Проведено аналіз літературних джерел з питання впливу горизонтальних прорізів в палаючому приміщенні на параметри пожежі. Показані обмеження щодо використання раніше отриманих результатів досліджень при моделюванні пожеж. Для попередньої оцінки впливу горизонтальних прорізів на температурний режим пожежі в приміщенні проведено моделювання горіння

деревини в адміністративному приміщенні для випадку наявності тільки вертикального дверного отвору і для присутності додаткових горизонтальних світлових прорізів. Зроблено висновки за результатами проведення аналізу.

Ключові слова: розрахунок, температурний режим пожежі, інтегральна модель, горизонтальний отвір, алгоритм.

*A. Ivanitski, PhD, associate professor, senior lecturer the state educational establishment
«University of civil protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»
A. Barsukova, graduate student, lecturer the state educational establishment «University of civil
protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»*

CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF EVALUATING THE INFLUENCE OF THE HORIZONTAL OPENINGS IN THE SEPARATING STRUCTURES ON THE FIRE TEMPERATURE IN THE COMPARTMENT

The paper is devoted to analysis of experimental study and evaluation of the influence of the horizontal opening on the temperature of the fire in the compartment. The limitations of the previous scientific results in modeling fires are shown in compartment having both vertical and horizontal openings. An analysis of literature sources and modeling of wood burning in an administrative compartment for evaluating the influence of the horizontal opening on the temperature of the fire in the compartment. The conclusions on the results of the analysis were developed.

Keywords: calculation, fire temperature, integral model, horizontal opening, algorithm.

The article analyzes the literature on the effect of horizontal openings on the temperature of the fire in the compartment. Limitations on the use of previously obtained research results in simulation of fires in compartment having both horizontal and vertical openings are shown. To analyze the difference in fire temperature in the compartment Fire Dynamic Simulator has been used.

For a preliminary assessment of the effect of horizontal openings on the temperature regime of a fire in the room, modeling of wood

burning in an administrative compartment was carried out for the case of the presence of only a vertical opening. Then, modeling was carried out for the same administrative compartment, but it had an additional horizontal opening.

Based on the results of the simulation, a significant effect of horizontal apertures on the temperature regime of a fire in the room and the absence of techniques allowing to sufficiently assess the effect of openings in horizontal enclosing structures on the integral thermal and technical parameters of a voluminous free-developing fire in a room is established.

A significant effect of ventilation through horizontal openings on the fire temperature is detected. Modification of the algorithm used in the development of the calculation methodology is suggested. The results can be applied in calculating the compartment fire temperature taking into account the horizontal openings. Horizontal openings have a significant influence on the fire temperature and should not be ignored during the calculation. It is necessary to revise the calculation algorithm used in the STB 11.05.03 methodology.

*А. А. Киреев, д-р техн. наук, профессор, Д. И. Савельев,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

ИЗУЧЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В статье представлены результаты экспериментального исследования, посвященного изучению времени огнезащитного действия гелеобразующих систем при тушении лесных пожаров. Автором обоснован выбор состава гелеобразующей огнетушащей системы; экспериментально изучено огнезащитное действие гелеобразующей системы ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) по отношению к хвойной лесной подстилке. На основе полученных данных составлено регрессионное уравнение, описывающее влияние концентрации компонентов системы, массы нанесенного покрытия и времени сушки обработанного лесного горючего материала на время его воспламенения.

Ключевые слова: *тушение лесных пожаров, лесная подстилка, химические опорные полосы, гелеобразующая система.*

Постановка проблемы. Проблема тушения лесных пожаров ежегодно становится актуальной с приходом летнего сезона. Особо остро она стоит в засушливые периоды с минимальным количеством осадков, что создает условия для горения сухого лесного горючего материала. Каждый лесной участок имеет свой класс пожарной опасности, который определяется по степени возможности возникновения пожара. Наиболее опасным классом считается участки первого класса – насаждения хвойных пород в возрасте до 40 лет, лесные культуры, вырубки и др., которые и составляют основную часть лесных насаждений в Украине.

Тушение лесных пожаров, в том числе и на участках первого класса пожарной опасности, как правило, требует привлечение большого количества сил и средств. К основным способам тушения пожаров, которые применяются пожарными подразделениями в Украине, можно отнести: захлестывание или забрасывание почвой кромки пожара; устройство заградительных и минерализованных каналов и полос; тушения пожара водой или растворами огнетушащих химикатов, отжиг (пуск встречного огня) и др. [1]. Процесс тушения лесного пожара делится на две последовательно выполняемые тактические операции: локализацию очага пожара и ликвидацию горения. Также дополнительно проводят дотушивание очагов горения,

оставшихся внутри пожарища, и окарауливание участка, где был пожар.

По статистике, количество низовых лесных пожаров значительно преобладают над верховыми, а верховые пожары возникают из низовых как последующая стадия их развития, причем низовой пожар является составной частью верхового пожара. Возгорание крон деревьев без низового пожара – редкое исключение, например, от пожара в рядом стоящем здании [2]. Низовой пожар высокой интенсивности чаще всего останавливают пуском отжига навстречу фронта от опорной полосы, созданной с помощью засыпки грунтом, от естественных преград либо растворами химикатов. Отжиг производят от опорной полосы, проложенной на расстоянии не менее 80 м от фронта пожара. На флангах и в тылу лесного пожара создают заградительную минерализованную полосу без этапа отжига [3].

В случае создания опорных и заградительных полос время огнезащитного действия является основным показателем эффективности. При этом на время огнезащитного действия химических опорных полос непосредственно влияют огнезащитные свойства огнетушащего вещества, которое используется для их создания. Таким образом, актуальным является решение проблемы разработки эффективных средств огнезащиты лесной подстилки для создания химических опорных и заградительных полос.

Анализ последних исследований и публикаций.

Постоянный поиск новых огнетушащих и огнезащитных составов для тушения лесных пожаров и способов их подачи показывает повышенный интерес к этой проблеме. В последнее время разным аспектам проблемы тушения лесных пожаров были посвящены исследования отечественных и зарубежных специалистов. Так, для борьбы с лесными пожарами предлагается применение химического замедлителя горения – хлорида магния (бишофита); привлечение авиации; повышение эффективности борьбы с лесными пожарами связывают с использованием водопенных средств пожаротушения, применением гелеобразующих и пенообразующих составов (ГОС, ПОС); использованием компрессионных и твердеющих пен [2; 4; 5].

В ходе нашей работы мы изучили особенности применения ГОС и ПОС для тушения низового лесного пожара. При сравнении проникающих способностей данных бинарных систем было установлено, что пена, образуемая при использовании ПОС с внешним пенообразователем, обладает большей проникающей способностью в сравнении с гелем. Однако дальнейшие эксперименты показали, что со временем образовавшаяся пена быстро разрушается, а обработанная поверхность после сушки теряет свои огнезащитные свойства. Таким образом, несмотря на более низкую проникающую способность, для решения проблемы выбора эффективного средства для создания химических огнезащитных полос в ходе тушения лесных пожаров, было решено использовать ГОС с учетом дальнейшей работы над улучшением проникающей способности гелеобразующей системы.

Изучив огнезащитные характеристики ряда гелеобразующих систем, мы установили качественные закономерности влияния концентраций веществ, входящих в состав ГОС, на их огнезащитные характеристики. В результате проведенных экспериментов был сделан вывод о том, что ГОС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2 + \text{CaCl}_2$ при раздельно-последовательном нанесении её компонентов на лесную подстилку является наиболее эффективной [4].

Формулировка целей статьи. Целью работы является исследование влияния

факторов (концентрация компонентов ГОС, масса и временем сушки покрытия) на время огнезащитного действия ГОС в случае использования раздельно-последовательной подачи компонентов, а также определение рабочей модели использования гелеобразующей системы для тушения пожаров в экосистемах.

Изложение основного материала исследования. Для достижения поставленной цели был проведен ряд лабораторных экспериментов. В качестве лабораторного модельного очага низового лесного пожара была воспроизведена лесная подстилка из соснового опада размером (10x10) см, загрузкой 25 г, что соответствует удельной загрузке $2,5 \text{ кг/м}^2$, и толщине 5 см. Подстилка была сформирована на металлической решетке и подвешена на специальной установке (рис.1).

Предварительно взвешенные модельные очаги обрабатывались из распылителей ОП-301 сначала катализатором гелеобразования, а затем гелеобразователем, после чего снова определялась их масса. По разнице масс рассчитывалась масса геля, образовавшегося в объёме лесной подстилки.

В качестве количественного показателя огнезащитного действия гелеобразующих составов было принято время воспламенения верхней части модельного очага низового лесного пожара в условиях действия открытого пламени. Огневое воздействие производилось с помощью газовой горелки. Высота пламени была на 5 см выше верхней части модельного очага. При этом горелка устанавливалась так, чтобы центр пламени находился на расстоянии 2 см к середине модельного очага.

Обработка полученных результатов выполнена с использованием методов теории планирования эксперимента [7]. С учётом химической совместимости компонентов ГОС и условия возможности быстрого гелеобразования были определены уровни варьирования этих факторов (табл. 1) [8].

Эксперимент был реализован по плану, который дает возможность предсказать значение функции отклика с дисперсией, одинаковой на равных расстояниях от центра плана, то есть был использован центральный композиционный рототабельный план второго порядка.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»



а)



б)

Рисунок 1 – Лабораторные исследования огнезащитного действия лесной подстилки, обработанной ГОС под прямым воздействием пламени: а – взвешивание лесной подстилки; б – начало огневого испытания

Таблица 1 – Уровни варьирования четырёх факторов

| Факторы | Кодовое обозначение | Нулевой уровень, $x_i = 0$ | Интервал варьирования | Максимальный уровень, $x_i = +1$ | Минимальный уровень, $x_i = -1$ | Звездные точки, $x_i = +2$ | Звездные точки, $x_i = -2$ |
|--|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Концентрация $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$, % | x_1 | 15 | 5 | 20 | 10 | 25 | 5 |
| Концентрация CaCl_2 , % | x_2 | 20 | 7,5 | 27,5 | 12,5 | 35 | 5 |
| Масса нанесенного покрытия, г/см ² | x_3 | 0,7 | 0,15 | 0,85 | 0,55 | 1 | 0,4 |
| Время сушки ЛГМ, мин | x_4 | 30 | 15 | 45 | 15 | 60 | 0 |

Реализация плана типа 2^4 представлена в табл. 2, которая дополнена семью опытами в центре плана и восьмью опытами в звездных точках с плечом, равным двум интервалам варьирования.

Выполнив расчет значений коэффициентов регрессии и оценив их значимость по критерию Стьюдента [7], мы получили уравнения регрессии времени воспламенения (T_b) и времени выгорания лабораторного участка ЛГМ:

$$T_g = 3,922 - 1,729x_1 + 0,762x_2 + 1,38x_3 - 0,48x_4 - 0,79x_1 \cdot x_2 - 0,603x_1 \cdot x_3 + 0,769x_1 \cdot x_4 - 0,396x_2 \cdot x_4 + 0,36x_1^2 + 0,966x_3^2 + 0,46x_4^2 \quad (1)$$

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера дала положительный результат.

Анализ выражения (1) показал, что при нулевых значениях всех факторов, показатель огнезащитной способности равен 3,92 мин. Уменьшение значения концентрации $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$ в ГОС дает наибольший эффект и ведет к увеличению огнезащитной способности покрытия. Увеличение массы нанесенного покрытия

улучшает время огнезащитного действия. Также установлена взаимосвязь между временем сушки обработанного участка и временем огнезащитного действия. В рамках изучаемого предела показатели времени сушки уменьшают время огнезащитного действия.

Проведем исследование выражения (1) на экстремум. Запишем частные производные по всем переменным:

$$\frac{\partial T_e}{\partial x_1} = -1,729 + 0,72 \cdot x_1 - 0,79 \cdot x_2 - 0,603 \cdot x_3 + 0,769 \cdot x_4;$$

$$\frac{\partial T_e}{\partial x_2} = 0,762 - 0,79 \cdot x_1 - 0,396 \cdot x_4;$$

$$\frac{\partial T_e}{\partial x_3} = 1,38 - 0,603 \cdot x_1 + 1,932 \cdot x_3;$$

$$\frac{\partial T_e}{\partial x_4} = -0,48 + 0,769 \cdot x_1 - 0,396 \cdot x_2 + 0,92 \cdot x_4.$$

Приравняв правые части полученных выражений к нулю, получим систему линейных уравнений, которая после преобразования примет такой вид:

$$\begin{cases} 0,72 \cdot x_1 - 0,79 \cdot x_2 - 0,603 \cdot x_3 + 0,769 \cdot x_4 = 1,729 \\ 0,79 \cdot x_1 + 0,396 \cdot x_4 = 0,762 \\ 0,603 \cdot x_1 - 1,932 \cdot x_3 = 1,38 \\ 0,769 \cdot x_1 - 0,396 \cdot x_2 + 0,92 \cdot x_4 = 0,48 \end{cases} \quad (2)$$

В результате решения системы (2) по формулам Крамера получена стационарная точка с координатами, выходящими за область определения модели (1). Максимальное значение функции (1) было определено путем применения процедуры пошагового перебора по всем четырем координатам. Максимальное значение T_v соответствует координатам (-2,2,2,-2) и равняется 30,0 мин.

В результате исследования установлено, что максимальное значение времени воспламенения (максимальная

огнезащитная эффективность) гелеобразующей системы ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7\text{SiO}_2$) достигается при минимальных значениях концентрации $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2$ и времени сушки обработанного участка, а также при максимальных значениях концентрации CaCl_2 и массы нанесенного огнезащитного покрытия (рис. 2). При этом нужно иметь в виду, что концентрацию $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2,7 \text{SiO}_2$ нельзя уменьшить ниже концентрации 5 % во избежание потери способности к гелеобразованию.

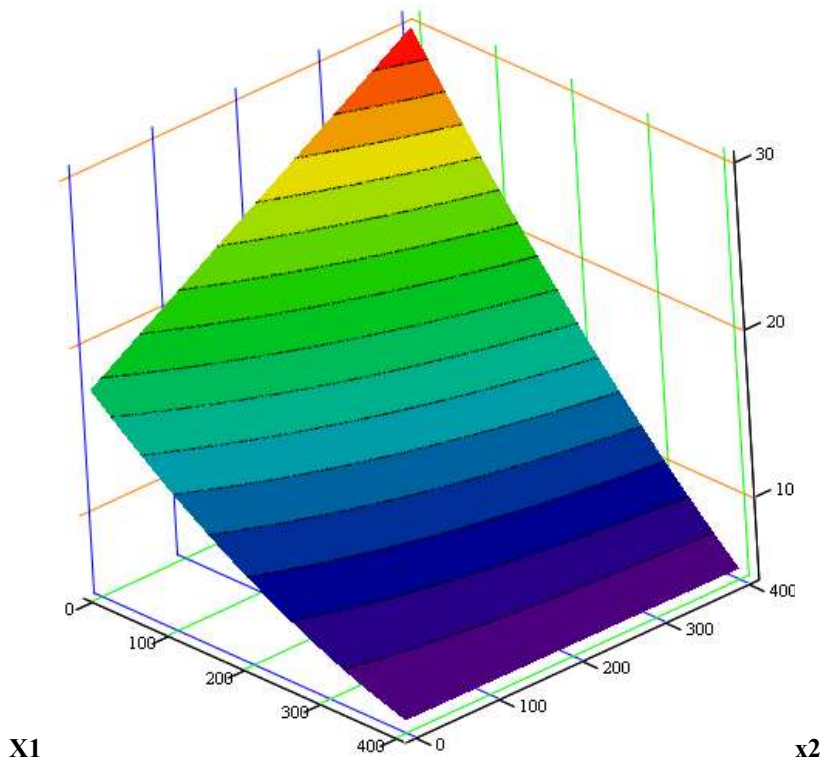


Рисунок 2 – Графическая интерпретация уравнения (1) при $x_3=2$, $x_4=-2$

Выводы. На основании экспериментальных исследований огнезащитного действия гелеобразующей системы ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$) по отношению к хвойной лесной подстилке была установлена взаимосвязь между её временем воспламенения и концентрацией компонентов, массой ГОС, временем сушки обработанного участка. Наибольшее значение времени воспламенения достигается при максимальной концентрации CaCl_2 , минимальной концентрации $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7 \text{SiO}_2$, максимальной массе геля и минимальном времени сушки.

Таким образом, применение гелеобразующих систем для тушения и ограничения распространения низовых лесных

пожаров возможно при раздельно-последовательной подаче растворов гелеобразователя и катализатора гелеобразования, при этом повышение эффективности тушения и огнезащиты достигается за счет удержания водосодержащего слоя внутри лесной подстилки в виде негорючего и нетекучего геля.

Перспективы дальнейших исследований. Перспективным этапом работы остается проведение эксперимента, направленного на изучение влияния скорости ветра и особенностей рельефа местности на использование гелеобразующей системы для тушения лесных пожаров.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ

1. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. –Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. – 152 с.

2. Савельев Д.И. Экспериментальные исследования огнепреграждающих свойств лесной подстилки, обработанной пенообразующими системами / Д.И. Савельев, А.А. Киреев, К.В. Жерноклев //

Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вып. 40. – С. 169 – 173. Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/saveliiev.pdf>.

3. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика: Учеб. пособие для пожарно-техн. Училищ и нач. состава пожарной охраны / И.Ф.

Кимстач, П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин – М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.

4. Савельев Д. И. Повышение эффективности использования гелеобразующих составов при борьбе с низовыми лесными пожарами / Савельев Д.И., Киреев А.А., Жерноклев К.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вып. 39. – С. 237 – 242. Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Saveliev.pdf>.

5. Кректунов А.А. Использование компрессионной пены при тушении лесных пожаров [Электронный ресурс] / Кректунов А.А., Платонов Е.Ю., Торопов С.В., Хабибуллин А.Ф. // Международный научный журнал «Аграрное образование и

наука». – 2015. – №1(12). – С. 154. – Режим доступа к журн. : http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/246/Кректунов.pdf.

6. Сумцов Ю. А. Выбор гелеобразующих составов для борьбы с лесными пожарами / Сумцов Ю.А., Киреев А.А., Тарасенко Г.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УЦЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 143 – 148.

7. Винарский В. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / В.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Техника, 1975.– 168 с.

8. Абрамов Ю. О. Дослідження вогнегасної дії гелеутворюючих систем на основі силікатів / Абрамов Ю.О., Киреев О.О., Щербина О.М., Бедзай А.О. // Пожежна безпека. – К. – 2007. – №11 – С. 100-104.

REFERENCES

1. Arcybashev E.S. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi / E.S. Arcybashev. –L.: LenNIILH, 1986. – 152s.

2. Savel'ev D.I. EHksperimental'nye issledovaniya ognepregrazhdayushchih svojstv lesnoj podstilki, obrabotanoj penoobrazuyushchimi sistemami / D.I. Savel'ev, A.A. Kireev, K.V. ZHernoklev // Problemy pozharnoj bezopasnosti. – H.: NUCZU, 2016. – Vyp. 40. – S. 169 – 173. Rezhim dostupa: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/saveliev.pdf>.

3. Kimstach I.F. Pozharnaya taktika: Ucheb. posobie dlya pozharno-tekhn. Uchilishch i nach. sostava pozharnoj ohrany / I.F. Kimstach, P.P. Devlishev, N.M. Evtyushkin – M.: Strojizdat, 1984. – 590 s.

4. Savel'ev D.I. Povyshenie ehffektivnosti ispol'zovaniya geleobrazuyushchih sostavov pri bor'be s nizovymi lesnymi pozharami / Savel'ev D.I., Kireev A.A., ZHernoklev K.V. // Problemy pozharnoj bezopasnosti. – H.: NUCZU, 2016. – Vyp. 39. – S. 237 – 242. Rezhim dostupa.: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Saveliev.pdf>.

5. Krektunov A.A. Ispol'zovanie kompressionnoj peny pri tushenii lesnyh pozharov [Elektronnij resurs] / Krektunov A.A., Platonov E.YU., Toropov S.V., Habibullin A.F. // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Agrarnoe obrazovanie i nauka». – 2015. – №1(12). – S. 154. – Rezhim dostupa k zhurn. : http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/246/Krektunov.pdf.

6. Sumcov YU.A. Vybor geleobrazuyushchih sostavov dlya bor'by s lesnymi pozharami / Sumcov YU.A., Kireev A.A., Tarasenko G.V. // Problemy pozharnoj bezopasnosti. – H.: UCZU, 2006. – Vyp. 19. – S. 143 – 148.

7. Vinarskij V.S. Planirovanie ehksperimenta v tekhnologicheskikh issledovaniyah / V.S. Vinarskij, M.V. Lur'e. – Kiev: Tekhnika, 1975.– 168 s.

8. Abramov YU.O. Doslidzhennya vognegasnoї дії geleutvoryuyuchih sistem na osnovi silikativ / Abramov YU.O., Kireev O.O., SHCHerbina O.M., Bedzaj A.O. // Pozhezhna bezpeka. – K. – 2007. – №11 – S. 100-104.

*О. О. Кіреєв, д-р техн. наук, професор, Д. І. Савельєв,
Національний університет цивільного захисту України*

ВИВЧЕННЯ ЧАСУ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ДІЇ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Статтю присвячено висвітлено результати експериментального дослідження, присвяченого вивченню часу вогнезахисної дії гелеутворюючих систем у разі їх використання для гасіння лісових пожеж. Автором обґрунтовано вибір складу гелеутворюючої вогнегасної системи; експериментально вивчено вогнезахисну дію гелеутворюючої системи ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) у разі її використання на

хвойній лісовій підстилці. На основі отриманих даних укладено регресійне рівняння, яке демонструє вплив концентрації компонентів системи, маси покриття, що було нанесене, і часу сушки обробленого лісового горючого матеріалу на час її займання.

Ключові слова: *гасіння лісових пожеж, лісова підстилка, хімічна опорна смуга, гелеутворююча система.*

*Kireev O. O., doctor of technical sciences, professor, Saveliev D. I.,
National University of Civil Protection of Ukraine*

THE STUDY OF THE FIRE-RETARDANT ACTION TIME OF GEL-FORMING SYSTEMS USED FOR EXTINGUISHING FOREST FIRES

The article focuses on the peculiarities of using gel-forming fire-extinguishing systems for dealing with forest fires. It aims to explain the choice of the composition of the gel-forming system which will demonstrate the best fire-extinguishing and fire-retardant properties when being used on coniferous forest litter. The article also describes the fire-retardant action and properties of the gel-forming system ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) in case of its application to coniferous forest litter. The fire-extinguishing action and fire-retardant properties of the gel-forming system have been established by means of the standard methodologies for determining the fire-extinguishing and fire-retardant properties. Taking into consideration the experimental data, the author distinguishes the factors which have an impact on the fire-retardant properties of the gel-forming system under investigation, namely, the concentration of the system components, the mass of the

coating applied, and the dry-out time. The experiments have been conducted on a laboratory model of the seat of fire consisting of the dry pine litter (size – 10X10 cm, weight – 25 g, height – 5 cm) placed on a metallic grille and hung on a special facility. The relation between the above-mentioned factors and the time of ignition of the forest litter covered with the gel-forming system ($\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$) is displayed by means of a regressive equation. The use of the gel-forming systems, including the $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ system, for extinguishing and restricting the spread of ground forest fires will be most effective if the solutions of the gel-forming substance and gel-forming catalyst are applied separately and subsequently.

Key words: forest fire suppression, ground forest fires, forest litter, gel-forming system, separate-successive application, fire retardance, chemical firebreaks.

В. К. Костенко, д-р техн. наук, професор, А. А. Нестеренко, канд. пед. наук, Нуянзін О. М., канд. техн. наук, Покалюк В. М., канд. пед. наук, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМІНУ В ІЗОЛЯЦІЙНОМУ ОДЯЗІ З СИСТЕМОЮ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА БЕЗ НЕЇ

У даній роботі розроблений аналітичний метод, що допомагає досліджувати процеси тепломасопереносу в підкостюмному просторі захисного огляду в залежності від впливу зовнішнього середовища, теплового стану організму людини за різного поєднання та кількості шарів із повітряними прошарками в оболонці костюма. Проаналізовано динаміку температури в підкостюмному просторі за наявності теплоносія через часовий період, а також без його застосування. Даний аналіз підтвердив, що використання систем теплоізоляції значно знижує температуру у підкостюмному просторі рятувальника.

Розроблена математична модель може бути використана під час проектування засобів індивідуального протитеплового захисту рятувальників, які виконують пожежно-рятувальні, аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи.

***Ключові слова:** математична модель, індивідуальний протитепловий захист, енерговитрати організму, динаміка зміни температури.*

Постановка проблеми. Робота рятувальників в екстремальних мікрокліматичних умовах особливо важка, вона пов'язана з небезпекою виникнення теплового перенапруження організму, що може спричинити тепловий удар [1]. Тому дослідження по визначенню реальних параметрів засобів індивідуального протитеплового захисту працівників оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій є актуальним і важливим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проведено дослідження щодо питань ефективного захисту рятувальників наявними термостійкими протитепловими засобами, що знаходяться на їхньому оснащенні, з огляду на екстремальні мікрокліматичні умови, які впливають на них, і тяжкість виконуваних робіт [2].

У попередніх дослідженнях [3] було побудовано математичну модель переносу тепла в перспективному теплозахисному засобі для рятувальників, який має двошарову тканину оболонку з повітряним прошарком, водо-льодяну або водну систему охолодження, враховує вплив температури довкілля, теплофізичні характеристики шарів

і геометричні параметри оболонки, фазове перетворення холодоагенту (льоду на воду) і подальший теплообмін, енерговитрати людини і співвідношення площі, яку охоплюють акумулятори холоду, та площі підкостюмного простору. Отримані математичні залежності дозволяють оцінити динаміку температури в підкостюмному просторі при різних рівнях зовнішнього теплового навантаження та інтенсивності роботи.

Формулювання цілей статті Розробити аналітичний метод для досліджень процесів тепломасоперенесення в підкостюмному просторі з огляду на вплив зовнішнього середовища, теплового стану організму людини й фазового переходу в системі охолодження за різного поєднання та кількості шарів із повітряними прошарками в оболонці костюма.

Виклад основного матеріалу дослідження. Характеризуючи загальну методіку досліджень, необхідно проаналізувати найбільш загальну систему «навколишнє середовище – захисний одяг – організм рятувальника – фізичне навантаження». Дві складові системи: навколишнє середовище й фізичне навантаження – являють собою ерготермічні

навантаження, що впливають на тепловий стан організму. Для першої складової характерні такі параметри, як температура, вологість і швидкість повітря, тепловий променевий потік, непридатність для дихання, що не залежать від рятувальника. Друга складова залежить від виду й умов проведення робіт, тобто від швидкості пересування, маси спорядження та додаткового вантажу, довжини подоланої ділянки, напрямку й кута нахилу руху. Ця складова може бути легкою, середньої важкості, важкою та дуже важкою.

На відміну від класифікації фізичного навантаження, для рятувальників характерна категорія «дуже важке навантаження», яку раніше брали до уваги лише під час руху нагору по вертикальних сходах, що буде обґрунтовано внаслідок дослідження енерговитрат залежно від виду й умов виконання робіт. При цьому допускаємо, що ступінь важкості роботи рятувальників визначають за такою зміною діапазону енерговитрат: 160 *Вт* (відпочинок у ЗІЗОД) – легкий, понад 160 до 320 *Вт* – середній, понад 320 до 480 *Вт* – важкий, понад 480 *Вт* – дуже важкий. Третя складова системи – захисний одяг, його поділяють на ізоляційний (тепловідбивний і теплозахисний), ізоляційний від зовнішнього середовища (захисний одяг) із пасивним зніманням тепла, що перебуває на оснащенні підрозділів ОРС ЦЗ ДСНС України, та ізоляційний з активним зніманням тепла (охолодженням), який повинен бути розроблений і перебувати на оснащенні. Термін «ізоляційний» одяг (костюм) означає, що такий одяг захищає від теплового впливу всю поверхню тіла й перешкоджає впливу на нього вологості та швидкості руху навколишнього повітря. Для ізоляційного одягу використання активного знімання тепла (охолодження організму) є загальним випадком. Необхідно обирати найбільш прості, надійні, дешеві способи знімання тепла, систему охолодження й холодоагент, зважаючи на пропорційне знімання тепла з різних ділянок тіла, конструкції теплоізоляційної оболонки одягу: кількість, розташування, теплофізичні характеристики шарів і повітряні прошарки, а також нестационарні процеси теплообміну організму в одязі за ерготермічних навантажень.

У цьому випадку необхідно обґрунтувати критерій теплового стану організму рятувальника – температуру простору під одягом, яку потрібно порівняти з санітарними нормами, визначивши в такий спосіб безпечну тривалість його роботи. Це дає змогу суттєво зменшити витрати на проведення експериментальних досліджень, не визначаючи при цьому трьох фізіологічних параметрів: температури тіла (ректальної) і шкіри, частоти серцевих скорочень. Досліджуючи тепловий стан організму рятувальника в неізоляційному одязі, необхідно визначати тепловий баланс з урахуванням усіх параметрів навколишнього середовища, конструкцій теплоізоляційної оболонки, термічних її опорів і фізіологічних параметрів: температури тіла, шкіри, частоти серцевих скорочень і потовиділення (четвертий складник системи).

Зовнішній шар костюма – водонепроникний, тильний бік виконаний із тепловідбивного, термостійкого, а лицьовий – із термостійкого матеріалу. Під зовнішнім тепловідбивним шаром розміщений об'ємний теплоізоляційний шар ватину, а під ним – сатинова підкладка. Робочий бік захищений тонким шаром повсті.

Охарактеризуємо найбільш загальну розрахункову схему системи «навколишнє середовище – захисний одяг – людина» із мінімально можливою кількістю шарів теплоізоляційної оболонки одягу рятувальників, що представлена на рис. 1.

Захисний ізоляційний одяг, зазвичай, повинен складатися із зовнішнього і внутрішнього (легкого) костюмів. Зовнішній костюм має зовнішній шар 1 (термостійкий матеріал); внутрішній шар 2 (теплоізоляційний легкий матеріал – синтепон); шар 3 (підкладка – сатин, бязь), а внутрішній – шар 5 (комбінована тканина). На внутрішній поверхні шару 5 у обшивці 7 розташований холодоагент 6 (охолоджувальні елементи, які використовують для протитеплового одягу рятувальників). Між шарами 3 і 5, а також кишнями 7 та тілом людини 9 розміщені повітряні прошарки 4 і 8. Стрілками показані напрямки теплових потоків із навколишнього середовища й від тіла.

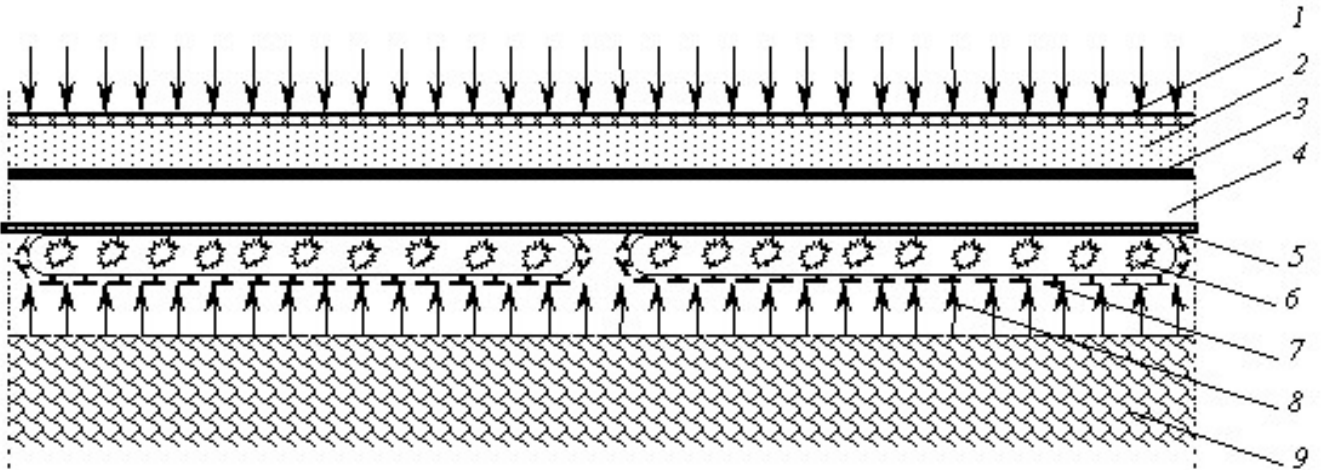


Рисунок 1 – Розрахункова схема системи «довкілля – захисний одяг – людина»: 1 – зовнішній шар; 2 – внутрішній шар; 3 – підкладка; 4, 8 – повітряний прошарок; 5 – внутрішній костюм; 6 – охолоджувальний елемент; 9 – тіло людини.

Оскільки ми аналізуємо ізоляційну термостійку зовнішню оболонку, то в цьому випадку не взято до уваги вплив на теплообмін у внутрішньокостюмному просторі вологості і швидкості повітря навколишнього середовища. Нестационарні процеси теплопередачі через багатшарову оболонку від навколишнього середовища в підкостюмний простір моделюють за допомогою диференціального рівняння:

$$\rho_i c_i \frac{\partial T_i}{\partial \tau} = \lambda_i \frac{\partial^2 T_i}{\partial x_i^2}, \quad (1)$$

де ρ_i – густина i -го шару середовища (повітря, води, матеріалу костюма), $кг/м^3$;
 c_i – теплоємність i -го шару середовища (повітря, води, матеріалу костюма), $Дж/(кг \cdot K)$;
 λ_i – теплопровідність i -го шару середовища (повітря, води, матеріалу костюма), $Вт/(м \cdot K)$;
 T_i – температура в межах i -го шару розрахункової схеми, $T_i = T_i(x), K$;
 τ – час із моменту теплового впливу, $с$;
 x_i – просторова координата в межах i -го шару або прошарку, який розраховують від зовнішньої поверхні шару (прошарку), $м$.

Як початкову умову для рівняння (1) використовуємо:

$$T_i(x, 0) = T_0, \quad (2)$$

де T_0 – початкова температура, $T_0 = 293 K$.

Теплообмін на межі костюма (зовнішня поверхня шару 1) представимо граничною умовою третього роду:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 [T_1(0, \tau) - T_c], \quad (3)$$

де α_1 – сумарний коефіцієнт конвективно-променевого теплообміну між навколишнім середовищем і зовнішнім шаром, $Вт/(м^2 \cdot K)$.

$$\alpha_1 = \alpha_{1к} + \sigma(T_1 + T_c)(T_1^2 + T_c^2), \quad (4)$$

де $\alpha_{1к}$ – коефіцієнт конвективного теплообміну між навколишнім середовищем і зовнішнім шаром, $Вт/(м^2 \cdot K)$;

T_c – температура навколишнього середовища (прийнята константою), K .

На межі між шарами 1-2, 2-3, 3-4 і 4-5 задають граничні умови четвертого роду:

$$\begin{aligned} T_i(\delta_i, \tau) &= T_{i+1}(0, \tau); \\ \lambda_i \frac{\partial T_i(\delta_i, \tau)}{\partial x} &= \lambda_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}(0, \tau)}{\partial x}; \quad (i = 1 \dots 4) \end{aligned} \quad (5)$$

На нижній межі останнього шару одягу 5 так само, як і на зовнішньому шарі, задають граничну умову третього роду:

$$\lambda_5 \frac{\partial T_5(\delta_5, \tau)}{\partial x} = \alpha_5 [T_8(\delta_8, \tau) - T_5(\delta_5, \tau)], \quad (6)$$

де α_5 – сумарний коефіцієнт конвективного і променевого теплообміну між нижнім шаром внутрішнього костюма й підкостюмного простору 8, $Вт/(м^2 \cdot К)$ визначають аналогічно за формулою (4) за значень змінних, які входять до неї для 5 шару.

Температура T_n , K у внутрішньо-костюмному просторі формується внаслідок взаємодії двох теплових потоків, які змішуються, а саме ті, які надходять від зовнішнього середовища й від тіла людини, $Вт$. Тому тепловий потік, що поглинається охолоджувальним елементом, дорівнює сумі зазначених теплових потоків:

$$\tilde{Q}_л = \tilde{Q}_c + \tilde{Q}_т. \quad (7)$$

У цих дослідженнях залежність вважаємо пропорційною до коефіцієнта конвективного теплообміну між речовинаом і підкостюмним простором та до різниці між температурою речовини й температурою в підкостюмному просторі:

$$\tilde{Q}_л = \alpha_л S_л (T_8 - T_л), \quad (8)$$

де – S площа поверхні речовини, $м^2$.

З урахуванням (6 – 8) рівняння теплового балансу в підкостюмному просторі набуде вигляду:

$$\alpha_л \frac{S_л}{S_к} (T_8 - T_л) = \alpha_5 [T_5(\delta_5, \tau) - T_8] + \frac{\tilde{Q}_т}{S_к}, \quad (9)$$

де – S площа поверхні костюма, $м^2$.

Отже, теплопередача від навколишнього середовища й тіла людини в підкостюмний простір може бути змодельована диференціальним рівнянням (1) із початковою умовою (2) і граничними умовами (3, 5, 9). Спочатку потрібно схарактеризувати граничний (постійний) розподіл температури, що виникає в шарах костюма й підкостюмному просторі після закінчення тривалого проміжку часу. У цьому випадку вихідне рівняння (1) перетвориться на стаціонарний вид (із нульовою правою частиною), і температура залежить тільки від просторової координати,

а потужність теплового потоку, що проникає з навколишнього середовища, – постійна в усіх шарах костюма: $Q_c = \text{const}$. Унаслідок інтегрування (1) по просторовій змінній, з урахуванням граничних умов отримаємо рішення:

$$\begin{aligned} T_1(0) &= T_c - \frac{Q_c}{\alpha_1 S_к}; \\ T_{i+1}(0) &= T_i(0) - \frac{Q_c \delta_i}{\lambda_i S_к}, (i=1..4); \\ T_5(\delta_5) &= T_8 + \frac{Q_c}{\alpha_5 S_к} \end{aligned} \quad (10)$$

Після підсумовування обох частин рівняння (9) тепловий потік, який проникає з навколишнього середовища в підкостюмний простір, визначають так:

$$Q_c = S_к (T_c - T_8) \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_к}{\lambda_к} + \frac{1}{\alpha_5} \right). \quad (11)$$

Для зручності подальшого викладу

введено значення: $\frac{\delta_к}{\lambda_к} = \sum_{i=1}^5 \frac{\delta_i}{\lambda_i}$; індекс «1»

зовнішньої поверхні оболонки костюма замінений на індекс «н»; індекс «5» внутрішньої поверхні оболонки костюма (внутрішнього костюма) – на індекс «в»; індекс «8» повітряного прошарку між тілом людини й оболонкою костюма (підкостюмний простір) – на індекс «п».

Для отримання рішення нестаціонарної задачі теплопередачі, праву частину вихідного рівняння (1) представимо в кінцевих різницях, у результаті рівняння перетвориться до такого:

$$\frac{dT}{d\tau} = a_к \frac{T_n - 2T + T_к}{\delta_к^2}, \quad (12)$$

де $a_к$ – температуропровідність оболонки костюма, $м^2/с$; $T=T(\tau)$ – середня температура всередині оболонки костюма (із першого до п'ятого шару), K ;

$$a_k = \frac{\lambda_k}{\rho c}; \quad \lambda_k = \frac{\sum_{i=1}^5 \delta_i}{\sum_{i=1}^5 \delta_i / \lambda_i};$$

– константи;

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^5 \rho_i \delta_i}{\sum_{i=1}^5 \delta_i}; \quad c = \sum_{i=1}^5 c_i / 5$$

$$T_1 = T_1(0, \tau) \quad \text{і} \quad T_k = T_5(\delta_5, \tau) -$$

температура зовнішньої і внутрішньої поверхонь оболонки костюма відповідно.

Після представлення лівих частин граничних умов (3) і (6) у кінцевих різницях, з урахуванням (9), отримаємо:

$$T_n = A_1 + B_1 T; \quad T_k = A_2 + B_2 T, \quad (13)$$

$$A_1 = \frac{1}{1 + \bar{\lambda}_n} T_c; \quad B_1 = \frac{\bar{\lambda}_n}{1 + \bar{\lambda}_n};$$

де

$$\bar{\lambda}_n = \frac{2\lambda_k}{\delta_k \alpha_1};$$

$$A_2 = \frac{\bar{\alpha}_n T_n + \bar{Q}_\tau}{(1 + \bar{\alpha}_n) \bar{\lambda}_k + \bar{\alpha}_n}; \quad B_2 = \frac{(1 + \bar{\alpha}_n) \bar{\lambda}_k}{(1 + \bar{\alpha}_n) \bar{\lambda}_k + \bar{\alpha}_n};$$

$$\bar{\alpha}_n = \frac{\alpha_n S_n}{\alpha_5 S_k}; \quad \bar{\lambda}_k = \frac{2\lambda_k}{\delta_k \alpha_5};$$

$$\bar{Q}_\tau = \frac{\tilde{Q}_\tau}{\alpha_5 S_k}, \quad \text{при цьому залежність}$$

температури у внутрішньокостюмному просторі має вигляд:

$$T_n = T_8 = \frac{T_k + \bar{\alpha}_n T_n + \bar{Q}_\tau}{1 + \bar{\alpha}_n} = A_3 + B_3 T, \quad (14)$$

$$A_3 = \frac{(\bar{\alpha}_n + \bar{Q}_\tau)(1 + \bar{\lambda}_k)}{(1 + \bar{\alpha}_n) \bar{\lambda}_k + \bar{\alpha}_n}; \quad B_3 = \frac{\bar{\lambda}_k}{(1 + \bar{\alpha}_n) \bar{\lambda}_k + \bar{\alpha}_n}$$

Після підстановки (13) у (12) нестационарне рівняння набуде вигляду:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{a_k}{\delta_k^2} [A_1 + A_2 - (2 - B_1 - B_2)T], \quad (15)$$

а початкова умова:

$$T(0) = T_0. \quad (16)$$

Розв'язання рівняння (15) з урахуванням (16) має вигляд:

$$T = T_\infty - (T_\infty - T_0) e^{-k_2 \cdot \tau}, \quad (17)$$

де T_∞ – температура всередині оболонки костюма за постійного режиму, K ;

k_2 – параметр швидкості зміни температури між верхнім шаром оболонки костюма 1 і внутрішнім шаром 5.

Відповідно до (8) і (16) потужність охолодження системи:

$$\tilde{Q}_n = \alpha_n S_n (A_3 + B_3 T - T_n). \quad (18)$$

На підставі отриманих формул (13, 14, 17) моделюють динаміку температури на межі оболонки костюма й у підкостюмному просторі залежно від теплофізичних властивостей матеріалу оболонки, температури навколишнього середовища й потужності теплових потоків, обчислюють її максимальні значення після закінчення тривалого проміжку часу, коли настає стаціонарний тепловий режим. Один із варіантів розрахунку представлений у табл. 1. Розрахунки виконано з огляду на такі вихідні дані:

$$T_c = 373 K; \quad S_k = 4 m^2; \quad \delta_k = 0,01 m;$$

$$\lambda_k = 0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}; \quad \alpha_n = 4 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}.$$

Допустимо температуру внутрішньокостюмного простору обрано рівною $T_n(\infty) = 302 K (29^\circ C)$, а температуру речовини $T_n = 273 K (0^\circ C)$. При цьому тепловий потік із навколишнього середовища $Q_c = 274 \text{ Вт}$, а теплопродукція організму людини $Q_\tau = 256 \text{ Вт}$ – під час проведення робіт середньої важкості. У підсумку очікувана постійна температура всередині шарів одягу в разі застосування теплоносія $T_\infty = 345,8 K (72,8^\circ C)$, а після його використання – $T_\infty = 364,6 K (91,6^\circ C)$. Відповідно до (3.76) можна визначити необхідний запас речовини мЛ, кг на заданий період часу за формулою:

$$M_{\pi} = [Q_{\infty} \tau - (Q_{\infty} - Q_0) / (k_2 \cdot e^{k_2 \tau})] / q_{\pi}, (19)$$

$$\tau_{\pi} = 4/k_2 = 4 (2/(2-B_1 - B_2)). (20)$$

де q_{π} – питомий запас холоду речовини, Дж/кг.

Якщо запас речовини відомий, то, вирішуючи (19) щодо τ за допомогою будь-якого ітераційного методу розв'язання нелінійних рівнянь, можна визначити час захисної дії системи охолодження τ_p , а час перехідного періоду τ

Динаміка температури в підкостюмному просторі за наявності теплоносія через часовий період (штрихова лінія), а також без його застосування представлена на рис. 2. Графіки побудовано з використанням поданих вище вихідних даних.

Таблиця 1 – Результати розрахунку постійних температур усередині оболонки костюма, К/(°C)

| T_{∞} , | $T(\infty)$ | T_{π} | T_{κ} | Примітка |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|
| 355,5 (82,5) | 345,8 (72,8) | 336,0 (63,0) | 302,0 (29,0) | Із застосуванням теплоносія ($Q_x = 530 \text{ Вт}$) |
| 367,5 (94,5) | 364,6 (91,6) | 361,7 (88,7) | 351,7 (78,7) | Без застосування теплоносія ($Q_x = 0 \text{ Вт}$) |



Рисунок 2 – Динаміка температури в підкостюмному просторі: 1 – із використанням теплоносія; 2 – без теплоносія

Згідно з рис. 2, динаміка температури в підкостюмному просторі помітна за зміни $k_2\tau$, зазвичай, від 0 до 4, при цьому, як і очікувалося, швидкість її наростання значно

вища в одязі без застосування теплоносія, а постійна температура в цьому випадку (див. табл. 1) перевищує приблизно в 2,8 раза температуру в костюмі з використанням теплоносія.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, розроблений аналітичний метод допомагає досліджувати процеси тепломасоперенесення в підкостюмному просторі огляду в залежності від впливу зовнішнього середовища, теплового стану організму людини за різного поєднання та кількості шарів із повітряними

прошарками в оболонці костюма. Це дає змогу визначити розподіл температури всередині оболонки костюма. Тому такий метод може бути використаний під час проектування засобів індивідуального протитеплового захисту рятувальників, які виконують пожежно-рятувальні, аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Костенко В. К. Дослідження теплофізичних властивостей протитеплового жилету / В. К. Костенко, В. В. Колеснікова, А. І. Морозов // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – Львів : ЛДУ БЖД. – № 18. – С. 81–85.

2. Покалюк В. М., Костенко Т. В., Нуянзін О. М., Нестеренко А. А. Екстремальні мікрокліматичні умови професійної діяльності рятувальників / В. М. Покалюк, Т. В. Костенко, О. М. Нуянзін,

А. А. Нестеренко // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», випуск № 3(25): том 1. – Київ: 2017 – с. – 159-165.

3. Костенко В. К., Костенко Т. В., Майборода А. О. Моделювання процесів переносу в протитепловому костюмі з відбором тепла / В. К. Костенко, Т. В. Костенко, А. О. Майборода // Науковий вісник ДонНТУ. – 2017. – № 1. – С. 26-32

REFERENCES

1. Kostenko V. K. Research thermal properties against thermal vest / V. K. Kostenko, V. V. Kolesnikov, A. I. Morozov // Fire safety: Coll. Science. pr. - Lviv: LSU LF. - № 18. - P. 81-85.

2. Pokalyuk V. M., Kostenko T. V., Nuyanzin O. M. Nesterenko A. A. Extreme microclimate conditions of professional activity of rescuers / V. M. Pokalyuk, T. V. Kostenko,

O. M. Nuyanzin A. A. Nesterenko // International journal "Internauka" issue number 3 (25): Volume 1. - Kyiv, 2017 - p. - 159-165.

3. Kostenko V. K., Kostenko T.V., Majboroda A. O. Modeling of heat transfer in a suit against the selection of heat / VK Kostenko, T., A. Majboroda // Scientific herald of DonNTU. - 2017. - No. 1. - P. 26-32.

*В. К. Костенко, д-р техн. наук, проф., А. А. Нестеренко, канд. пед. наук,
А. М. Нуянзін, канд. техн. наук, В. Н. Покалюк, канд. пед. наук,
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобыля НУГЗ України*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ИЗОЛЯЦИОННОЙ ОДЕЖДЕ С СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ И БЕЗ НЕЕ

В данной работе разработан аналитический метод, помогающий исследовать процессы тепломасопереноса в подкостюмном пространстве защитного обзора в зависимости от влияния внешней среды, теплового состояния организма человека с различного сочетания и количества слоев с воздушными прослойками в оболочке костюма. Проанализирована динамика температуры

в подкостюмное пространство при наличии теплоносителя через временной период, а также без его применения. Данный анализ подтвердил, что использование систем теплоизоляции значительно снижает температуру в под костюмном пространстве спасателя.

Разработанная математическая модель может быть использована при проектировании средств индивидуальной

протитеплого защиты спасателей, которые выполняют пожарно-спасательные, аварийно-спасательные и другие неотложные работы.

Ключевые слова:
математическая модель, индивидуальная протитепловая защита, энергозатраты организма, динамика изменения температуры.

V. Kostenko, Doctor of technical science, professor,

A. Nesterenko, Candidate of pedagogical science,

O. Nuianzin, Candidate of technical science,

V. Pokaliuk, Candidate of pedagogical science,

Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

HEAT EXCHANGE MATHEMATICAL MODEL IN ISOLATION WARE WITH AND WITHOUT COOLING SYSTEM

The work of rescuers in extreme microclimatic conditions is particularly difficult, it is associated with the danger of the occurrence of thermal strain of the organism, which can cause a heat stroke. Therefore, the study to determine the actual parameters of the means of individual antimicrobial protection of the workers of the operational and rescue service of civil protection of the State Service of Ukraine for Emergency Situations is relevant and important.

Describing the general methodology of research, it is necessary to analyze the most common system "the environment - protective clothing - the body of the rescuer - physical activity." Two components of the system: the environment and physical activity - are ergothermic stresses that affect the body's thermal state. The first component is characterized by parameters such as temperature, humidity and air velocity, thermal radiation, and unsuitable for breathing that are not dependent on the rescuer. The second component depends on the type and conditions of the work, that is, the speed of travel, the mass of equipment and additional load, the length of the overrun area, direction and angle of

inclination. This component may be mild, moderate, heavy and very heavy.

In this paper an analytical method is developed which helps to study the processes of heat and mass transfer in the periosteum of the protective examination depending on the influence of the external environment, the thermal state of the human body for the different combination and number of layers with air layers in the cover of the costume. The dynamics of temperature in the subcutaneous space in the presence of heat carrier during the time period, as well as without its application, is analyzed. This analysis confirmed that the use of thermal insulation systems significantly reduces the temperature under the costume space of a rescuer.

The developed mathematical model can be used during the design of means of individual antimicrobial protection of rescuers who perform fire and rescue, rescue and other urgent work.

Keywords: Mathematical model, individual antimicrobial protection, energy consumption of the organism, temperature change dynamics

УДК 614.84

О. М. Ларін, д-р техн. наук, професор, С. А. Виноградов, канд. техн. наук, доцент,
С. М. Шахов,
Національний університет цивільного захисту України

АНАЛІЗ СВІТОВИХ ЗРАЗКІВ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГАЗОНАПОВНЕНОЮ ПІНОЮ

У статті розглянута принципова схема подачі газонаповненої піни. Вивчені основні компоненти стаціонарних і переносних установок. Основними складовими елементами системи є пожежний насос, компресор (або балони з повітрям) і система регулювання подачі піноутворювача. Проведено аналіз провідних світових виробників систем газонаповненої піни, таких, як німецька фірма «One seven», австрійська компанія Rosenbauer, американська компанія Waterous, американська компанія Hale Product, російська система гасіння пожеж газонаповненою піною NATISK. Розроблено висновки за результатом проведення аналізу.

Ключові слова: газонаповнена піна, пожежогасіння, компресійна піна.

Постановка проблеми. Основним вогнегасним засобом на сьогодні є вода. Але лише 20 % її бере участь у гасінні пожежі, крім цього використання води може тягти за собою значні матеріальні збитки [28, 29]. Використання пін при пожежогасінні скорочує час для гасіння пожежі, зменшує кількість води, необхідну для ліквідації вогню, і є більш універсальним засобом. В даний час в США, Європі та інших провідних країнах поширені системи подачі газонаповненої піни. Особливість даних установок, на відміну від повітряно-механічних систем, полягає в можливості генерації піни за рахунок одночасної подачі в спеціальну камеру змішування повітря під

тиском і водяного розчину піноутворювача, а не генерації розчину за допомогою ежектуючого повітря. До основних переваг газонаповненої піни можна віднести утворення піни, яке відбувається безпосередньо біля насосної установки, на відміну від звичайної вогнегасної піни, яка утворюється вже у приладі гасіння, що дозволяє зменшити енергетичні затрати на її доставку до місця пожежі, можливість подачі піни на великі відстані та гасіння електрообладнання. Пожежні рукави, заповнені компресійною піною, значно легші, а, отже, підвищується маневреність ствольщика [1–5, 8, 10, 11].

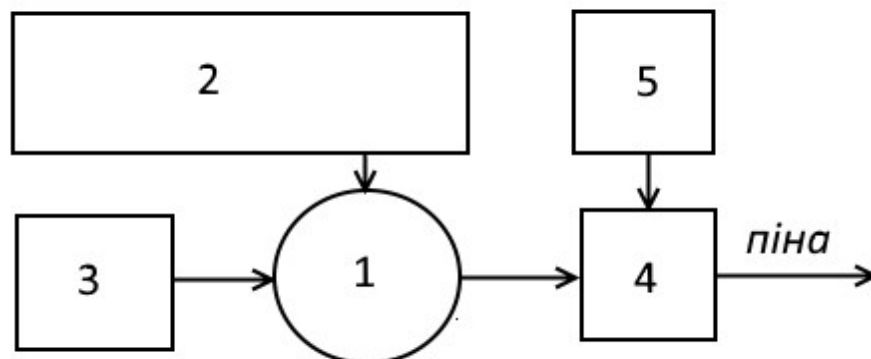


Рисунок 1 – Схема отримання газонаповненої піни: 1 – насос; 2 – цистерна для води; 3 – ємність з піноутворювачем; 4 – пінозмішувач; 5 – компресор

Основними складовими елементами (або балони з повітрям) і система системи CAFS є пожежний насос, компресор регулювання подачі піноутворювача [5-15]. 3

насосу виходить вода під тиском, до якої у необхідній пропорції додається піноутворювач. Можливо утворення водного розчину піноутворювача безпосередньо в насосі або перед ним. Далі до утвореної суміші додається повітря під тиском, за допомогою якого утворюється піна низької кратності, що надалі рухається рукавами. Найпростішу схему отримання газонаповненої піни наведено на рис. 1.

На сьогоднішній день в Україні використовуються повітряно-механічні системи подачі піни, і для того, щоб впровадити на наш ринок більш досконалі газонаповнені установки пожежогасіння, необхідно провести аналіз існуючих технологій в зарубіжних країнах.

Аналіз останніх досліджень публікацій. Вперше в королівському флоті були розроблені системи компресійної піни для ліквідації пожеж в морі 1930-х роках. До 1940-х років британські і американські ВМС розробили вдосконалені системи для боротьби з пожежами класу Б (Coletti 1998 Darley, 1995). Також до кінця 80-х років були розроблені спеціальні пожежні компресори, призначені для систем газонаповненої піни. Вперше сучасна систем газонаповненої піни була застосована в 1988 році під час лісових пожеж в Йелоустонському національному парку в штаті Вайомінг, США (Yellowstone National Park, Wyoming) для захисту готелю Old FaithfulLodge [1]. Такими вченими, як Michael A. Laskaris, Michael Sulmone були розглянуті та визначені основні способи змішування і генерації газонаповненої піни в змішувальних камерах [2]. Robert G. Taylor розглядав питання використання газонаповненої піни у приміщеннях з обмеженим доступом повітря [3]. Andrew Kim and George Crampton проводили досліді щодо ефективності гасіння пожеж класу Б за допомогою газонаповненої піни з різними піноутворювачами [4]. Dong-Но Rie, Jang-Won Lee, Seonwoong Kim був проведений експеримент, спрямований на оцінку ефективності системи КАФС для гасіння пожеж класу Б при подачі різних порцій повітря в розчин води і піноутворювача [5]. На сьогоднішній день авторам невідомі

роботи, в яких проведено найбільш повний аналіз систем подачі газонаповненої піни.

Постановка задачі та її рішення.

Метою даної статті є проведення аналізу систем подачі компресійної піни провідних країн Європи та США, вивчення основних характеристик цих установок.

Виклад основного матеріалу дослідження

Серед провідних світових виробників засобів протипожежного призначення системи газонаповненої піни (CAFS – compressed air foam system) набули значного поширення.

Можна виділити три основних напрямки застосування CAFS:

- стаціонарні автоматичні системи пожежогасіння;
- мобільні установки пожежогасіння;
- вбудовані системи в пожежні автомобілі.

Одним з найбільш відомих виробників систем газонаповненої піни є німецька фірма «One seven» [16, 17], яка володіє патентом на цю технологію та виготовляє стаціонарні та мобільні установки пожежогасіння. На рис. 2 наведений пристрій для утворення компресійної піни, запатентований «One seven».

Системи «One seven» генерують газонаповнену піну з вмістом піноутворювача в розчині у діапазоні від 0,3 до 1 %. При цьому співвідношення об'єму розчину піноутворювача до об'єму повітря у готовій піні складає 1:7, що й набуло відображення у назві технології. На рис. 3 наведено зображення стаціонарної установки пожежогасіння «One seven» [18].

На рис. 4 наведено принцип роботи цієї системи. Водяний насос подає водний розчин піноутворювача до піногенератора, до якого в свою чергу компресор нагнітає повітря. Живлення елементів системи здійснює електричний блок, а блок керування відповідає за співвідношення води, піноутворювача та повітря. Від піногенератора вже готова піна рухається до споживачів.

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

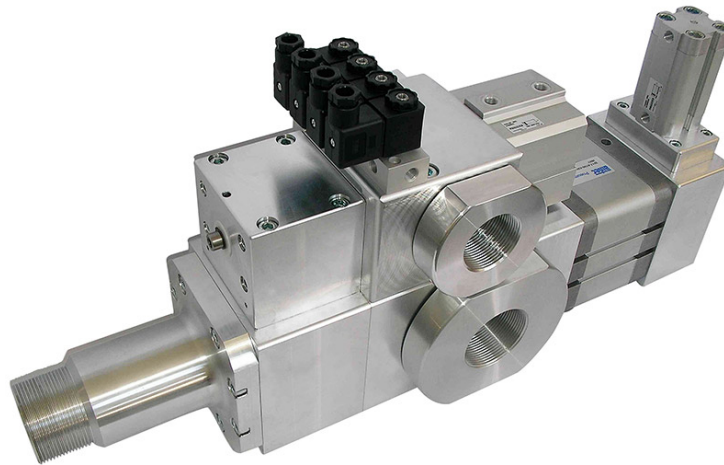


Рисунок 2 – Система утворення газонаповненої піни VDS-Approved One Seven



Рисунок 3 – Стационарна установка пожежогасіння One seven

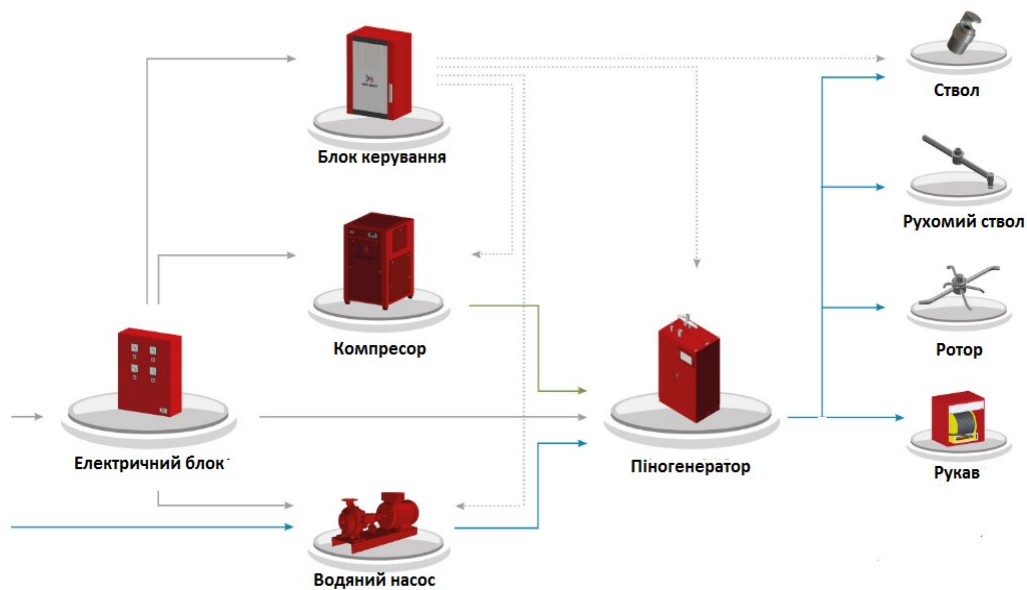


Рисунок 4 – Принцип роботи установки «One seven»



Рисунок 5 – GPlus "HLF 20 OS"

Окрім наведеного, компанія «One seven» виготовляє наступні установки пожежогасіння [19]:

- Stored-Energy-Systeme – замкнена система із запасом води, піноутворювача та повітря дозволяє працювати до 10 хвилин при гасінні пожежі;

- Maxi-Xtinguisher – мала стаціонарна система із задалегідь підготовленим водним розчином піноутворювача, що знаходиться під тиском, має дуже малий час приведення в дію;

- Wandhydranten WXS – стаціонарна настінна система пожежогасіння, що може бути використана як альтернатива звичайним пожежним кранам, має рукав довжиною до 60 м та дальність подачі струменя піни до 15 м протягом 20 хвилин.

Французький виробник протипожежної техніки Gimaeх, яку компанія One seven постачає автомобільними модулями пожежогасіння, виготовляє лінійку пожежних автомобілів з вбудованими системами газонаповненої піни (рис. 5): автоцистерни, аеродромні автомобілі, лісові пожежні автомобілі, автомобілі для промислових підприємств [20].

Австрійська компанія Rosenbauer має запатентовану технологію газонаповненої піни CAFS [18, 23]. Її продукція:

- CAFS MOBILE – мобільна установка генерування газонаповненої піни, дозволяє отримувати компресійну піну з

кратністю від 4 до 20 шляхом включення її в рукавну лінію, що йде від відцентрового насоса. Дозволяє отримувати від 400 до 1600 л/хв готової газонаповненої піни шляхом введення в потік водного розчину піноутворювача повітря у визначеній кількості, що надходить з підготовлених повітряних балонів;

- CONTI & FLASH CAFS 400-2400 – установка для пожежних автомобілів, дозволяє отримувати компресійну піну з кратністю від 4 до 15 та витратою готової піни від 1600 до 9600 л/хв в залежності від продуктивності насоса та кратності піни;

- SKY CAFS – установка для гасіння висотних будівель шляхом подачі компресійної піни на висоту до 400 м, що досягається за рахунок малої питомої ваги піни;

- FLASH CAFS AR 30-400 – високопродуктивна потужна установка отримання компресійної піни для аеродромних автомобілів дозволяє отримати до 64000 л/хв піни кратністю 8. Повітря у камеру змішування надходить з повітряних балонів.

Американська компанія Waterous має запатентовану технологію пінозмішування ONE STEP CAFSystem [21]. Вона використовує незалежну, запатентовану систему регулювання тиску, яка тримає постійний тиск змішування в камері змішувача генератора піни.

Принцип роботи подібний до решти виробників. Компанія випускає ряд

продукції, що реалізує технологію компресійної піни:

- автомобільний насос з вбудованою системою газонаповненої піни CAFSystem ONE STEP 150 - OS дозволяє отримувати суху або мокру піну з вмістом піноутворювача в розчині з водою у кількості 0,1-1, 3 та 6 % в залежності від потреб. Повітря нагнітається від вбудованого компресора продуктивністю до 4,25 м³/хв при тиску 8,6 бар;

- Eclipse CAFSystem – безмоторна система пожежогасіння в комплексі за насосом та компресором, що дозволяє отримати до 9000 л/хв газонаповненої піни в залежності від моделі при тиску 15 бар;

- модулі пожежогасіння 70-35-GP, 100-50-DS, 200-100-DS, 100-50-OS, 200-100-OS, що включають в себе насос з приводним двигуном, компресор та систему пінодозування. Вони працюють в широкому діапазоні значень подачі піни (до 800 л/хв) та з максимальним напором 35, 50 та 100 м. вод. ст. в залежності від моделі.

Американська компанія Hale Products Inc. встановлює на свої пожежні автомобілі системи газонаповненої піни CAFS90/CAFS200 з системою пінодозування Hale Foam Master [21]. Система працює з пожежними насосами, що дозволяють отримати напір водяного струменя до 10 бар,

при цьому можна отримати мокру або суху компресійну піну.

У Російській Федерації з 2012 року компанією «СпецАвтоТехника» розроблено та впроваджено у виробництво систему гасіння пожеж компресійною піною «NATISK» [23-26]. Основними перевагами запропонованої системи виробники називають скорочення часу гасіння в 5-7 разів, та зниження витрати води у 5-15 разів за рахунок скорочення часу роботи ствола. Кратність готової піни – 5-15. Повітря нагнітається від балонів під тиском.

З систем NATISK слід виділити мобільні установки пожежогасіння «NATISK-50M BL», «NATISK-100M BL» та «NATISK-300M BL» [25-26].

Також «СпецАвтоТехника» виготовляє пожежні автомобілі, що реалізують систему NATISK [25]. Це пожежні автоцистерни та автомобілі першої допомоги, які можуть бути виготовлені на базі автомобілів Урал, КамАЗ, ГАЗ, УАЗ, SILANT.

Санкт-Петербурзькою фірмою «Сталт» розроблена та впроваджена технологія компресійної піни STALT-fireflex, що реалізована (рис. 6) в установках автоматичного пожежогасіння [26]. У цих системах використовується 2 %-вий розчин піноутворювача, кратність готової піни – 10.



Рисунок 6 – Установка автоматичного пожежогасіння STALT-fireflex

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація»

Висновки. Виділені та проаналізовані основні напрямки застосування газонаповненої піни. Серед відомих виробників установок пожежогасіння, що реалізують технологію компресійної піни, слід виділити OneSeven, WellCrown International Resources Ltd (Гонконг), KSSIELER Feuerwehr und Rettungssysteme

(Німеччина), Firematic Supply Co. (США), W.S. Darley та інші. Усі виробники виробляють піну кратністю від 4 до 20. Співвідношення води піноутворювача дорівнює від 0,1 до 6 % в залежності від потреб. Уточнення співвідношень компонентів у складі газонаповненої піни потребує подальших досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Justin A. LaPolla. Compressed Air Foam Fire Grounds Evolution Tests / Justin A. LaPolla., Alexander L. Morano // California Polytechnic State University – 2012.
2. Li Huiqing. Experimental study of foam generated by compressed air foam system [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2000. – P. 105-111
3. Robert G. Taylor Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / Robert G. Taylor - Morristown Fire Bureau - Morristown, New Jersey – 1998. - p 75-112.
4. Murdock, J. I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive Development Research Paper)/J. I. Murdock//Emmitsburg, MD: National Fire Academy. -1997.
5. Colletti, D. J. Testing CAFS in live burns/D. J. Colletti//Fire Engineering, 147. - 1994, July. -P. 74-76.
6. Compressed Air Foam Systems [Електронний Ресурс]/ Neal Brooks. – Режим доступу: <http://compressedairfoamsystem.com/>
7. Пожежні машини: навч. посіб. / [Ларін О.М., Баркалов В.Г., Виноградов С.А. та ін.] – Х.: НУЦЗУ, К.: МПБП «Гордон», 2016. – 279 с.
8. Colletti, D. J. Compressed-air foam mechanics / Colletti, D. J. // Fire Engineering, 147, - 1994, March – p. 61-65.
9. CAFS - Straight answers for the beginner or the experienced user [Electronic resource] – cafsinfo.com, 2008. - Mode of access: <http://www.cafsinfo.com/index.html> Date of access : 05.03.2009
10. Использование компрессионной пены при тушении лесных пожаров / [Крекунов А.А., Платонов Е.Ю., Торопов С.В., Хабибулин А.Ф.] // Аграрное образование и наука. -2016. - №2. – Режим доступа: <http://aon.urgau.ru/ru/issues/16/articles/246>
11. Грицина І.М. Схема отримання компресійної піни та диспергованої води / Грицина І.М., Грицина Н.І., Левтеров О.А. // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. – В. 39. – С. 78-83
12. Титаренко А.В. Газонаповнена піна – ефективний засіб пожежогасіння лісових пожеж / Титаренко А.В. // Науковий вісник НЛТУ України. - 2015. - Вип. 25.9. - С. 246-250.
13. Colletti, D. J. Class A foam for structure firefighting/D. J. Colletti//Fire Engineering, 145. -1992, July. -P. 47-56.
14. Liebson, J. Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service/J. Liebson//IA: International Society of Fire Service Instructors. -1991. -P. 45.
15. Colletti, D. J. Compressed air foam systems and fire hose/D. J. Colletti//Fire Engineering, 149. -1996, July. -P. 50-52.
16. Белова А. Народ, который изобрел порох, знает, как бороться с огнем / Белова А. // Пожарное дело. - №5, 2009. – С. 18-19
17. Oneseven [Електронний Ресурс] // Oneseven - Режим доступу: <http://www.oneseven.com/>
18. Systeme: einfach, sicher und okonomisch [Електронний Ресурс] // Oneseven - Режим доступу: <http://www.oneseven.com/de/stationaer-brandschutz/systeme/standard-system/beschreibung.php>
19. Systeme [Електронний Ресурс] // Oneseven - Режим доступу: <http://www.oneseven.com/de/stationaer-brandschutz/systeme.php>
20. Firefighting Vehicles [Електронний Ресурс] // Gimaex - Режим доступу: <http://www.gimaex.com/?Mod1=artikel&MenuID=8&MainMenuID=2&Sprache=GB>

21. CAFS-Systems [Електронний Ресурс] // Waterous co. - Режим доступу: <http://www.waterousco.com/cafs-systems.html>
22. Integrated CAFS system from the leader [Електронний Ресурс] // Direct industry - Режим доступу: <http://pdf.directindustry.com/pdf/godiva-ltd/cafs-90-200/55810-143279.html>
23. Описание технологии NATISK. [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: <http://www.specialauto.ru/catalog/524.html> – Date of access: 10.04.2012.
24. Новый способ создания заградительных и опорных противопожарных полос / [Залесов С.В., Годовалов Г.А., Кректунов А.А., Оплетаев А.С.] // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2014. - № 3. - С. 90–94.
25. Залесов С.В. Система пожаротушения NATISK для остановки и локализации лесных пожаров / Залесов С. В., Годовалов Г. А., Кректунов А. А. // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 3. – Режим доступу: www.science-education.ru/117-12757.
26. Использование системы пожаротушения NATISK при ликвидации торфяных пожаров / Залесов С.В., Годовалов Г.А., Кректунов А.А. и др. // Леса России и хозяйство в них. – 2016. - №1 (56). – С. 4-10.
27. Carey, W.M. National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II / W.M. Carey // MA: National Fire Protection Research Foundation. -1994.
28. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Справочник / Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. - М.: Пожнаука, 2004. - Ч.2 - 747с.
29. Тербнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара / Тербнев В.В.- М.: Пожнаука, 2004. - 248с.

REFERENCES

1. Justin A. LaPolla. Compressed Air Foam Fire Grounds Evolution Tests / Justin A. LaPolla., Alexander L. Morano // California Polytechnic State University – 2012.
2. Li Huiqing. Experimental study of foam generated by compressed air foam system [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2000. – P. 105-111
3. Robert G. Taylor Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / Robert G. Taylor - Morristown Fire Bureau - Morristown, New Jersey – 1998. - p 75-112.
4. Murdock, J. I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive Development Research Paper)/J. I. Murdock//Emmitsburg, MD: National Fire Academy. -1997.
5. Colletti, D. J. Testing CAFS in live burns/D. J. Colletti//Fire Engineering, 147. - 1994, July. –P. 74-76.
6. Yspolzovanye kompressyonnoi peny pry tushenyu lesnykh pozharov / [Krekunov A.A., Platonov E.Iu., Toropov S.V., Khabybulyn A.F.] // Ahrarnoe obrazovanye y nauka. -2016. - №2. – Rezhym dostupa: <http://aon.urgau.ru/ru/issues/16/articles/246>
7. Hrytsyna I.M. Skhema otrymannia kompresiinoi piny ta dysperhovanoi vody / Hrytsyna I.M., Hrytsyna N.I., Lievtierov O.A. // Problemy pozharnoi bezopasnosti. – 2016. – V. 39. – S. 78-83
8. Tytarenko A.V. Hazonapovnena pina – efektyvnyi zasib pozhezhohasinnia lisovykh pozhezh / Tytarenko A.V. // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. - 2015. - Vyp. 25.9. - S. 246-250.
9. Colletti, D. J. Class A foam for structure firefighting/D. J. Colletti//Fire Engineering, 145. -1992, July. -P. 47-56.
10. Liebson, J. Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service/J. Liebson//MA: International Society of Fire Service Instructors. -1991. -P. 45.
11. Li Huiqing. Experimental study of foam generated by compressed air foam [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2000. – R. 105-111
12. Patent U.S.A, US 6357532 B1. COMPRESSED AIR FOAM SYSTEMS/ Michael A. Laskaris, Michael Sulmone.- Date of Patent: Mar. 19, 2002:
13. Murdock, J. I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive Development

- Research Paper)/J. I. Murdock//Emmitsburg, MD: National Fire Academy. -1997.
14. Colletti, D. J. Testing CAFS in live burns/D. J. Colletti//Fire Engineering, 147. -1994, July. -P. 74-76.
15. Colletti, D. J. Compressed air foam systems and fire hose/D. J. Colletti//Fire Engineering, 149. -1996, July. -P. 50-52.
16. Belova A. Narod, kotoryi yzobrel porokh, znaet, kak borotsia s ohnem... / Belova A. // Pozharnoe delo. - №5, 2009. – S. 18-19
17. Oneseven [Elektronnyi Resurs] // Oneseven - Rezhym dostupu: [://www.oneseven.com/](http://www.oneseven.com/)
18. Systeme: einfach, sicher und ekonomisch [Elektronnyi Resurs] // Oneseven - Rezhym dostupu: <http://www.oneseven.com/de/stationaer-brandschutz/systeme/standard-system/beschreibung.php>
19. Systeme [Elektronnyi Resurs] // Oneseven - Rezhym dostupu: <http://www.oneseven.com/de/stationaer-brandschutz/systeme.php>
20. Firefighting Vehicles [Elektronnyi Resurs] // Gimaex - Rezhym dostupu: [://www.gimaex.com/?Mod1=artikel&MenuID=8&MainMenuID=2&Sprache=GB](http://www.gimaex.com/?Mod1=artikel&MenuID=8&MainMenuID=2&Sprache=GB)
21. CAFS-Systems [Elektronnyi Resurs] // Waterous co. - Rezhym dostupu: <http://www.waterousco.com/cafs-systems.html>
22. Integrated CAFS system from the leader [Elektronnyi Resurs] // Direct industry - Rezhym dostupu: <http://pdf.directindustry.com/pdf/godiva-ltd/cafs-90-200/55810-143279.html>
23. Opysanye tekhnolohyy NATISK. [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: <http://www.specialauto.ru/catalog/524.html> – Date of access: 10.04.2012.
24. Zalesov S. V., Hodovalov H. A., Krektunov A. A., Opletaev A. S. Novyi sposob sozdanija zahradytelnykh y oprornykh protyvorozharnykh polos // Vestnyk Bashkyrskoho hosudarstvennoho ahrarnoho unyversyteta. 2014. № 3. S. 90–94. 11.
25. Zalesov S. V., Hodovalov H. A., Krektunov A. A. Sistema pozharotusheniya NATISK dlia ostanovky y lokalyzatsyy lesnykh pozharov // Sovremennyye problemy nauky y obrazovaniya. 2014. № 3. URL : www.science-education.ru/117-12757.
26. Yspolzovanye systemy pozharotusheniya NATISK pry lykvydatsyy torfianykh pozharov / Zalesov S.V., Hodovalov H.A., Krektunov A.A. y dr. // Lesa Rossyy y khoziaistvo v nykh. – 2016. - №1 (56). – S. 4-10.
27. Carey, W.M. National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II/W.M. Carey//MA: National Fire Protection Research Foundation. -1994.
28. A Ya. Korolchenko, D.A. Korolchenko. Pozhezhovybukhonebezpeka rehovyn i materialiv ta zasoby yikh hasinnia. Dovidnyk: u 2-kh ch. - 2-e yzd., Pererab. i dop.- M. : Pozhnauka, 2004. - Ch.1 - 713s., - Ch.2 - 747s.
29. Terebnev V.V. Dovidnyk kerivnyka hasinnia pozhezhi. Taktychni mozhlyvosti pozheznykh pidrozdiliv.- M. : Pozhnauka, 2004. - 248s.

*А. М. Ларин, д-р техн. наук, профессор,
С. А. Виноградов, канд. техн. наук, доцент, С. М. Шахов,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

АНАЛИЗ МИРОВЫХ ОБРАЗЦОВ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ГАЗОНАПОЛНЕННОЙ ПЕНОЙ

В статье рассмотрена принципиальная схема подачи газонаполненной пены. Изучены основные компоненты стационарных и переносных установок. Основными составляющими элементами системы являются пожарный насос, компрессор (или баллоны с воздухом) и система регулирования подачи пенообразователя. Проведен анализ ведущих мировых производителей систем

газонаполненной пены, таких как немецкая фирма «One seven», австрийская компания Rosenbauer, американская компания Waterous, американская компания Hale Product, российская система пожаротушения газонаполненной пеной NATISK. Разработаны выводы по результатам проведения анализа.

Ключевые слова: газонаполненная пена, пожаротушение, компрессионная пена.

ANALYSIS OF WORLD'S COMPRESSED AIR FOAM SYSTEMS

The paper deals with the principle plan for the supply of gas-filled foam. The main components of stationary and portable units were studied. The main components of the system are a fire pump, a compressor (or cylinders with air) and a foam feed control system. The analysis of leading world manufacturers of gas-filled foam systems, such as the German company "One seven", the Austrian company Rosenbauer, the American company Waterous, the American company Hale Product, the Russian fire extinguishing system with gas-filled NATISK foam. The conclusions on the results of the analysis were developed.

In the article considered the principal plan of compressed air foam system(CAFS). The main components of stationary and portable devices are studied. Among the world's leading companies of fire-fighting systems, compressed air foam systems (CAFS) have become widespread. The main components of the CAFS system are a fire pump, a compressor (or air cylinders), and a feed control system for the foam generator. The pump produces water under pressure, to which a foaming agent is added in the required proportion. It is possible to form a water solution of a foaming agent directly in or in front of the pump. Next, the formed mixture adds air under pressure, with which the foam of low multiplicity, which continues to move with sleeves, is formed. There are three main areas of application of CAFS:

- stationary automatic fire-fighting systems;
- mobile fire extinguishing systems;
- built systems in fire trucks.

The analysis of leading European and American companies, such as the German company "One seven" was made. The main products of it:

- Stored-Energy-Systeme - closed system with water supply, foaming agent and air can work up to 10 minutes when extinguishing a fire;
- Wandhydranten WXS - a stationary wall fire extinguishing system that can be used as an alternative to ordinary fire cocks, has a

sleeve up to 60 m long and a range of flowing spray foam up to 15 m for 20 minutes.

Austrian company Rosenbauer:

- CAFS MOBILE - a mobile installation of gas-filled foam generation, allows receiving a compression foam with a multiplicity of 4 to 20 by turning it into a sleeve line coming from a centrifugal pump. It allows to receive from 400 to 1600 l / min finished gas-filled foam by introducing into the stream of aqueous solution of a foaming agent in a predetermined quantity coming from prepared air cylinders;

- SKY CAFS - a plant for extinguishing high-rise buildings by supplying a compressive foam to a height of 400 m, which is achieved due to a small proportion of foam;

American company Waterous:

- Automotive pump with built-in gas-filled foam system CAFSystem ONE STEP 150-OS allows to receive dry or wet foam with the contents of a foaming agent in a solution with water in amounts of 0,1-1, 3 and 6% depending on needs. Air is pumped from the built-in compressor with a productivity of 4.25 m³ / min at a pressure of 8.6 bar;

- Fire extinguishing modules 70-35-GP, 100-50-DS, 200-100-DS, 100-50-OS, 200-100-OS, including a pump with a drive motor, a compressor and a system of foaming. They operate in a wide range of foam delivery values (up to 800 l / min) and with a maximum pressure of 35, 50 and 100 mV. depending on the model.

The main directions of application of gas-filled foam are selected and analyzed. Among the well-known manufacturers of fire extinguishing systems that implement compression foam technology, OneSeven, WellCrown International Resources Ltd (Hong Kong), KSSIELER Feuerwehr und Rettungssysteme (Germany), Firematic Supply Co. (USA), W.S. Darley and others. All manufacturers produce foam from 4 to 20. The ratio of water foaming agent is from 0.1 to 6%, depending on the needs.

Keywords: gas-filled foam, fire extinguishing, compressed air foam.

УДК: 614.841.334:662.25

*А. С. Миканович, канд. техн. наук, доцент, О. В. Любимова,
Університет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,
О. А. Бужин, д-р экон. наук, професор,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины*

АНАЛИЗ ВОПРОСА ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ ГАЗО-, ПЫЛЕ-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Проведен анализ вопроса защиты промышленных зданий и сооружений при внутреннем взрыве газо-, пыле-воздушной смеси. Проведен анализ способности применения полимерных материалов в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций. Произведена оценка его экономической эффективности и целесообразности применения легкобрасываемых конструкций из поликарбоната в производственных и складских помещениях для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении.

***Ключевые слова:** взрыв, противовзрывная защита, легкобрасываемые конструкции, полимерные материалы.*

Постановка проблемы. Анализ аварий на взрывоопасных производствах показывает, что последствия взрыва приводят к разрушению элементов оборудования и строительных конструкций, к человеческим жертвам, повреждению технологического оборудования и остановке производства.

Взрывом называется быстрое неконтролируемое горение газо-, паро-, пылевоздушной смеси с образованием сжатых газов [1]. Основной отличительной чертой, характеризующей воздействие взрыва, является резкий скачок давления в месте взрыва, сопровождающийся резким ударом газов по окружающему пространству, вызывающий разрушение и сильные деформации предметов. Кроме того, взрыв характеризуется переменной скоростью распространения процесса, измеряемой сотнями и тысячами метров в секунду и сравнительно мало зависящей от внешних условий.

Статистика показывает, что такое явление, как взрыв возникает довольно часто, например, в государствах Европейского союза ежегодно происходит около 2000 взрывов. По данным международной страховой компании Industrial Risk Insurers (IRI), из 34 аварий с ущербом свыше 250 тысяч долларов США, произошедших за год на предприятиях

химической и нефтеперерабатывающей промышленности США, основной ущерб (81 %) наносят аварии со взрывами [2]. Статистический отчет IRI показывает, что взрывы составляют 67 % всех инцидентов, а нанесенный ими ущерб – 85 % общего ущерба [2]. Как показал анализ около 1000 наиболее крупных аварий, проведенный Американской страховой ассоциацией AIA, ущерб при авариях в 63 % обусловлен взрывом либо совместным действием пожара и взрыва [2].

Яркими примерами, подтверждающими тяжесть возможных последствий от чрезвычайных ситуаций такого рода, являются взрывы пылевоздушных смесей, произошедшие 08.03.1972 года в цехе футляров Минского радиозавода (количество погибших – более 120 человек); 14.03.1990 года на базе хранения мороженого в г. Нальчике (погибли 6 человек); 25.10.2010 года в г. Пинске на фанерной фабрике «Пинскдрев-ДСП», (погибло 14 человек, а также произошло обрушение 40 % покрытия кровли и стеновых конструкций); 06.03.2014 года в цехе омского завода синтетического каучука (взрыв газовой смеси с последующим возникновением пожара на установке по производству фенола и ацетона).

По данным Республиканского центра управления и реагирования в чрезвычайных ситуациях МЧС Республики Беларусь (РЦУ РЧС) по состоянию на 2017 год на территории республики находится более 1100 производственных объектов, на которых возможно образование взрывоопасной смеси, при этом на 320 объектах образование возможно в замкнутом объеме. По данным того же РЦУ РЧС на территории Республики Беларусь за период с 2002 по 2017 год зарегистрировано 118 взрывов, в результате которых погибло 34 и было травмировано 64 человека. Взрывы, произошедшие на территории Республики Беларусь за рассматриваемый период, составляют 10,4 % от общего числа произошедших техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), при этом причиненный материальный ущерб равен 25,1 % от общего ущерба от ЧС. Учитывая тяжесть наступающих при взрыве последствий для защиты людей и материальных ценностей от его опасных факторов, на всех стадиях жизненного цикла объекта должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противовзрывной защите.

Анализ последних исследований и публикаций. Наибольшее внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей, занимавшихся вопросами взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий, уделялось совершенствованию общего метода расчета требуемой площади ЛСК. Основными исследованиями в области взрывозащиты являются труды Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко «Моделирование пожаров и взрывов», В. С. Румянцева «Исследование нагрузок на конструкции здания от взрыва газоздушных смесей внутри помещения с учетом интенсификации процесса горения», Г. Г. Орлова «Легкосбрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий», М. Г. Годжелло «Расчет площади легкосбрасываемых конструкций для зданий и сооружений взрывоопасных производств», Н. Д. Светлаков «Ограждающие конструкции зданий взрывоопасных производств». Данные исследования опираются на использование безынерционных ЛСК из двойного или одинарного остекления. Однако использование в качестве легкосбрасываемых конструкций оконных проемов, с одинарным или двойным остеклением не всегда целесообразно, так как

площади проемов некоторых зданий бывают довольно большие, соответственно происходят огромные теплопотери через остекление. Поэтому на сегодняшний день идет поиск материалов и конструкций, которые могут использоваться как альтернатива остекления.

Постановка задачи и ее решение.

Целью данной статьи является проведение анализа вопроса защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газопылевоздушной смеси, определение возможности применения в производственных и складских помещениях легкосбрасываемых конструкций из поликарбоната для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении.

Изложение основного материала исследования. Противовзрывная защита зданий и сооружений – это комплекс мер, охватывающих мероприятия по предотвращению взрыва, локализации его воздействия, а также инженерные решения, связанные с защитой зданий и сооружений при действии нагрузки от избыточного давления взрыва [3]. Одним из конструктивных решений по противовзрывной защите помещений и зданий является устройство легкосбрасываемых конструкций (ЛСК). ЛСК, вскрываясь, обеспечивают снижение избыточного давления, возникающего в помещении при внутреннем аварийном взрыве взрывоопасной смеси, до безопасного нормируемого значения, следовательно, нагрузка на основные конструкции уменьшается по сравнению с той нагрузкой, которая имела бы место при взрыве такой же смеси в замкнутом объеме.

ЛСК в зависимости от способа разрушения и вида делятся на безынерционные и инерционные. Классификация ЛСК в соответствии с [4-6] приведена на рис. 1.

Существующие ТНПА допускают согласно [3,4] в качестве ЛСК использовать: облегченные покрытия, не имеющие жесткой связи с несущими элементами покрытия (кровли); конструкции из стальных, алюминиевых и асбестоцементных листов и эффективного утеплителя; остекление окон и фонарей, а также иные конструкции, эффективность использования которых подтверждена экспериментальными исследованиями и расчетными методами [5].

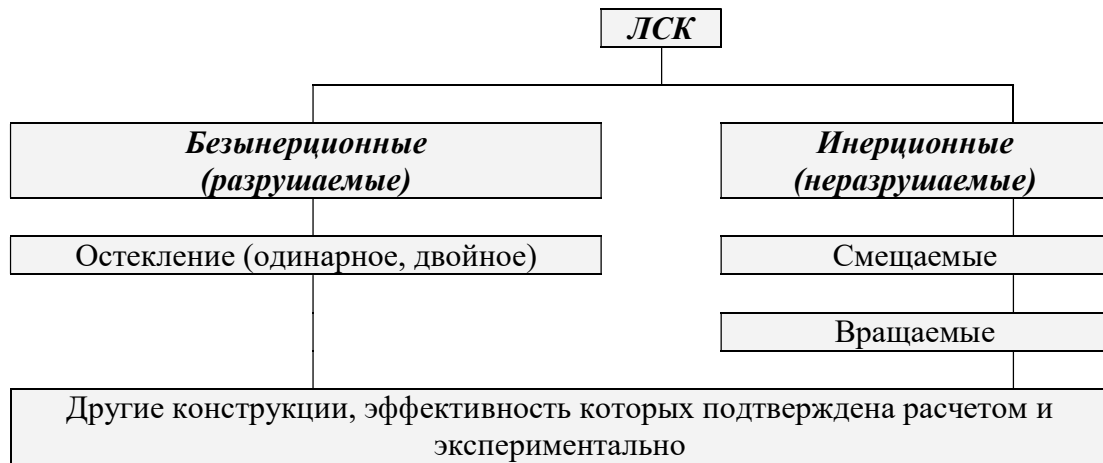


Рисунок 1 – Классификация легкобрасываемых конструкций

Применение остеклений здания и сооружения в качестве ЛСК в настоящее время является одним из наиболее эффективных конструктивных решений для снижения избыточного давления взрыва в помещении.

С развитием архитектурно-строительной деятельности по строительству зданий и сооружений, применением новых технических решений и планировок зданий не всегда наружных стен достаточно для устройства остекления площадью, необходимой для снижения избыточного давления взрыва.

Поэтому альтернативой стандартному и привычному остеклению могут стать полимеры, а именно сотовый и монолитный поликарбонат, которые могут устраиваться в качестве ЛСК в фонарях зданий. Сотовый поликарбонат (СП) – это пустотелый полимерный лист с внутренней структурой, представляющей собой многослойную конструкцию, заполненную продольными перемычками – ребрами жесткости. Монолитный поликарбонат (МП) – это сплошной полимерный лист без внутренних пустот.

Главным достоинством поликарбоната является соотношение его весовых и прочностных характеристик. Анализируя табличные данные, приведенные в таблице 1, можно сказать, что СП (МП) при их легкости (легче стекла в 15 (2) раз), не уступают ему по прочности, более того, по некоторым параметрам (ударная прочность в 200 (16000) раз больше, чем у стекла) является более надежной

Для обоснования экономической эффективности использования сотового

конструкцией, чем стекло. Легкость СП значительно облегчает строительномонтажные работы, и позволяет проектировать удерживающие конструкции не такими массивными и прочными, как для стекла. Также при монтажных работах и в процессе эксплуатации листы данного материала не разбиваются и не дают трещин.

Низкая теплопроводность и высокие теплоизоляционные свойства поликарбоната возвышают его над обычным стеклом. Благодаря этим свойствам листы поликарбоната способны сохранять тепло внутри помещения по показателям, в несколько раз выше любого стекла, обеспечивая отличную теплоизоляцию.

Отдельного внимания заслуживает пожаробезопасность материалов, используемых в строительстве. Поликарбонат – один из светопропускающих пластиков, который может быть назван пожаробезопасным. Поликарбонат горит только в открытом пламени и является самозатухающим, не способствует распространению горения, он не образует горящих капель, при горении образуются лишь легкие нити, успевающие остыть прежде, чем упасть. Поликарбонат относится к категории трудновоспламеняемых материалов: класс В1 по европейской классификации (стандарт DIN 4102).

Диапазон температуры применения СП меньше, чем у стекла, но он является применимым в широтах постсоветского пространства. Даже при критически низких температурах СП не теряет своих прочностных достоинств.

Поликарбоната (СП) в качестве заполнения проемов в ЛСК для взрывозащиты

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», № 1 / 2017

производственных и складских помещений и зданий взрывопожароопасных категорий на основании требований и методик, изложенных в [7, 8] был проведен сравнительный расчет теплопотерь на 1 м² площади ЛСК при использовании одинарного остекления, двойного остекления и сотового поликарбоната. При проведении расчетов температура в наиболее холодный период года принималась равной -25 °С (таблица 4.3 [7]) для наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, температура воздуха в производственном

помещении – +16°С (таблица 1 [9]), сопротивление теплопередаче принималось в соответствии с таблицей Г.1 [7] для одинарного остекления в интервале от 0,15 до 0,18 м² · °С · Вт⁻¹, для двойного остекления в интервале от 0,31 до 0,42 м² · °С · Вт⁻¹ для сотового поликарбоната – 0,26 м² · °С · Вт⁻¹ (4мм), 0,42 м² · °С · Вт⁻¹ (16мм). Результаты сравнительного расчета теплопотерь приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Сравнительный анализ свойств сотового, монолитного поликарбоната и стекла толщиной 4 мм

| Параметры | Сотовый ПК (4мм) | Монолитный ПК (4 мм) | Стекло (4мм) |
|---|---------------------|----------------------|--------------|
| Плотность, кг/м ³ | 200 | 1200 | 2200-2900 |
| Вес, кг/м ² | 0,8 | 4,8 | 9,4 |
| Предел прочности на изгиб, МПа | 100 | 90-110 | 15-20 |
| Предел прочности на растяжение, МПа | 60 | 60 | 30-60 |
| Предел прочности на сжатие, МПа | 70 | 80-100 | 700-1000 |
| Ударная стойкость, Дж | 2,1 | 800 | 0,05 |
| Минимальный радиус изгиба R _{min} , м | 0,7 | 0,6 | - |
| Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С) | 3,8-4,1 | 5,3 | 5,8 |
| Коэффициент линейного термического расширения К, 1·10 ⁻⁵ | 6,5 | 6,5 | 0,9 |
| Коэффициент линейного расширения, мм/(м ² ·°С) | 0,065 | 0,065 | 0,0009 |
| Звукоизоляция, дБ | до 20 | 27 | 30 |
| Степень прозрачности, % | 85 | 91 | 89-92 |
| Диапазон температуры применения, °С | -45 ÷ +120 | -50 ÷ +150 | -70 ÷ +250 |
| Срок службы, лет | Не менее 10 (10-30) | Не менее 10 (10-15) | До 50 |
| Химическая стойкость | Средняя | Высокая | Высокая |
| Цена за 1 м ² , у. е. | от 2 | от 17 | от 3,5 |

Таблица 2 – Сравнительный расчет теплопотерь через ЛСК при использовании одинарного остекления, двойного остекления и сотового поликарбоната

| Вид остекления | Теплопотери, Вт·м ² | | Теплопотери, кг.у.т.·м ² ·год ⁻¹ | |
|----------------|--------------------------------|--------|--|--------|
| | max | min | max | min |
| Одинарное | 273,33 | 227,78 | 159,54 | 132,95 |
| Двойное | 132,26 | 97,62 | 77,20 | 56,98 |
| СП | 157,69 | 97,62 | 92,04 | 56,98 |

При формировании программ энергосбережения на 2017 год в расчетах при составлении технико-экономических обоснований мероприятий и оценки их окупаемости расчетную стоимость 1 т у. т. принимают равной 220 долларов США [10]. Применение сотового поликарбоната взамен одинарного остекления позволяет сэкономить 67,5 кг. у. т. за отопительный сезон при замене одинарного остекления на сотовый поликарбонат, что в денежном выражении составляет 14,85 долларов США соответственно.

Выводы. Проанализирован вопрос защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газо-пылевоздушной смеси, проведен анализ возможности применения в производственных и

складских помещениях легкосбрасываемых конструкций из поликарбоната для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении. Установлено, что соотношение весовых и прочностных характеристик поликарбоната более высокое, чем у обычного остекления. Определено, что исследования по применению ЛСК из поликарбоната, предназначенных для взрывозащиты производственных и складских помещений, являются актуальными. Однако невозможность теоретического определения момента сил сопротивления полимерных материалов и параметров взрыва требуют проведения экспериментальных исследований для проверки эффективности использования ЛСК из поликарбоната.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ

1. Пожарная безопасность. Общие термины и определения [Текст] : СТБ 11.0.02-95. – Минск : Белстандарт, 1995. – 13с. – (Система стандартов пожарной безопасности).

2. Моделирование пожаров и взрывов [Текст] / под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. – М. : Ассоциация «Пожнаука», 2000. – 482 с.

3. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования [Текст] : СТБ 11.05.03–2010. – Взамен СТБ П 11.05.03–2006 ; введ. 01–01–11. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2010. – 71 с. – (Система стандартов пожарной безопасности).

4. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. Строительные нормы проектирования [Текст] = Абмежаванне распаўсюджвання пажара ў будынках і збудаваннях. Аб'ёмна-планіровачныя і канструктыўныя рашэнні. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45–2.02–92–2007. – Взамен СНБ 2.02.03–03 ; Введ. 07–07–08. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 20 с. – (Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства).

5. Конструкции легкосбрасываемые. Правила расчета [Текст] : ТКП 45–2.02–38–

2006. – Введ. 01–01–07. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2006. – 30 с. – (Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства).

6. Орлов Г.Г. Легкосбрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1987. – 200 с.

7. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования [Текст] : ТКП 45–2.04–43–2006. – Взамен СНБ 2.04.01–97 ; Введ. 01–07–07. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.

8. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] : СНБ 4.02.01–03. – Взамен СНиП 2.04.05–91 ; введ. 01–01–05. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2004. – 81 с.

9. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях [Текст]: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 28.12.2015 №136 : введ. в действие с момента опубл. – Минск, 2015 – 19 с.

10. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/information/2279-1-2017>. – Дата доступа: 07.09.2017.

REFERENCES

1. Pozharnaya bezopasnost. Obshchie terminy i opredeleniya [Tekst] : STB 11.0.02-95. – Minsk : Belstandart, 1995. – 13s. – (Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti).
2. Modelirovanie pozharov i vzryvov [Tekst] / pod obshch. red. N. N. Brushlinskogo, A. Ya. Korolchenko. – M. : Assotsiatsiya «Pozhnauka», 2000. – 482 s.
3. Pozharnaya bezopasnost tekhnologicheskikh protsessov. Metody otsenki i analiza pozharnoy opasnosti. Obshchie trebovaniya [Tekst] : STB 11.05.03–2010. – Vzamen STB P 11.05.03–2006 ; vved. 01–01–11. – Minsk : Gos. kom. po standartizatsii Resp. Belarus, 2010. – 71 s. – (Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti).
4. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara v zdaniyakh i sooruzheniyakh. Obemno-planirovochnye i konstruktivnye resheniya. Stroitelnye normy proektirovaniya [Tekst] = Abmezhhavanne raspayshudzhvannya pazhara ŷ budynkakh i zbudavannyakh. Ab'emna-planirovachnyya i kanstruktyŷnyya rashenni. Budaŷnichyya normy praektavannya : TKP 45–2.02–92–2007. – Vzamen SNB 2.02.03–03 ; Vved. 07–07–08. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2003. – 20 s. – (Natsionalnyy kompleks tekhnicheskikh normativnykh pravovykh aktov v oblasti arkhitektury i stroitelstva).
5. Konstruktsii legkosbrasyvaemye. Pravila rascheta [Tekst] : TKP 45–2.02–38–2006. – Vved. 01–01–07. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2006. – 30 s. – (Natsionalnyy kompleks tekhnicheskikh normativnykh pravovykh aktov v oblasti arkhitektury i stroitelstva).
6. Orlov G.G. Legkosbrasyvaemye konstruktsii dlya vzryvozashchity promyshlennykh zdaniy. – M. : Stroyizdat, 1987. – 200 s.
7. Stroitel'naya teplotekhnika. Stroitelnye normy proektirovaniya [Tekst] : TKP 45–2.04–43–2006. – Vzamen SNB 2.04.01–97 ; Vved. 01–07–07. – Minsk: M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2007. – 35 s.
8. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Tekst] : SNB 4.02.01–03. – Vzamen SNiP 2.04.05–91 ; vved. 01–01–05. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2004. – 81 s.
9. Trebovaniya k mikroklimatu rabochikh mest v proizvodstvennykh i ofisnykh pomeshcheniyakh [Tekst]: utv. post. Gl. gos. san. vracha Resp. Belarus 28.12.2015 №136 : vvod. v deystvie s momenta opubl. – Minsk, 2015 – 19 s.
10. Departament po energoeffektivnosti Gosudarstvennogo komiteta po standartizatsii Respubliki Belarus [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/information/2279-1-2017>. – Data dostupa: 07.09.2017.

*A. С. Мікановіч, канд. техн. наук, доцент, О. В. Любимова,
Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь,
О. А. Бужин, д-р екон. наук, професор,*

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

**АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ВИБУХУ
ГАЗО-, ПИЛО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ**

Проведено аналіз питання захисту промислових будівель і споруд при внутрішньому вибуху газо-, пило-повітряної суміші. Проведено аналіз можливості використання полімерних матеріалів в якості світлопрозорого заповнення легкоскидних конструкцій. Зроблено оцінку його економічної ефективності та

доцільності застосування легкоскидних конструкцій з полікарбонату в виробничих і складських приміщеннях для зниження надлишкового тиску, що утворюється при аварійному дефляційному горінні.

Ключові слова: вибух, противибуховий захист, легкоскидні конструкції, полімерні матеріали.

Mikanovich A.S, PhD , docent, University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus

Liubimova O.V., University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus

ANALYSIS OF BUILDINGS PROTECTION FROM THE IMPACT OF INTERNAL EXPLOSION OF THE GAS- DUST- AIR MIXTURE

The issue of industrial buildings and structures protection from an internal explosion of a gas, dust and air mixture is analyzed. The analysis of the ability of using polymeric materials as a transparent coating of lightweighted structures is carried out. The estimation of its economic efficiency and application expediency of polycarbonate lightweighted structures in industrial and warehouse premises for reduction of the excessive pressure formed at emergency deflagration combustion is made.

Explosions are the most dangerous causing of huge damage to production buildings. The explosion is the rapid uncontrolled combustion of gas, steam, dust and air mixtures with the formation of compressed gases.

As Statistics shows that such phenomenon as an explosion occurs quite often, for example, annually in the states of the European Union, there are about 2,000 explosions. The statistical report of the insurance company Industrial Risk Insurers shows that the explosions account for 67% of all incidents, and the damage is above 85% from the total damage.

Despite the fitting of production buildings of the most modern explosion protection means up, the explosions prevention isn't always possible. As a result, to protect people and property from the hazards of the explosion, a set of anti-explosion protection measures should be provided, the main one of which is the installation of lightweight structures.

The opened lightweight structures provide a reduction in the excess arises pressure in the room during an explosion to a safe standardized value, therefore, the load on the basic structures is reduced in comparison with

the load that would have occurred during the explosion of the same mixture in a closed space.

Nowadays the using of glazing in a building as lightweight structures is one of the most effective design solutions for reducing the explosion of excess pressure in a room.

With the development of architectural activities of buildings construction, the using of the glazing of the exterior walls areas as lightweight structures there aren't fully sufficient to reduce the excess pressure of the explosion. Existing technical normative legal acts allow using other constructions as lightweight structures the effectiveness of which is confirmed by experimental studies and calculation methods.

Therefore, an alternative to the standard and customary glazing may be polymers, namely cellular and monolithic polycarbonate. The main advantage of polycarbonate is the ratio of its weight and strength characteristics.

Analyzing the strength characteristics, we can say that the cellular and monolithic polycarbonate is lighter than glass in 15 (2) times, but it isn't inferior to glass in strength, moreover it exceeds by some parameters (impact strength is 200 (16000) times more than Glass). The lightness of the polycarbonate greatly simplifies the work of installation and construction. Polycarbonate is one of the light-transmitting plastics, which can be called fireproof. Polycarbonate burns only into open flame and is self-extinguishing, doesn't promote the spread of combustion. All this characteristics make polycarbonate more sought-after and acceptable to use as lightweight structures in buildings.

Key words: explosion, anti-explosion protection, light-cast structures, polymeric materials.

УДК 614.849

С. П. Мосов, д-р військ. наук, професор,
Національна академія державного управління при Президентові України

ОСОБЛИВОСТІ ВИМОГ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ АЕРОДРОМІВ

У статті систематизовано знання стосовно забезпечення протипожежного захисту аеродромів (аеропортів) України в сучасних умовах змін парку літаків цивільної авіації. Розкрито питання встановлення та оголошення для кожного аеродрому рівня необхідного пожежного захисту в залежності від розмірів повітряних суден, які використовують даний аеродром. Визначено сукупність дій власника сертифікату, які він зобов'язаний здійснити при зміні кількості протипожежних засобів на аеродромі та рівня необхідного пожежного захисту повітряних суден. Для забезпечення рівня необхідного пожежного захисту повітряних суден, встановленого відповідно до вимог, досліджено питання забезпечення аеродромів (аеропортів) пожежними автомобілями, які слід мати для гасіння пожеж на повітряних суднах.

Ключові слова: протипожежний захист, пожежна безпека, аеродром, повітряне судно

3 9 вересня 1992 року Україна стала членом ІКАО, приєднавшись до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію (м. Чикаго, 07.12.1944; Чиказька конвенція). За час членства забезпечується неухильне дотримання Україною вимог Чиказької Конвенції, а наявні відмінності національних правил від стандартів і рекомендованої практики ІКАО повідомляються Секретаріату ІКАО, а також публікуються в Аеронавігаційному збірнику України (AIP Ukraine) [1]. У сфері цивільної авіації застосовуються стандарти та рекомендована практика ІКАО, які викладені у 18 Додатках до Чиказької конвенції та на підставі яких розроблені та постійно удосконалюються відповідні національні нормативні документи.

Постановка проблеми. В умовах подальшого розвитку України відбуваються зміни в різноманітних сферах її економіки. Такі зміни відбуваються в питаннях удосконалення стану парків літаків у цивільній авіації. Це обумовлено в першу чергу тим, що авіаційний парк радянських літаків цивільної авіації за майже двадцять шість років незалежності значно скоротився внаслідок витрати літаками встановленого ресурсу щодо їх експлуатації. Замість застарілих літаків авіаційний парк регулярно поповнюється новими літаками класів

Boeing і Airbus. Це вимагає змін як інфраструктури аеропортів (аеропорт “Бориспіль”, м. Бориспіль; аеропорт “Жуляни”, м. Київ тощо), так і змін, пов'язаних з якісним та надійним протипожежним забезпеченням аеродромів (аеропортів). Використання сучасних повітряних суден (далі – ПС) з більшими довжиною та шириною фюзеляжу призводить до змін категорії аеродрому за належним рівнем пожежного захисту, кількості та класу пожежних автомобілів (далі – ПА), вогнегасної речовини та сумарної продуктивності подачі вогнегасної речовини (далі – ВГР). Це вимагає, у свою чергу, систематизації знань у питаннях забезпечення пожежної безпеки на аеродромах у теперішніх умовах розвитку цивільної авіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями питань забезпечення пожежної безпеки на аеродромах (в аеропортах) цивільної авіації частково займаються вищі навчальні заклади, що знаходяться в системі вищої освіти Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС) у межах методичного забезпечення навчального процесу.

Цілеспрямованих предметних наукових досліджень практично не

виконувалось, що обумовлено, на наш погляд, специфічністю напрямку та тривалою кризою у сфері авіаційних перевезень наприкінці 1990-х років та початку 2000-х років, а також відповідною специфікою та вузькістю меж наукового дослідження. Праць монографічного характеру не так багато. До складу таких праць відноситься: праця французького фахівця А. Етьєна “Аеродромна пожежна охорона” [2], праця радянського фахівця М.А. Джафарова “Пожежна безпека на аеродромах. Забезпечення пожежної безпеки на аеродромах цивільної авіації” [3] та історичне дослідження А.В. Карпова “Аеродромні пожежні автомобілі” [4]. Частково питання протипожежної безпеки на аеродромах (в аеропортах) цивільної авіації викладені в підручниках по пожежній тактиці часів СРСР.

Із приєднанням України до ІКАО вимагається неухильне дотримання Україною вимог Чиказької Конвенції стосовно питань рятування та боротьби з пожежами в межах аеропортів (аеродромів) цивільної авіації [5], у зв'язку з чим у низці нормативно-правових документів України відображені відповідні питання протипожежного забезпечення аеродромів (аеропортів).

Формулювання цілей статті. Мета дослідження полягала в систематизації знань стосовно забезпечення протипожежного захисту аеродромів (аеропортів) України в теперішніх умовах змін парку літаків цивільної авіації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно Повітряного кодексу України під терміном “аеродром” розуміється поверхня земної або водної ділянки, на якій розміщені будівлі, споруди та обладнання, яка призначена повністю або частково для вильоту, прибуття та руху по цій поверхні повітряних суден [6].

Разом з низкою обов'язкових елементів до складу аеродрому входять об'єкти та засоби аварійно-рятувального і протипожежного забезпечення. Відповідальність за організацію та проведення пошукових, аварійно-рятувальних і протипожежних робіт у разі аварійних чи надзвичайних подій з

повітряними суднами на території аеропорту та в районі аеродрому несе безпосередньо експлуатант аеродрому.

Організація та проведення заходів аварійно-рятувального й протипожежного забезпечення польотів, пожежної безпеки, аварійно-рятувальних робіт на території аеродромів (аеропортів) і в районі відповідальності аеродромів за проведення пошукових та аварійно-рятувальних робіт покладаються на служби аварійно-рятувального та протипожежного забезпечення польотів підприємств цивільної авіації України. Служба аварійно-рятувального й протипожежного забезпечення польотів повинна знаходитися під адміністративним контролем управління аеропорту (аеродрому) цивільної авіації України, яке повинно забезпечити організацію, оснащення, укомплектованість, навчання персоналу та виконання службою функцій за призначенням. Служби аварійно-рятувального та протипожежного забезпечення польотів здійснюють свою діяльність у порядку, встановленому законодавством України, у тому числі авіаційними правилами України [6].

Вимоги до рівня протипожежного захисту аеродромів викладено у документі “Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України” [7]. Виконання вимог власником сертифіката аеродрому вважається необхідною умовою забезпечення безпеки польотів. При цьому сертифікаційні вимоги необхідно враховувати при розробці інших нормативних документів, що містять вимоги зі створення (будівництва), проектування, реконструкції (модернізації), а також при сертифікації та допуску аеродрому до експлуатації.

Рівень необхідного пожежного захисту (далі – РНПЗ) встановлюється та оголошується для кожного аеродрому в залежності від розмірів повітряних суден, які використовують даний аеродром.

Категорії аеродрому за належним рівнем пожежного захисту (далі – РНПЗ) при виконанні аварійно-рятувальних і протипожежних операцій, виходячи з найбільшої довжини та максимальної ширини фюзеляжу ПС, що експлуатуються

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», № 1 / 2017

на даному аеродромі, приведено в табл. 1 [5, 7, 8].

Якщо в найбільш навантажені три місяці поряд кількість операцій ПС самої високої категорії, які звичайно використовують цей аеродром, складає менше 700, протипожежний захист забезпечується на рівні не більше, ніж на один щабель нижче відповідної категорії. Як приклад. До аеропорту *N* у найбільш навантажені три місяця поряд (липень,

серпень і вересень; всього 92 днів) регулярно літають: Boeing 747-400 – 2 рейси щодня, Airbus A320 – 2 рейси щодня та ТУ-154 – 1 рейс щодня. Рух розподіляється таким чином: Boeing 747-400 – 2(зліт і посадка)х2х92=368; Airbus A320 – 2(зліт і посадка)х2х92=368; ТУ-154 – 2(зліт і посадка)х92=184. Разом 920 рухів. Таким чином за кількістю рухів цифра 700 перевищена.

Таблиця 1 – Правила визначення категорії аеродрому за належним рівнем пожежного захисту

| Загальна довжина повітряного судна | Максимальна ширина фюзеляжу найбільшого ПС, м | Категорія за РНПЗ |
|------------------------------------|---|-------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| від 0 до 9 м (включно) | 2 | 1 |
| від 9 до 12 м (включно) | 2 | 2 |
| від 12 до 18 м (включно) | 3 | 3 |
| від 18 до 24 м (включно) | 4 | 4 |
| від 24 до 28 м (включно) | 4 | 5 |
| від 28 до 39 м (включно) | 5 | 6 |
| від 39 до 49 м (включно) | 5 | 7 |
| від 49 до 61 м (включно) | 7 | 8 |
| від 61 до 76 м (включно) | 7 | 9 |
| від 76 до 90 м (включно) | 8 | 10 |

Примітка: 1. Категорія аеродрому за РНПЗ встановлюється колонкою 3 таблиці на підставі визначення загальної довжини та ширини фюзеляжу, у колонках 1 і 2 таблиці (за максимальною величиною), повітряних суден, що експлуатуються на даному аеродромі.

2. Категорія злітно-посадкової смуги повинна переглядатися не рідше одного разу на рік і при організації польотів нових типів ПС.

У періоди зниженої активності протипожежний захист має забезпечуватися на рівні не нижче потрібного для самої високої категорії ПС, який за планом буде використовувати аеродром протягом цього періоду часу незалежно від кількості операцій. У розглянутому вище прикладі аеродром за показниками Boeing 747-400 (загальна довжина ПС дорівнює 70,75 м; ширина фюзеляжу – 6,1 м) відноситься до 9 категорії за РНПЗ.

Для віднесення ПС до певної категорії спочатку треба провести оцінювання його довжини, а потім ширини фюзеляжу. Якщо після вибору категорії, що відповідає довжині ПС, ширина його фюзеляжу буде перевищувати максимальну ширину, наведену для цієї категорії в табл. 1,

то фактична категорія для даного типу ПС приймається на один щабель вище. Так, наприклад, літак Ту-154, що має довжину 47,9 м, ширину фюзеляжу 3,8 м, слід віднести до 7-ї категорії. Разом з тим літак Боїнг-767, що має довжину 48,5 м, відповідає 7-ї категорії, але з цієї категорії максимальна ширина фюзеляжу не повинна перевищувати 5 м, фактична ж ширина фюзеляжу в літака Боїнг-767 дорівнює 5,03 м, отже, цей тип літака відноситься до 8-ї категорії.

Якщо відбуваються будь-які зміни кількості протипожежних засобів на аеродромі та в наслідку цього знижується РНПЗ повітряних суден, власник сертифіката зобов'язаний здійснити такі дії: установити (за даними табл. 1) і оголосити категорію аеродрому за РНПЗ, що відповідає

фактичній кількості протипожежних засобів; вжити необхідних заходів щодо забезпечення РНПЗ повітряних суден, у результаті чого відновити кількість протипожежних засобів до колишнього рівня або обмежити польоти ПС відповідно до встановленої категорії аеродрому за РНПЗ.

Для забезпечення РНПЗ повітряних суден, встановленого відповідно до вимог,

аеродроми повинні також бути забезпечені відповідними ПА, які слід мати для гасіння пожеж на повітряних суднах.

Кількість ПА, вогнегасних речовин (далі – ВГР), які мають розрахункову інтенсивність подачі вогнегасних речовин 0,14 л/м²с, що знаходяться на цих ПА, і сумарна продуктивність подачі ВГР, повинні бути не менше, приведених у табл. 2.

Таблиця 2 - Вимоги за кількістю ПА, ВГР і сумарною продуктивністю подачі ВГР

| Категорія аеродрому за РНПЗ | Кількість ПА, шт. | Кількість ВГР | | Сумарна продуктивність подачі ВГР, кг/с |
|-----------------------------|-------------------|---------------|--------------------------------|---|
| | | на ПА, л | у тому числі піноутворювача, л | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 1 | 800 | 55 | 6 |
| 2 | 1 | 1700 | 120 | 14 |
| 3 | 1 | 2600 | 180 | 20 |
| 4 | 2 | 8000 | 500 | 60 |
| 5 | 2 | 12000 | 840 | 80 |
| 6 | 3 | 15200 | 1060 | 100 |
| 7 | 3 | 24000 | 1680 | 130 |
| 8 | 4 | 32500 | 2160 | 180 |
| 9 | 5 | 41000 | 2870 | 220 |
| 10 | 5 | 41850 | 3580 | 250 |

Загальна кількість ПА на аеродромі повинна забезпечувати встановлений рівень необхідного пожежного захисту ПС для усіх злітно-посадкових смуг (далі – ЗПС).

При використанні вогнегасних речовин, що мають розрахункову інтенсивність подачі, відмінну від значення 0,14 л/м²с, їхня мінімальна кількість на ПА та сумарна продуктивність подачі визначаються таким чином. Кількість ВГР, що мають розрахункову інтенсивність подачі рівню 0,14 л/м²с та знаходяться на пожежних автомобілях, і сумарна продуктивність подачі таких ВГР визначаються в залежності від категорії ЗПС по РНПЗ згідно табл. 2.

При використанні ВГР, що мають розрахункову інтенсивність подачі, відмінну від значення 0,14 л/м²с, їх кількість на ПА та сумарна продуктивність подачі визначаються за формулами [7]:

$$Q = \frac{I \times Q_0}{0.14}$$

$$q = \frac{I \times q_0}{0.14}$$

де: I – інтенсивність подачі використовуваної речовини, у кг/м²с;

Q, q – кількість і сумарна продуктивність подачі використовуваного ВГР, у кг і кг/с;

Q_0, q_0 – кількість і сумарна продуктивність подачі речовини, що має розрахункову інтенсивність подачі 0,14 л/м²с, у кг і кг/с.

В окремих випадках для забезпечення встановленого рівня необхідного пожежного захисту ЗПС допускається залучення сил і засобів за планами взаємодії з іншими місцевими організаціями.

У вимогах ІКАО передбачено, що пожежні команди таких організацій, як правило, розташовуються на території аеродрому, хоча не виключається можливість їх розміщення за межами

аеродрому за умов виконання вимог стосовно оперативного часу розгортання.

За умов, коли аеродром розташований поблизу водоймищ (заболоченої місцевості) або у важкодоступних районах, над якими виконується значна частина злітно-посадкових операцій, необхідно забезпечити наявність спеціальних рятувальних служб і протипожежного обладнання, що відповідають ступеню небезпеки та ризику [8].

На аеродромі треба мати, принаймні, подвійний запас піноутворювача відносно до кількості, вказаної в табл. 1 і не менше двох джерел протипожежного водопостачання для заправлення ПА водою.

Стоянки ПС повинні оснащуватися (принаймні, на час виконання робіт на ПС), вогнегасниками з розрахунку не менше одного вогнегасника на дві стоянки. Вогнегасник повинний мати запас ВГР не менше 40 кг і можливість переміщення та приведення у дію одною людиною. Допускається заміна одного вогнегасника декількома, сумарний запас ВГР, у котрих не менше 40 кг.

За часів СРСР вимоги до рівня протипожежного захисту аеродромів були викладені у документі “Норми придатності до експлуатації в СРСР цивільних аеродромів (НПЕА СРСР)” [9]. Суть їх зводилася до того, щоб на кожному цивільному аеродромі в залежності від їх розмірів і частоти рухів повітряних суден, які регулярно використовують цей аеродром, був забезпечений нормативний запас вогнегасної речовини, що доставляється на ПА до місця авіаційної події у встановлений час.

Потрібна кількість ВГР, яку необхідно було доставляти до місця авіаційної події, розраховувалася з використанням відповідної методики ІКАО. За основу розрахунку бралася таке: можлива площа розлитого авіапалива на місці авіаційної події, так звана критична зона, яка залежить від довжини та ширини фюзеляжу повітряного судна; інтенсивність подачі ВГР для гасіння розлитого авіапалива; розрахунковий час гасіння авіапалива в межах практичної критичної зони; вид вогнегасної речовини та його вогнегасна здатність [3].

Для забезпечення РНПЗ повітряних суден, встановленого відповідно до вимог п.2.2, аеродром має бути забезпечений пожежними транспортними засобами, які відповідають

нормативним вимогам щодо гасіння пожеж на ПС з урахуванням рекомендацій ІКАО. Мінімально необхідна кількість працездатних ПА для ефективної доставки і застосування ВГР відповідно до категорії аеродрому за РНПЗ визначається згідно табл. 2.

Кожний з пожежних автомобілів повинен бути укомплектований пожежно-технічним обладнанням (пожежні рукави, ручні пожежні стволи, генератори піни), засобами для забезпечення евакуації людей з аварійного ПС (драбина, пристрій для різання обшивки фюзеляжу, ножі для різання прив'язних ременів), засобами для індивідуального захисту особового складу пожежно-рятувальних розрахунків (дихальні апарати, каски, тепलोзахисні костюми), а також шанцевим інструментом (лом, пожежна сокира, лопата, кувалда) [7].

Загальна кількість ПА на аеродромі повинна забезпечувати встановлений рівень необхідного пожежного захисту ПС для усіх ЗПС.

Кількість ПА, які знаходяться на чергуванні, для забезпечення встановленої категорії аеродрому за РНПЗ при використанні піни, що відповідає характеристикам рівнів А, В, С (табл. 3), повинна бути не меншою за даних, приведених у табл. 4 [10].

Мінімальна кількість ПА при використанні піни, що відповідає характеристикам рівнів В, С, визначена з урахуванням технічних вимог до аварійно-рятувальних і пожежних автомобілів, рекомендованих ІКАО в Ч.1 “Рятування та боротьба з пожежею” Керівництва по аеропортових службах [5].

На випадок технічного обслуговування наявних ПА, а також інших випадків, які можуть потребувати наявності резервного транспортного засобу, має бути обов'язково передбачений резервний ПА.

Аеродромні пожежні автомобілі поділяються на високомобільні (стартові) та основні. Високомобільні ПА використовуються при несенні служби на ЗПС аеродрому для гасіння пожеж і евакуації пасажирів та екіпажу з аварійної зони. Основні ПА прибувають на гасіння пожежі за викликом із пожежного депо аварійно-рятувальної станції (далі – АРС).

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», № 1 / 2017

На оснащенні пожежно-рятувальних підрозділів можуть перебувати також інші спеціальні автомобілі, що використовуються при проведенні пожежно-рятувальних робіт. Такими вважаються, наприклад, штабні,

світлозабезпечення, для покриття ЗПС піною, цистерни для води, але всі вони не можуть класифікуватися як високомобільні або основні транспортні засоби.

Таблиця 3 – Мінімальна кількість ВГР залежно від категорії аеродрому за РНПЗ

| Категорія ЗПС за РНПЗ | Піна, що відповідає характеристикам рівня А | | | Піна, що відповідає характеристикам рівня В | | | Піна, що відповідає характеристикам рівня С | | | Додаткові речовини | |
|-----------------------|---|------------------|-----------------------------------|---|------------------|-----------------------------------|---|------------------|-----------------------------------|--|---------------|
| | вода, л | піноутворювач, л | норма витрати розчину піни, л/хв. | вода, л | піноутворювач, л | норма витрати розчину піни, л/хв. | вода, л | піноутворювач, л | норма витрати розчину піни, л/хв. | сухі хімічні порошкоподібні речовини, кг | витрата, кг/с |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 350 | 25 | 350 | 230 | 17 | 230 | 160 | 12 | 160 | 45 | 2,25 |
| 2 | 1000 | 70 | 800 | 670 | 47 | 550 | 460 | 32 | 360 | 90 | 2,25 |
| 3 | 1800 | 125 | 1300 | 1200 | 85 | 900 | 820 | 58 | 630 | 135 | 2,25 |
| 4 | 3600 | 250 | 2600 | 2400 | 168 | 1800 | 1700 | 115 | 1100 | 135 | 2,25 |
| 5 | 8100 | 560 | 4500 | 5400 | 376 | 3000 | 3900 | 257 | 2200 | 180 | 2,25 |
| 6 | 11800 | 810 | 6000 | 7900 | 545 | 4000 | 5800 | 371 | 2900 | 225 | 2,25 |
| 7 | 18200 | 1250 | 7900 | 12100 | 840 | 5300 | 8800 | 572 | 3800 | 225 | 2,25 |
| 8 | 27300 | 1900 | 10800 | 18200 | 1275 | 7200 | 12800 | 870 | 5100 | 450 | 4,5 |
| 9 | 36400 | 2500 | 13500 | 24300 | 1680 | 9000 | 17100 | 1145 | 6300 | 450 | 4,5 |
| 10 | 48200 | 3300 | 16600 | 32300 | 2215 | 11200 | 22800 | 1510 | 7900 | 450 | 4,5 |

Таблиця 4 – Мінімальна кількість ПА залежно від категорії аеродрому за РНПЗ і характеристик піни

| Категорія ЗПС за РНПЗ | Кількість пожежних автомобілів, од. | | |
|-----------------------|--|--|--|
| | при використанні піни, що відповідає характеристикам рівня А | при використанні піни, що відповідає характеристикам рівня В | при використанні піни, що відповідає характеристикам рівня С |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 3 | 2 | 1 |
| 7 | 3 | 2 | 2 |
| 8 | 4 | 3 | 2 |
| 9 | 5 | 3 | 3 |
| 10 | 5 | 3 | 3 |

Призначення швидкодійного транспортного засобу полягає в тому, щоб якомога швидше прибути на місце авіаційної події та почати гасіння пожежі на ПС (якщо подія супроводжується пожежею) до прибуття основних транспортних засобів. Цей ПА повинен мати досить високу швидкість 105-110 км/год. і динаміку розгону до 80 км/год. за 25-30 с з тим, щоб в мінімально короткий термін (але не більше 2,5-3 хв.) прибути до місця авіаційної події, а у випадках загорянь конструктивних елементів приземлення (шасі) ПС слідувати на пробігу за ПС з метою гасіння останніх. Швидкодійний ПА повинен також мати запас основної (водопінної) ВГР для роботи не менше ніж на 1,5-2 хв. і з таким розрахунком, щоб основні пожежні транспортні засоби, які прибувають слідом за ним, оперативно розгорнулися, тобто включилися в роботу по гасінню пожежі до того, як весь запас ВГР швидкодійного ПА буде витрачено [3,5].

Швидкодійний ПА, крім основної (водопінної) вогнегасної речовини, повинен бути забезпечений допоміжними ВГР. Автомобіль подібного типу повинен також оснащуватися гідромоніторами (лафетними стволами) з гідравлічним дистанційним управлінням, а також пристроєм відбору потужності на насосну установку, що включається під час руху автомобіля, без обов'язкової його зупинки, що досить важливо з точки зору скорочення часу розгортання, а також забезпечення можливості гасіння вогнища пожежі під час руху, наприклад, палаючого шасі літака на пробігу. Важливою технічною вимогою до швидкодійних аеродромних ПА вважається їх висока прохідність по бездоріжжю.

Основні транспортні засоби розраховуються на перевезення (доставку) до місця авіаційної події основної маси ВГР з урахуванням кількості ВГР, що вже знаходиться на швидкодійному ПА. Вони повинні мати: велику вантажопідйомність по ВГР; високу швидкість – до 100 км/год., динаміку розгону до швидкості 80 км/год. за 40-45 с і велику прохідність по бездоріжжю; достатньо потужну насосну установку і гідромонітор з дистанційним управлінням, здатні забезпечити нормативне подавання ВГР; мінімально необхідне аварійно-

рятувальне обладнання та спорядження (сходи, пристрої для відкриття фюзеляжу, рятувальні мотузки, ножі для розрізання крісельних прив'язних ременів, апарати для захисту органів дихання, тепловідбиваючі костюми, стовбури-пробійники, комплект стовбурів, рукавів та інше пожежно-технічне обладнання); так само, як і швидкодійний ПА, інші ВГР. На основних транспортних засобах перевозиться також необхідне аварійно-рятувальне спорядження [3, 5, 7,10].

На всіх аеродромних ПА повинні встановлюватися прожектори або фари спрямованого освітлення.

Треба також звернути увагу на те, що швидкість і динаміка розгону ПА повинні визначатися при оптимальних (середніх, тобто сприятливих) умовах видимості та стану дорожнього покриття.

При придбанні нового ПА доцільно враховувати не тільки його корисність для заміни застарілого ПА, чи такого, що відпрацював свій ресурс, а також оцінювати його можливості на перспективу при збільшенні, наприклад, навантаження аеродрому (аеропорту) повітряними судами чи при введенні ПС більших розмірів. ІКАО розглядає можливий експлуатаційний термін служби транспортного засобу з урахуванням виконання вимог щодо його експлуатації до 10 років. Враховуючи це, при придбанні нового ПА рекомендується враховувати результати оцінки можливого зростання об'єму повітряного руху за цей період часу [5].

Так, за існуючими прогнозами ІКАО до 2025 р. обсяг світових регулярних вантажних перевезень, буде зростати, "найбільш ймовірно", щорічно в середньому на 6,6 %. Міжнародні вантажні перевезення відповідно до прогнозів зростатимуть щорічно в середньому на 6,9 % у порівнянні зі збільшенням внутрішніх вантажних перевезень на 4,5 %. Очікується, що авіавантажні перевезення авіакомпаній регіонів Азії / Тихого океану будуть зростати найшвидше – щорічно на 8,0%. За ними слідує регіон Близького Сходу (7,8 % щорічно). В інших регіонах темпи зростання прогноуються нижче середньосвітового рівня, приблизно в межах 4,8-5,8 % [11].

Висновки. Потреби впровадження адаптаційних заходів в Україні з урахуванням

світових змін відбиваються і на сфері цивільної авіації. У сучасних умовах активного технічного розвитку авіації та забезпечення високого рівня безпеки на авіаційному транспорті на перші позиції виходять питання забезпечення пожежної безпеки українських аеродромів (аеропортів) цивільної авіації. Наведена систематизація знань в цьому напрямку дозволяє, на нашу думку, у цілому з'ясувати особливості вимог, що пред'являються до рівня протипожежного захисту аеродромів (аеропортів) у сучасних умовах, з метою пошуку ефективних підходів щодо їх подальшого виконання.

Перспективи подальших досліджень.

Напрямами подальших досліджень, пов'язаних із забезпеченням надійного протипожежного захисту аеродромів (аеропортів) цивільної авіації можуть стати такі: особливості розвитку пожеж на об'єктах авіапідприємств у сучасних умовах експлуатації повітряних суден; удосконалення системи навчально-методичної та практичної підготовки пожежно-рятувальних підрозділів; удосконалення взаємодії пожежно-рятувальних підрозділів із місцевими пожежно-рятувальними частинами тощо.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довідкова інформація про взаємовідносини України з ІКАО (Міжнародною організацією цивільної авіації). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/Miznarodnadiyalnist/Zovnishnja%20dijalnist/24029.html>.
2. Этьенн А. Аэродромная пожарная охрана / А. Этьенн; пер. с франц. В.И. Колимеева; под ред. М.Н. Полосухина. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://allrefs.net/c33/3gve8/?full>.
3. Джафаров М.А. Пожарная безопасность на аэродромах. Обеспечение пожарной безопасности на аэродромах гражданской авиации / М.А. Джафаров. – М., 1987. – 206 с.
4. Карпов А.В. Аэродромные пожарные автомобили / А.В. Карпов. – М., 2010. – 120 с.
5. Руководство по аэропортовым службам. Ч.1. Спасание и борьба с пожаром. – ИКАО, 1990. – 143 с.
6. Повітряний кодекс України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/3167-12>.
7. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://avia.gov.ua/documents/airports/Aviation_Rules/Orders_SAA/23191.html.
8. Конвенция о международной гражданской авиации. Приложение 14. Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов. – ИКАО, 2009. – 352 с.
9. Нормы годности к эксплуатации в СССР гражданских аэродромов (НГЭА СССР); изд. 3-е доп. – М.: Воздушный транспорт, 1992. – 130 с.
10. Правила аварійно-рятувального та протипожежного забезпечення польотів у цивільній авіації України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.kadrovik01.com.ua/regulations/1521/8202/8203/461940/>.
11. Прогноз развития воздушного транспорта до 2025 года. – ИКАО, 2007. – 64 с.

REFERENCES

1. Dovidkova informatsiia pro vzaiemovidnosyny Ukrainy z ICAO (Mizhnarodnoiu orhanizatsiieiu tsyvilnoi aviatsii). – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.avia.gov.ua/documents/Miznarodnadiyalnist/Zovnishnja%20dijalnist/24029.html>.
2. Etenn A. Aerodromnaya pozharaya okhrana / A. Etenn; per. s frants. V.I. Kolimeeva; pod red. M.N. Polosukhina. – [Yelektronnyy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://allrefs.net/c33/3gve8/?full>.
3. Dzhafarov M.A. Pozhamaya bezopasnost na aerodromakh. Obespechenie pozharной bezopasnosti na aerodromakh grazhdanskoy aviatsii / M.A. Dzhafarov. – M., 1987. – 206 s.
4. Karpov A.V. Aerodromnye pozharные avtomobili / A.V. Karpov. – M., 2010. – 120 s.
5. Rukovodstvo po aeroportovym sluzhbam. Ch.1. Spasanie i borba s pozharom. – ICAO, 1990. – 143 s.
6. Povitrianyi kodeks Ukrainy. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/ru/3167-12>.
7. Sertyfikatsiini vymohy do tsyvilnykh aerodromiv Ukrainy. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: http://avia.gov.ua/documents/airports/Aviation_Rules/Orders_SAA/23191.html.
8. Konventsiya o mezhdunarodnoy grazhdanskoy aviatsii. Prilozhenie 14. Tom I.

Proektirovanie i ekspluatatsiya aerodromov. – ІКАО, 2009. – 352 s.

9. Normy godnosti k ekspluatatsii v SSSR grazhdanskikh aerodromov (NGEA SSSR); izd. 3-e dop. – М.: Vozdushnyy transport, 1992. – 130 s.

10. Pravyla avariino-riativalnoho ta protypozhezhnoho zabezpechennia polotiv u

tsyvilnii aviatsii Ukrainy. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://zakon.kadrovik01.com.ua/regulations/1521/8202/8203/461940/>.

11. Prognoz razvitiya vozdushnogo transporta do 2025 goda. – ІКАО, 2007. – 64 s.

С. П. Мосов, д-р. воен. наук, проф., НАГУ при Президенте Украины

ОСОБЕННОСТИ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УРОВНЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ АЭРОДРОМОВ

В статье систематизированы знания по обеспечению противопожарной защиты аэродромов (аэропортов) Украины в современных условиях изменений парка самолетов гражданской авиации. Раскрыт вопрос установления и объявления для каждого аэродрома уровня необходимой пожарной защиты в зависимости от размеров воздушных судов, использующих данный аэродром. Определена совокупность действий владельца сертификата, которые он обязан осуществить при изменении количества противопожарных средств на

аэродроме и уровня необходимой пожарной защиты воздушных судов. Для обеспечения уровня необходимой пожарной защиты воздушных судов, установленного в соответствии с требованиями, исследованы вопросы обеспечения аэродромов (аэропортов) пожарными автомобилями, которые следует иметь для тушения пожаров на воздушных судах.

Ключевые слова: *противопожарная защита, пожарная безопасность, аэродром, воздушное судно.*

*S. Mosov, doctor of Military sciences, professor
NAPA under the President of Ukraine*

PECULIARITIES OF REQUIREMENTS FOR ENSURING THE LEVEL OF FIRE PROTECTION OF AIRFIELDS

The article systematizes knowledge on providing fire protection for Ukrainian airfields (airports) in modern conditions of changes in the fleet of civil aviation. The issue of establishing and declaring the level of necessary fire protection for each aerodrome, depending on the size of the aircrafts using this airfield, is disclosed. The set of actions of the owner of the certificate, which he is obliged to carry out when changing the number of firefighting means at the airfield and the level of necessary fire protection of aircraft is determined. To ensure the level of necessary fire protection of aircrafts, established in accordance with the requirements, the issues of providing airfields (airports) with fire trucks that should be used to extinguish fires on aircrafts are investigated.

It was established that the required level of fire protection is set and announced for each aerodrome depending on the size of aircraft that use this airport. To ensure fire protection of aircrafts established in accordance with the requirements, airports should also be provided with fire trucks for fighting fires on aircrafts.

In current conditions of active technical development of aviation and ensuring a high level of safety in aviation transport, the issues of ensuring fire safety of Ukrainian airfields (airports) of civil aviation are becoming more important. Presented systematization of knowledge in this direction allows us, in our opinion, to ascertain in general the features of requirements for the level of fire protection of airfields (airports) in modern conditions in order to find effective approaches for their further implementation.

Following directions of further researches related to providing reliable fire protection of airfields (airports) of civil aviation were determined: features of development of fires at the objects of airlines in modern conditions of operation of aircrafts; improvement of the system of teaching, methodical and practical training of fire and rescue units; improvement of interaction of fire and rescue units with local fire-rescue units etc.

Keywords: fire protection, fire safety, airfield, aircraft.

Н. Н. Налісько, канд. техн. наук, доц.,
Государственное высшее учебное заведение
«Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

ПАРАМЕТРЫ МАКРОКИНЕТИКИ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЧИСЛЕННОМ РАСЧЕТЕ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Цель. Установление эффективных параметров макрокинетики горения углеводородов в режиме дефлаграция и детонация для схемы численного счета аварийных взрывов в горных выработках. **Методы.** Математическое моделирование, численный эксперимент, анализ кинетики реакции взрывного горения, анализ и обобщение результатов. **Результаты.** В работе анализируются параметры кинетического уравнения по отношению к экспериментальным данным. Получение таких данных в физическом эксперименте для взрывных химических реакций встречает серьезные трудности. Это обусловлено размерами зоны реакции, не превышающими долей миллиметра, недостаточностью разрешения по времени экспериментальных методик и других факторов, приводящих к погрешностям в прямых измерениях и возникновении неединственности решений. Возможность получить данные позволяет совместное численное решение уравнений газодинамики и химической кинетики. В проведенном численном эксперименте установлены прямая связь макрокинетических характеристик химической реакции с параметрами разрывного течения реагирующего газового потока: скоростью, давлением во фронте и за фронтом детонационной и дефлаграционной волны. На основании этого получены Аррениусовские характеристики реакции – предэкспонент и эффективная энергия активации для рассматриваемых углеводородов. **Научная новизна.** Установлены макрокинетические параметры для моделирования одностадийного зажигания и горения наиболее вероятных углеводородов рудничной атмосферы в режиме дефлаграции и детонации. Проведено моделирование взрывного горения предварительно перемешанных углеводородов в стехиометрических концентрациях. Показано, что значения эффективной энергии активации в реакциях взрывного горения имеют меньшее значение в отличие от реакций стационарного горения из-за влияния газодинамических эффектов ударной волны на скорость реакции. Выполнено согласование Аррениусовских характеристик реакции – предэкспонент и эффективной энергии активации, по газодинамическим и кинетическим показателям протекания реакции взрывного горения. **Практическая значимость.** Полученные параметры макрокинетики реакции взрывного горения позволяют применять простые кинетические механизмы в практических расчетах процессов дефлаграционного и детонационного горения, и прогнозировать с достаточной степенью точности параметры аварийных взрывов в условиях горных выработок. Это также позволяет решить задачу учета тяжелых углеводородов в рудничной атмосфере, возникающих в результате пиролиза угля в процессе подземного пожара, как факторов увеличения риска аварийных взрывов.

Ключевые слова: газозвудушная смесь, аварийный взрыв, кинетика горения, глобальный механизм, параметры макрокинетики, эффективная энергия активации

Постановка проблемы. Взрывы угольного вещества в процессе эндогенного пожара и выделением в атмосферу тяжелых и непредельных углеводородов. Защита шахтной атмосферы в горных выработках являются наиболее тяжелыми видами аварий по разрушающей способности и воздействию на людей. Особенно опасным является возможность неоднократных взрывов при возникновении подземных пожаров. Это обусловлено пиролизом

угольного вещества в процессе эндогенного пожара и выделением в атмосферу тяжелых и непредельных углеводородов. Защита персонала и горноспасателей, ведущих аварийные работы, от ударных воздушных волн (УВВ) обеспечивается безопасным расстоянием и взрывозащитными сооружениями. Поэтому задача

достоверного расчета параметров ударных волн является актуальной с точки зрения безопасности людей и прогнозирования динамических нагрузок на взрывозащитные сооружения.

В настоящее время, для расчета параметров ударных воздушных волн, широко используется метод компьютерного моделирования движения потоков газов – CFD Methods, позволяющий рассчитывать параметры движения сверхзвуковых разрывных газовых потоков. Источником энергии начального импульса в таких газовых потоках чаще всего является скачек давления в некоторой области – модель мгновенного взрыва. Данная модель является упрощением дефлаграционных и детонационных процессов горения газозвуковых смесей. Начальное избыточное давление в модели задается на основе экспериментальных данных. Такой подход заложен в действующих нормативных документах по расчету УВВ. Значительное количество пострадавших горноспасателей за последние 10 лет, именно от повторных взрывов, свидетельствует в т.ч. и о неполном учете факторов формирования УВВ при аварийных взрывах. Более приближенным к реальности является применение в расчете моделей горения реагирующих газовых потоков.

Анализ последних исследований и публикаций. Работы в этом направлении проводились в СО РАН [1] и НИИГД «Респиратор» [2]. В первой работе процесс горения рассматривается как мгновенный скачек температуры в заданном объеме, по которой затем определяется давление газа:

$$T = T_0 + \frac{Q\rho_{CH_4}}{C_v\rho}, \quad P = n \cdot k \cdot T,$$

где Q – теплота сгорания метана, k – постоянная Больцмана.

По сути это модель мгновенного взрыва, которая также использовалась в работе [3]. В работе [2] горение представлено процессом тепловыделения в слое, распространяющемся по неподвижной метановоздушной среде:

$$Q_+ = Q \cdot \rho \cdot S \cdot U_{zop} \cdot g(x),$$

где U_{zop} – скорость распространения пламени; $g(x)$ – П-образная функция, признак наличия метана в конкретной точке расчетной схемы.

Подобный подход реализован в работе [4]. В ней для моделирования горения в численную схему вводится параметр f – непрерывный лагранжевый маркер, который отслеживает «исходные», «сгоревшие» и «горящие» расчетные ячейки. В «горящей» ячейке вычисляется тепловыделение по массе метана. Скорость смещения фронта горения определяется относительно изменения температуры:

$$U_B = U_{BNC} (T/T_{NC})^\beta,$$

где U_{BNC} – нормальная скорость распространения пламени в неподвижной смеси при н. у.; T, T_{NC} – текущая и начальная температуры; β – показатель степенной зависимости.

В работе [5] расчет аварийного взрыва рассматривался в рамках химической кинетики горения реагирующих газовых потоков. Скорость горения и соответственно скорость энергосыделения определялась с учетом закона действующих масс предварительно перемешанных смесей.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Одной из сложностей совместного решения газодинамической задачи течения газов и задачи кинетики горения реагирующих потоков, которая решается в работе [5], является выбор и установления параметров кинетического механизма горения. Существующие детальные кинетические механизмы, учитывающие многие сотни реакций, в основном используются для стационарных режимов горения. Точность этих моделей ухудшается при переходе к сложным газодинамическим задачам, когда необходимо объединять кинетику с быстрыми течениями среды (детонация, дефлаграция). В этих случаях как правило используют макрокинетический подход или вводят параметры «неклассической» кинетики характеризующие совместные процессы кинетики горения и газодинамики, например, обобщенную кинетическую характеристику \bar{P} [6]:

$$\bar{P} = -\beta \cdot \partial c / \partial t, \quad \beta = -\frac{(\gamma - 1)Q}{V},$$

где c – концентрация горючего, t – время, γ – показатель адиабаты, Q – тепловой эффект реакции, V – удельный объем.

В работе [5] макрокинетический подход используется на основе численного решения задачи методом крупных частиц. Однако, известные параметры уравнения закона действующих масс для брутто-реакций использовать в данной задаче невозможно из-за несовпадения условий для которых они были получены.

Формулировка целей статьи.

Установление эффективных параметров макрокинетики горения углеводородов в режиме дефлаграция и детонация для схемы численного счета аварийных взрывов в горных выработках.

Изложение основного материала.

Особенность реакций горения углеводородов в режиме детонации и дефлаграции, при движении газовых потоков в протяженных каналах, состоит в том, что скорость распространения фронта горения обусловлена не только цепно-тепловыми и концентрационными эффектами химических реакций, но и газодинамическими эффектами течения: турбулизацией потока, ударным сжатием, вызывающим очаговое воспламенение, т. е. возникновение горячих точек инициирования реакции в свежей смеси (приводит к возникновению ячеистого фронта детонационного горения) [7]. Данные эффекты невозможно учесть в детальных кинетических механизмах реакции (ДКМ), поэтому в подобных случаях используют глобальные механизмы.

В работах В. И. Бабушок, А. Н. Дакданча приводится систематизация макрокинетических параметров высокотемпературных газофазных реакций, и показано, что они являются аппроксимацией описания кинетики протекания сложных реакции. Ее экстраполяция на иной тип процесса могут привести к неверным результатам, т.е. брутто-стадии не независимые как элементарные. Численные значения параметров зависят от типа процесса,

начальных условий и брутто-схемы. Порядки реакций по отдельным компонентам могут не соответствовать стехиометрии уравнению. Для нахождения параметров макрокинетики конкретного процесса применяют три подхода. Задавшись видом кинетического уравнения, анализируют его параметры по отношению, в первом случае, к экспериментальным данным [8], во втором случае материалом для сравнительного анализа могут служить данные численных расчетов с ДКМ и в третьем случае – редуцирование ДКМ до глобальной схемы.

В данной работе используется первый подход. В этом случае решается обратная кинетическая задача, где параметры макрокинетики, обычно, получают косвенным путем: экспериментальные данные, согласно закона действующих масс, обрабатываются различными методами (интегральным, дифференциальным, методом периодов полупревращений, графическим дифференцированием кинетической кривой и др.). Однако, получение экспериментальных данных для взрывных химических реакций встречает серьезные трудности, обусловленными размерами зоны реакции, не превышающими долей миллиметра, недостаточностью разрешения по времени экспериментальных методик (субмикросекундное время реакции) и другими факторами, приводящими к погрешностям в прямых измерениях и возникновению неединственности решений. Как известно, достаточным условием существования единственности решения является возможность измерения концентраций всех компонентов в любой момент времени с любой точностью. Такую возможность позволяет получить совместное численное решение уравнений газодинамики и химической кинетики [5]. В результате, в численном эксперименте, возможно установление прямой связи макрокинетических характеристик химической реакции с параметрами разрывного течения реагирующего газового потока: скоростью, давлением во фронте и за фронтом детонационной или дефлаграционной волны, температурой газа.

Рассмотрим двумерное течение газа в горной выработке, которая в

математической постановке задачи представлена в виде цилиндрического канала в цилиндрических координатах z, r (z – ось вдоль выработки, r – радиус-вектор). Следуя обычным соглашениям о малосущественности вязкости, динамика течения реагирующего газового потока может быть представлена уравнениями Эйлера, в дивергентном виде, в цилиндрической симметрии (неразрывности и движения):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{W}) = 0, \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u \vec{W}) + \frac{\partial P}{\partial z} &= \tau_{mp} \Pi dz, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v \vec{W}) + \frac{\partial P}{\partial r} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где ρ – плотность; P – давление; \vec{W} – вектор скорости; τ_{mp} – напряжение поверхностных сил трения; S, Π – поперечное сечение и периметр выработки; t – время; u, v – компоненты скорости \vec{W} по оси z и r соответственно.

Диссипация энергии газового потока за счет потерь на трение о стенку канала определяется правой частью уравнения (2) и находится, согласно теории механики жидкости и газа, следующим образом:

$$\tau_{mp} = \frac{1}{8} c_f \rho u^2, \quad c_f = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}},$$

$$Re = \frac{\rho u D_{экр}}{\mu}, \quad D_{экр} = \frac{4S}{\Pi}$$

где c_f – коэффициент сопротивления; μ – коэффициент динамической вязкости газа; Re – число Рейнольдса; $D_{экр}$ – эквивалентный диаметр прямолинейного участка выработки.

Уравнение энергии имеет вид:

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho E \vec{W}) + \operatorname{div}(P \vec{W}) = q \Pi + q_x \rho \frac{\partial \alpha}{\partial t}, \quad (3)$$

где E – удельная полная энергия; q – плотность теплового потока в стенку канала; q_x – тепловой эффект химической реакции горения углеводородов; α – мольная доля углеводорода в шахтной атмосфере.

Баланс тепловой энергии в теплообмене со стенкой канала, представленный в правой части уравнения (3) членом $q \Pi$, учитывается граничными условиями III рода по теплопроводности:

$$q = \alpha_s (T_s - T),$$

где α_s – коэффициент теплообмена; T_s – температура стенки; T – средняя по сечению выработки температура газа:

$$\alpha_s = \frac{N_u \cdot \lambda_g}{D_{экр}}; \quad N_u = 0,22 Re^{0,5} Pr^{0,47} B, \quad Pr = \frac{\rho l}{\lambda_g},$$

где N_u – число Нуссельта, Pr – число Прандтля; λ_g – коэффициент теплопроводности газа стенки канала, B – поправочный коэффициент, учитывающий влияние шероховатости стенок на процесс теплообмена,

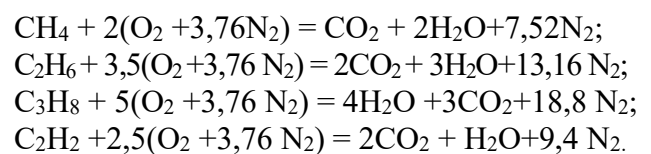
Для замыкания системы используется уравнение состояния для газа:

$$P = (\gamma - 1) \rho \cdot J, \quad (4)$$

которое по форме совпадает с уравнением состояния идеального газа, однако, в уравнении (4) показатель адиабаты γ , и, соответственно, теплоемкости c_p и c_v задаются как функции температуры как для воздуха, так и для смеси углеводород-воздух:

$$c_v(T), \quad c_p(T), \quad \gamma = \gamma(T) = c_p(T) / c_v(T).$$

Правая часть уравнения баланса энергии (3) включает член скорости притока тепла в процессе взрывного горения $q_x \cdot \rho \cdot \partial \alpha / \partial t$, который является функцией кинетики химической реакции. Кинетика рассчитывается по глобальному механизму. Для этого приняты следующие брутто-уравнения горения наиболее вероятных углеводородов (метан, этан, пропан, ацетилен) в воздухе:



Скорость реакции по i -ому компоненту $i=1, 2$ задается согласно закона действующих масс, в форме Аррениуса:

$$-\frac{dc_i}{dt} = Z \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) P c_i^{v_i}, \quad (5)$$

где Z , E_a , v_i – эффективные макрокинетические параметры: предэкспоненциальный множитель, энергия активации и порядок реакции по i -му компоненту.

$$Z = AT^\beta,$$

где A , β – коэффициенты температурной зависимости предэкспоненциального множителя.

В данном конкретном случае реакции для принятых углеводородов уравнение (5) по компоненту горючее имеет вид:

$$-\frac{dc_f}{dt} = Z \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) c_f^{v_f} \cdot c_o^{v_o}, \quad (6)$$

где v_f , v_o – эффективные значения показателя степени концентрации горючего и окислителя.

Таким образом, система уравнений (1)–(3) является замкнутой и полностью описывает среду при решении газодинамических задач. Решения системы уравнений производилось с использованием однородной схемы сквозного счёта. В качестве такой схемы был применен модифицированный метод крупных частиц [5].

Начальные условия для кинетики химической реакции. Из уравнения окисления метана следует, что скорость расходования кислорода в 2 раза больше скорости расходования метана:

$$-\frac{dc_1}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{dc_2}{dt} \quad (7)$$

Проинтегрировав по времени уравнение (7), получим $c_2 = 2c_1 + A$, где A – постоянная интегрирования, которую можно определить из начальных условий: $A = c_{2H} - 2c_{1H}$.

Индекс “ H ” указывает на начальные значения концентраций. В результате получим

$$c_2 = 2(c_1 - c_{1H}) + c_{2H} \Rightarrow c_2 = c_{2H} + 2(c_1 - c_{1H}). \quad (8)$$

Таким образом, зная зависимость изменения концентрации от времени $c_1(t)$, определяем по формуле (8) функцию $c_2(t)$.

Пусть в начальный момент времени $c_1 = c_{1H}$, поэтому $c_2 = c_{2H}$. При полном выгорании метана $c_1 = 0$, концентрация кислорода будет равна: $c_2 = c_{2H} - 2c_{1H}$.

При стехиометрическом составе $c_{2H} = 2c_{1H}$. Поэтому метан и кислород полностью выгорают одновременно $c_1=0$, $c_2=0$. Если, $c_{2H} > c_{1H}$, то $c_2 > 0$, т. е. наблюдается остаток O_2 . При $2c_{2H} < c_{1H}$ кислород выгорает раньше, а остаток метана равен:

$$c_1 = c_{1H} - \frac{c_{2H}}{2}.$$

Аналогичным образом определяем начальные условия для остальных углеводородов.

Численная схема реализации начальных условий. Уравнения химической кинетики решались численным методом совместно с уравнениями газовой динамики и уравнениями состояния. Разностный аналог уравнения (6) представлялся в следующем виде:

$$-\frac{[c_1]_{i,j}^{n+1} - [c_1]_{i,j}^n}{\Delta t} = k \cdot ([c_1]_{i,j}^n)^{v_1} \cdot ([c_2]_{i,j}^n)^{v_2},$$

где $k = Z \cdot \exp(-E_a/RT)$ – константа скорости химической реакции горения; i, j – целочисленные координаты расчетной ячейки (крупной частицы); n – номер временного слоя.

Из уравнений (6), (7) следует:

$$\begin{aligned} [c_1]_{i,j}^{n+1} &= [c_1]_{i,j}^n - \Delta t \cdot k \cdot ([c_1]_{i,j}^n)^{v_1} \cdot ([c_2]_{i,j}^n)^{v_2}, \\ [c_2]_{i,j}^{n+1} &= [c_2]_{i,j}^n + 2([c_1]_{i,j}^{n+1} - [c_1]_{i,j}^n). \end{aligned}$$

При расчете уравнения сохранения энергии в правую часть добавляется слагаемое:

$$\Delta t \cdot Q \cdot A \cdot \exp(-E_a/RT) \cdot ([c_1]_{i,j}^n)^{v_1} \cdot ([c_2]_{i,j}^n)^{v_2}$$

где Q – теплота сгорания метана в воздухе при стехиометрическом составе метан-кислород, Дж/кг.

Дифференциальные уравнения (1)–(3), (6) получены на основе общих законов газодинамики и физической химии, описывают целый класс быстрых химических реакций горения в потоке реакционноспособных газов. Установление параметров макрокинетики для конкретных горючих газов требует определение условий однозначности. В качестве таких условий прием выполнения согласования макрокинетических параметров численного расчета с термо- и газодинамическими параметрами процесса взрывного горения. Для согласования используем маркерные экспериментальные данные горения углеводородов в режиме дефлаграции и детонации в стехиометрии (табл. 1), т. е. искомые параметры макрокинетики должны обеспечивать протекания газофазных реакций в тестовых расчетах с маркерными газодинамическими параметрами. Данные параметры опубликованы в известных работах, например, [9].

В качестве начальных кинетических параметров горючих газов, для которым устанавливаются константы уравнения Аррениуса в процессах взрывного горения, используются данные работ по горению этих газов в ламинарном пламени, в факельном сжигании (табл. 2).

Термодинамический анализ процесса зажигания и горения, согласно закона действующих масс (рис. 1) показывает, что в общем случае снижение энергии активации или повышение количества активных соударений (значение предэкспоненты) ведет к снижению температуры зажигания, при этом ускорение реакции за счет цепного механизма теплового взрыва остается постоянным, о чем можно судить по углу наклона α асимптотических прямых (в пределах температур горения) графиков W_1 и W_2 . Последняя величина является очень важной, т. к. определяет одну из основных динамических характеристик взрыва – скорость нарастания давления (Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их пожаротушения. Справ.). Изменение ускорения реакции определяется показателем степени при концентрациях реагентов (графики W_1 и W_3). Такой же эффект вызывает одновременное изменение Z и E_a (графики W_2 и W_4). В первом случае это обусловлено концентрационным механизмом, во втором – цепно-тепловым.

Таблица 1 – Экспериментальные характеристики взрывного горения углеводородов

| | метан CH_4 | этан C_2H_6 | пропан C_3H_8 | ацетилен C_2H_2 |
|--|-----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| Температура самовоспламенения, К | 650 | 515 | 470 | 305 |
| Скорость детонации, м/с | 2390 | 2369 | 2357 | 2350 |
| Давление детонации, МПа | 2,9* | 3,4 | 3,6 | 4,5** |
| Скорость дефлаграционной волны, м/с | 54,3 | – | – | 49,7 |
| Давление волны дефлаграции, МПа | 0,3-1,4 | – | 1,8 | – |
| Температура зажигания тепловым сферическим источником, К | 1473 | – | 1223 | 1096 |

* – в плоскости ЧЖ; ** – в точке ЗНД

Таблица 2 – Эффективные кинетические параметры глобального механизма горения газов*

| Газ | Тип и характеристика процесса | Предэкспонент Z, c^{-1} | Энергия активации $E_a, кДж/моль$ | Порядок реакции топливо, ν_f / окислитель, ν_o | Стехиометрия, %об. |
|----------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|--------------------|
| CH_4 | пламя | $1,1 \cdot 10^6$ | 125,4 | – 0,3/1,3 | 9,5 |
| C_2H_6 | пламя | $9,2 \cdot 10^{11}$ | 125,4 | 0,1/1,65 | 5,5 |
| C_3H_8 | факел сопло | $8,6 \cdot 10^{11}$ | 125,4 | 0,1/1,65 | 4,03 |
| C_2H_2 | факел горелка | $6,5 \cdot 10^{12}$ | 125,4 | 0,5/1,25 | 7,75 |

* – Westbrook C.K., Dryer F.L. Simplified reaction mechanisms for the oxidation of hydrocarbon fuel in flames

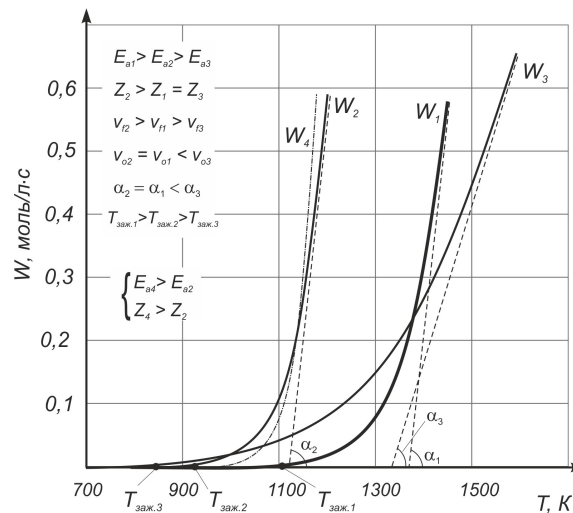


Рисунок 1 – Кинетические кривые зависимости скорости реакции W от температуры

Приведенные зависимости (рис. 1) являются ориентировочными, т. к. рассчитаны по квазистатическому процессу в стехиометрических значениях концентраций реагентов. Однако этот анализ позволяет оценить характер взаимосвязи между параметрами макрокинетики и газодинамики взрыва. Каждый кинетический параметр уравнения (6) характеризует один из механизмов теории горения: энергия активации обуславливает тепловой механизм развития реакции, предэкспонента – цепной, показатели степени – концентрационный механизм. Детально роль каждого механизма во влиянии на скорость взрывных газозажигательных реакций горения исследована в работах В. В. Азатяна [11, 12]. В них показано отличие в развитии взрывных реакций горения: с повышением температуры роль цепной лавины не уменьшается, а наоборот возрастает. В результате этого выяснено, что зависимость скорости реакций взрывного горения от температуры, представляет собой «экспоненту в экспоненте»:

$$\frac{W}{[B]_0} = k_p n_0 \left\{ \exp \int_{t_0}^t [f_0 \exp(-E_p / RT) - g] dt \right\}$$

где $[B]_0$ – начальная концентрация исходного реагента, f_0 , E_p – предэкспонента и энергия активации разветвления цепей, n_0 – концентрация радикалов в момент времени t_0 , после которого можно пренебречь реакцией исходных молекулярных компонентов между собой, k_p – эффективная константа скорости лимитирующей стадии разветвления.

Это подтверждает то, что реакции взрывного горения протекают с большей степенью нарастания скорости, т. е. ускорением, чем горения в ламинарных пламенах. В этом случае, применительно к классическому уравнению Аррениуса в глобальном механизме, энергия активации должна быть меньше, что моделирует более интенсивные процессы зарождения цепей. Следовательно, при разработке глобального механизма необходимо внести изменения в данный параметр и согласовать его с предэкспонентой и показателями степени по газодинамике и кинетике протекания реакции. Определение рациональных параметров макрокинетики выполнено по результатам численного эксперимента дефлаграционного и детонационного горения в следующих условиях. Модель участка горной выработки представлена в виде цилиндрического канала диаметром 0,2 м, длиной 1,5 м, края канала свободно открытые.

В начальных условиях центральная часть канала заполнена газозажигательной смесью в стехиометрической концентрации соответствующего углеводорода (табл. 2). Для уменьшения влияния эффектов отражения ударных волн в процессе эксперимента и создания плоского фронта ударной волны зажигание смеси производилось поперечным слоем горячего газа толщиной 0,01 м. Температура слоя подбиралась таким образом, чтобы получить стационарный режим дефлаграции и детонации. Слой располагался на контактной поверхности воздух-газовоздушная смесь.

В задаче принимались следующие приближения: концентрация взрывчатой газовой смеси равномерно распределена по объему загазированной участка, граничные условия по теплопроводности в стенку канала – условия третьего рода с постоянным коэффициентом теплообмена газового потока со стенкой $50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ и теплопроводностью стенки (аргиллит) $2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, шероховатость стенки канала соответствует установленной крепи типа СВП-19 с шагом установки $1,0 \text{ м}$. В численном эксперименте рациональные макрокинетические параметры определялись методом последовательных приближений.

Результаты расчета. На рис. 2 показана динамика профиля давления и концентрации газа (на примере метана) в процессе зажигания и горения газовой смеси в режиме дефлаграции и детонации полученная в численном эксперименте.

Первый режим возникает при температуре источника зажигания 1200 К и энергии источника зажигания 460 Дж , второй режим – при 1900 К и энергии источника 730 Дж . Установленные значения E_a , Z , v_1 , v_2 (табл. 3) дают следующие показатели горения: в режиме дефлаграции давление в точке ЧЖ – $0,8 \text{ МПа}$ (рис. 3а), в режиме детонации амплитуда волны (точка ЗНД) составила $3,2 \text{ МПа}$, что удовлетворительно совпадает с экспериментальными значениями параметров и хорошо с расчетными [9].

На графиках рис. 2 пунктирной линией показан профиль давления для параметров макрокинетики горения метана в пламени (табл. 2). Как видим, форма профиля графика ближе к акустической волне, амплитуда волны занижена в $2,5\text{--}3$ раза, что дает погрешности в определении параметров взрыва. Температура самовоспламенения определялась в численном эксперименте путем установления заданной начальной температуры во всем объеме газовой смеси. Таким образом моделируется равномерный прогрев реакционных газов. Полученная температура начала реакции окисления соответствовала $620 \text{ }^\circ\text{C}$, погрешность с экспериментальными данными $4,8 \%$. Данные по температуре зажигания смеси тепловым источником получены из численного эксперимента, где

сферический тепловой источник моделировался в виде цилиндра с размерами высоты и диаметра близкими по значению. Численный эксперимент показал устойчивое зажигание 9% -й метановоздушной смеси при температуре источника $1590 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, расхождение численного расчета с экспериментальными значениями не превышает 8% .

На следующем этапе обоснования эффективных параметров макрокинетики горения углеводородов в режиме дефлаграции и детонации был проведен кинетический анализ реакции [13]. Для этого решалась обратная задача методом определения константы скорости реакции и энергии активации по экспериментальным данным, полученным в численном эксперименте. В работе рассматривается глобальный механизм реакции который является формальной кинетикой, поэтому его можно рассматривать как элементарную реакцию и соответственно к нему возможно применение данного метода. Оценка кинетических параметров реакции проводилась по данным эксперимента, которые регистрировались в установившемся режиме в зоне горения. В режиме детонации эта зона совпадает с детонационным, а в режиме дефлаграции находилась за фронтом ударной волны (рис. 2). Рассмотрим анализ на примере реакции горения метана.

Кинетические кривые, построенные по данным эксперимента дефлаграционного горения метана, имеют форму, близкую к экспоненциальной (рис. 3), что отражает цепно-тепловой механизм реакции и соответствует теории горения.

Согласно экспериментальных данных (табл. 2) суммарный порядок реакции метана равен единице. В этом случае дифференциальное уравнение скорости реакции для первого порядка $W = W(C, T)$ имеет вид:

$$-\frac{dC}{d\tau} = kC, \quad (9)$$

где $k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$ – константа скорости химической реакции.

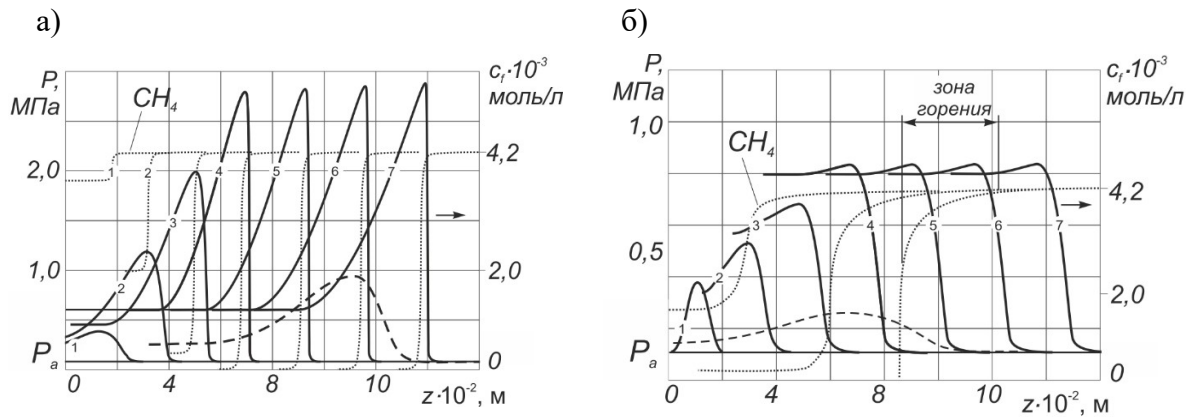


Рисунок 2 – Динамика профіля тиску P і концентрації метану c_f в процесі зажигання і горіння газоздушної суміші в режимі дефлаграції (а) і детонації (б), вздовж осі z , для параметрів макрокінетики взривного (сплошная лінія) і ламінарного горіння (пунктир)

Таблиця 3 – Ефективні параметри макрокінетики реакцій горіння в режимі дефлаграції і детонації в протяженому каналі

| Газ | Z, c^{-1} | $E_a, \text{кДж/моль}$ | ν_f | ν_o |
|----------|---------------------|------------------------|---------|---------|
| CH_4 | $1,3 \cdot 10^6$ | 115,0 | -0,3 | 1,3 |
| C_2H_6 | $9,7 \cdot 10^{11}$ | 110,7 | 0,1 | 1,65 |
| C_3H_8 | $9,1 \cdot 10^{11}$ | 104,5 | 0,1 | 1,65 |
| C_2H_2 | $5,2 \cdot 10^{12}$ | 98,3 | 0,5 | 1,25 |

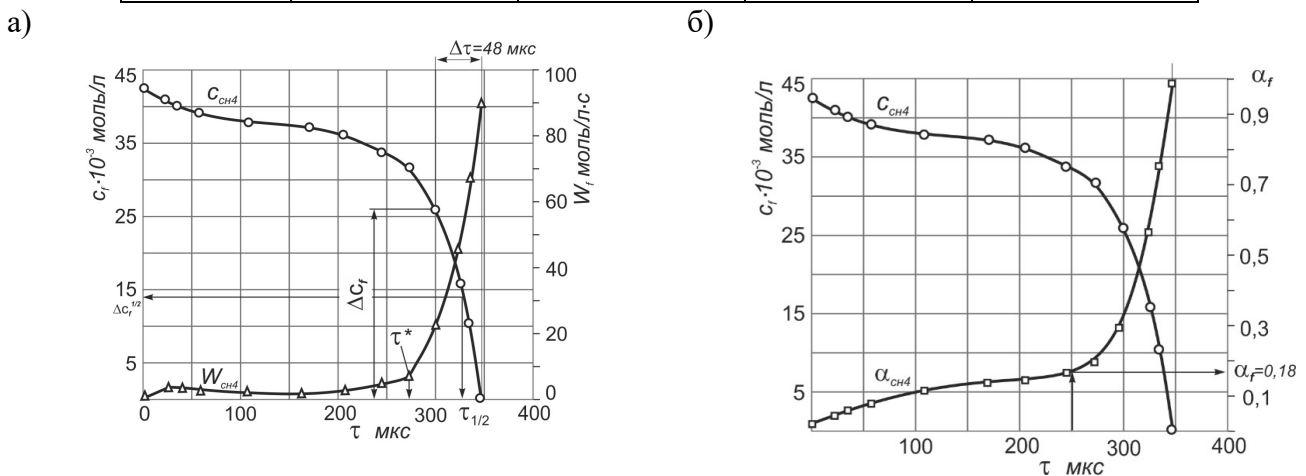


Рисунок 3 – Кінетическіє кривіє змінення концентрації метану c_f (\circ), швидкості горіння W_f (Δ) і доли метану, вступившого в реакцію α_f (\square) від часу протікання реакції τ

Исходя из теории кинетики химических реакций, из уравнения (9) можно получить интегральное выражение константы скорости реакции:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \left(\frac{C_0}{C} \right),$$

где C_0 , C – начальная и текущая концентрация реагента.

Определение константы скорости произведем графическим способом. Для

этого константу реакции представим в следующем виде:

$$k\tau = \ln C_0 - \ln C \Rightarrow \ln C = \ln C_0 - k\tau.$$

Необходимо построить график в координатах $\ln(C) - \tau$, и в случае его линеаризации по углу наклона прямой можно найти константу скорости $\text{tg}\alpha = -k$. Построив данный график для нескольких значений $T = \text{const}$, графически также определим энергию активации из

следующих соображений. Прологарифмируем уравнение константы химической реакции:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \Rightarrow \ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T}.$$

График в координатах $\ln(k) - 1/T$ позволяет получить энергию активации $tg\alpha = E_a / R$.

Однако, нахождение функции $\ln(C) - \tau$ при $T = const$, невозможно, т. к. реакция горения протекает с интенсивным выделением тепла, что и определяет её самоускорение. Но если обратиться к графику скорости реакции (рис. 4а) то видно, что на кинетической кривой можно выделить два участка: с низкой и высокой скоростью. Поскольку скорость реакции определяется температурой, то соответственно в общем процессе можно выделить две фазы горения, низко- и высокотемпературную фазы с квазистационарной температурой. В качестве последней можно принять средневзвешенное её значение в каждой

фазе. Такой подход применялся в работе [8], где в кинетике описания многостадийности окисления углеводородов выделялись низко- и высокотемпературные области реакции, для которых независимо определяли кинетические параметры. Точкой раздела областей являлась некоторая температура переключения. В нашем случае такой точкой является температура 1007 К, которая фиксируется на $\tau^*=273$ мкс реакции, при средневзвешенных температурах в двух фазах: 983 и 1316 К (рис. 3). Построенные графики функции $\ln(C) - \tau$ для этих фаз для моментов времени 0-273 мкс и 273-348 мкс (рис. 4) очень близки к линейной функции, поэтому их можно аппроксимировать прямой. Аппроксимация в данном случае удовлетворительная и имеет коэффициент детерминации 0,94 и 0,95, что вполне допускается по дисперсии случайной ошибки расчета. Эта ошибка возникает из-за относительно грубой сетки графиков, по которой ведется отсчет параметров в численном эксперименте.

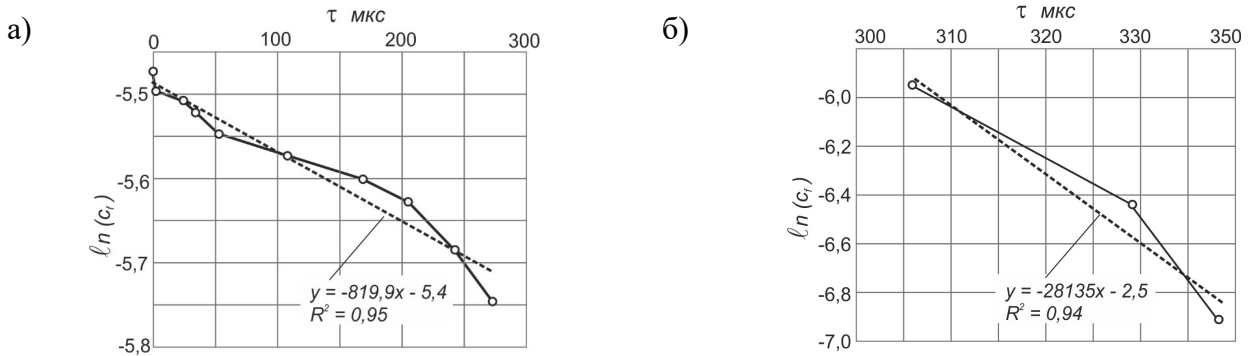


Рисунок 4 – Функции логарифма концентрации метана $\ln(C_f)$ во времени τ в низко- (а) и высокотемпературной (б) фазе реакции взрывного горения

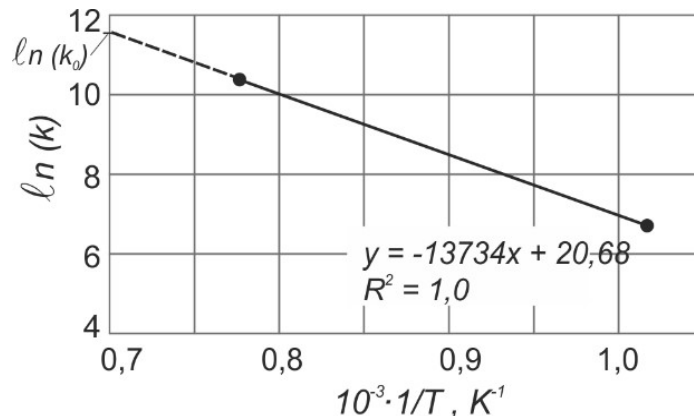


Рисунок 5 – Экспериментальная зависимость логарифма константа скорости реакции $\ln(k)$ от обратной температуры $1/T$ реакции

Таким образом, по уравнениям аппроксимации зависимости $\ln(C) - \tau$ получены два значения констант скорости химической реакции 819,9 и 28135 при температурах 983 и 1316 К, что дает возможность построить график функции $\ln(k) - 1/T$ (рис. 5).

Уравнения прямой экспериментальной зависимости $\ln(k) - 1/T$ позволяет определить энергию активации процесса взрывного горения для метана:

$$E_a = -tg \alpha \cdot R = 13734 \cdot 8,31 = 114,1 \text{ кДж/моль.}$$

Поэтому же графику $\ln(k) - 1/T$ определим значение предэкспоненциального множителя уравнения Аррениуса. Это значение отсекается на оси ординат линией графика (рис. 5):

$$\ln(k_0) = 11,7 \Rightarrow k_0 = 1,21 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}.$$

Полученные значения E_a и k_0 с допустимой точностью совпадают со значениями, установленными в ходе эксперимента (табл. 3). Относительная погрешность по E_a составила 2,5 %, по k_0 – 7,4 %.

Далее оценим соответствие времени полупревращения $\tau_{1/2}$ и степени превращения

реагента α кинетике реакции первого порядка. В этом случае:

$$\tau_{1/2} = \ln 2 / k; \quad \alpha = 1 - e^{-k\tau},$$

Оценку времени полупревращения метана выполним по высокотемпературной фазе реакции, а степень превращения реагента по низкотемпературной на момент времени 250 мкс:

$$\tau_{1/2} = 0,693 / 28135 = 24 \text{ мкс};$$

$$\alpha = 1 - \exp(-820 \cdot 250 \cdot 10^{-6}) = 0,18.$$

Полученные результаты по периоду полупревращения совпадают с центром кинетической кривой второй фазы реакции (рис. 3а), а степень превращения метана в первой фазе соответствует расчетной $\alpha = 0,18$ (рис. 3б).

Таким образом, кинетические характеристики реакции взрывного горения соответствуют принятому порядку реакции и установленным эффективным значениям E_a и Z .

На рис. 6 приведены кинетические кривые зависимости скорости реакции от температуры построенные по установленным эффективным параметрам макрокинетики взрывного горения.

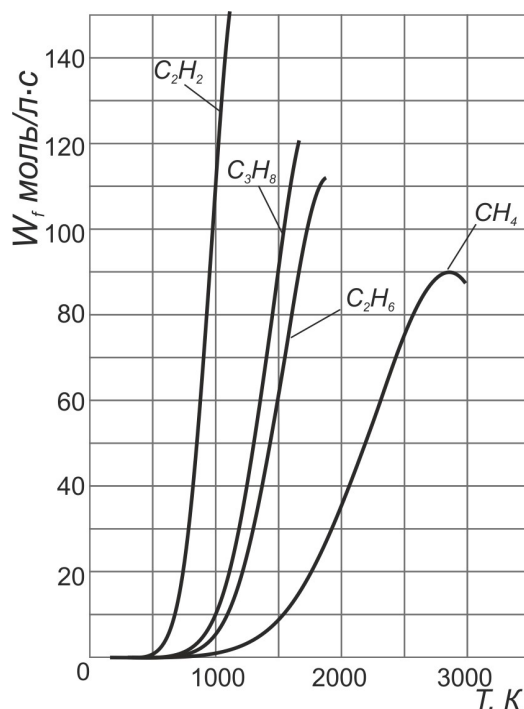


Рисунок 6 – Кинетические кривые зависимости скорости реакции W от температуры T , в численном эксперименте с использованием установленных параметров макрокинетики

Из графика видна четкая дифференциация характеристик углеводородов по температуре зажигания и скорости нарастания реакции, что соответствует градации взрывопожароопасных свойств рассматриваемых газов: минимальная энергия инициирования детонации у ацетилена, максимальная – у метана [14]. Кинетические данные, полученные для процессов стационарного горения (табл. 1), имеют идентичные значения энергии активации и не дают подобных эффектов, т.к. динамика обычного горения, для которого были установлены данные величины, практически одинакова. Установленные значения E_a , в отличие от процесса стационарного горения, получаются более низкими из-за влияния на скорость процессов горения газодинамических эффектов от действия ударных волн.

Выводы. Полученные параметры макрокинетики глобального механизма реакции взрывного горения, для рассматриваемых углеводородов, согласованы по газодинамическим и кинетическим характеристикам. Они позволяют применять простые кинетические механизмы в практических расчетах процессов дефлаграционного и детонационного горения, и прогнозировать с достаточной степенью точности параметры аварийных взрывов в условиях горных выработок. Это также позволяет решить задачу учета наличия тяжелых углеводородов в рудничной атмосфере как продуктов пиролиза угля при подземных пожарах как факторов увеличения риска аварийных взрывов.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты / И.М. Васенин, Э.Р. Шрагер, А.Ю. Крайнов, Д.Ю. [и др.] // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т.3, № 2. С. 155-163.
2. Компьютерное моделирование развития, распространения и локализации взрывов метановоздушных смесей в горных выработках / В.Г. Агеев, С.П. Греков, И.Н. Зинченко, Т.Г. Салахутдинов // Вісник Харківського національного університету. 2013. №1058. С. 5-12.
3. Скоб Ю.А., Угрюмов М.Л. Численное моделирование детонации в газовых смесях // Вісник Харківського національного університету. 2013. № 1058. С 149-157.
4. Поландов Ю.Х., Бабанков В.А. Влияние места расположения источника воспламенения в помещении на развитие взрыва газа // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 3. С. 68-74.
5. Чернай А.В., Налисько Н.Н., Деревянко А.С. Кинетика окисления метана кислородом и его роль в формировании взрывной воздушной волны в шахтных выработках // Науковий вісник НГУ. 2016. Вип. 1(151). С. 63-69.
6. Ершов А.П. О макрокинетики быстрых реакций // Физика горения и взрыва. 2010. № 6. С. 49-59.
7. Агафонов Г.Л., Тереза А.М. Воспламенение пропана в ударных волнах //Химическая физика. 2015. Т. 34, №2. С. 49-60.
8. Басевич В.Я., Фролов С.М. Глобальные кинетические механизмы, разработанные для моделирования многостадийного самовоспламенения углеводородов в реагирующих течениях // Химическая физика. 2006. № 6. С. 54-62.
9. Васильев А.А. Детонационные свойства предельных углеводородов // Физика горения и взрыва. 2009. № 6. С. 82-90.
10. Васильев А.А., Васильев В.А. Расчетные и экспериментальные параметры горения и детонации смесей на основе метана и угольной пыли //Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 2. С. 8-39.
11. Азатян В.В. Роль химического механизма в температурной зависимости скорости реакций горения газов // Кинетика и катализ. 2015. Т. 56, № 1. С. 3-14.
12. Азатян В.В. Особенности температурной зависимости скорости реакций горения газов // Журнал физической химии. 2013. Т. 87. № 8. С. 1295-1299.
13. Kovalenko, I.L. (2015), Influence of nitrogen dioxide on the thermal decomposition of ammonium nitrate, *Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi*, no. 2 (46), pp. 160–164. DOI: 10.15276/opu.2.46.2015.28.
14. Оценки условий возбуждения и гашения взрывных волн при шахтных взрывах / А.А. Васильев, А.В. Пинаев, П.А. Фомин, [и др.] //Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 2. С. 91-105.

REFERENCES

1. Vasenin, I.M., Shrager, E.R., Kraynov, A.Y. and Paleev, D.Y. (2011), "The mathematical modelling of nonsteady ventilation processes of coal mine working net", *Computer researches and modelling*, vol. 3, no 2. pp. 155-163.
2. Ageev, V.G., Grekov, S.P., Zinchenko, I.N. and Salahutdinov, T.G. (2013), "Computer simulation development, spread and localization of explosions of methane-air mixtures in mines", *The Journal of V.N.Karazin Kharkiv National University*, no. 1058, pp. 5-12.
3. Skob, Yu.A. (2013), "Numerical modeling of detonation in gas mixtures", *The Journal of V.N.Karazin Kharkiv National University*, no. 1058, pp. 149-157.
4. Polandov, Yu.H. and Babankov, V.A. (2014), "The effect of the location of the source of ignition in the premises for the development of gas explosion", *Fire and Explosion Safety*, no. 3, pp. 68-74.
5. Chernay, A.V., Nalisko, N.N. and Derevyanko, A.S. (2016), "The kinetics of the methane acidification by the oxygen and its role in the blast air wave formation in mine workings", *Scientific Bulletin of National Mining University Scientific and technical journal*, no. 1(151), pp. 63-69.
6. Ershov, A.P. (2010), "About macrokinetics fast reactions", *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, no. 6, pp. 49-59.
7. Agafonov, G.L. and Tereza, A.M. (2015), "Propane ignition in shock waves", *Russian Journal of Physical Chemistry B*, vol. 34, no. 2, pp. 49-60.
8. Basevich, V.Ya. and Frolov, S.M. (2006), "Global kinetic mechanisms developed to simulate multi-stage autoignition of hydrocarbons in reactive flows", *Russian Journal of Physical Chemistry B*, no. 6, pp. 54-62.
9. Vasilev, A.A. (2009), "Detonation properties of saturated hydrocarbons", *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, no. 6, pp. 82-90.
10. Vasilev, A.A. and Vasilev, V.A. (2016), "Calculated and experimental parameters of combustion and detonation of mixtures based on methane and coal dust", *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyishlennosti*, no. 2, pp. 8-32.
11. Azatyan, V.V. (2015), "The role of the chemical mechanism in the temperature dependence of the rate of combustion reactions of gases", *Kinetics and Catalysis*, vol. 56, no. 1, pp. 3-14.
12. Azatyan, V.V. (2013), "Features of the temperature dependence for the rates of gas-phase reactions of combustion", *Russian Journal of Physical Chemistry A: Focus on Chemistry*, vol. 87, no. 8, pp. 1295-1299.
13. Kovalenko, I.L. (2015), "Influence of nitrogen dioxide on the thermal decomposition of ammonium nitrate", *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*, no. 2 (46), pp. 160-164. DOI: 10.15276/opu.2.46.2015.28.
14. Vasilev, A.A., Pinaev, A.V., Fomin, P.A. in al. (2016), "Estimates of the conditions for excitation and quenching of blast waves during mine explosions", *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyishlennosti*, no. 2, pp. 91-105.

Налисько М. М., канд. техн. наук, доц.,

Державний вищий навчальний заклад

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

ПАРАМЕТРИ МАКРОКІНЕТИКИ ГОРІННЯ ВУГЛЕВОДНІВ У ЧИСЛЕННОМУ РОЗРАХУНКУ АВАРІЙНИХ ВИБУХІВ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

Мета. Встановлення ефективних параметрів макрокінетики горіння вуглеводнів в режимі дефлаграція і детонація для схеми чисельного рахунку аварійних вибухів в гірських виробках.

Методи. Математичне моделювання, чисельний експеримент, аналіз кінетики реакції вибухового горіння, аналіз і узагальнення і результатів. **Результати.** В роботі аналізуються параметри кінетичного рівняння по відношенню до експериментальних даних. Отримання таких даних у фізичному експерименті для

вибухових хімічних реакцій зустрічає серйозні труднощі. Це обумовлено розмірами зони реакції, які не перевищують часток міліметра, недостатньою можливістю за часом експериментальних методк та інших факторів, що призводять до похибок в прямих вимірах і виникненні неєдиного рішення. Можливість отримання даних дає спільне чисельне рішення рівнянь газодинаміки і хімічної кінетики. У проведеному чисельному експерименті встановлено прямий зв'язок макрокінетическіх характеристик хімічної

реакції з параметрами розривної течії газового потоку, у якій протікає хімічна реакція горіння: швидкістю, тиском у фронті і за фронтом детонаційної і дефлаграційної хвилі. На підставі цього отримані арреніусовські характеристики реакції – предекспонента та ефективна енергія активації для розглянутих вуглеводнів. **Наукова новизна.** Встановлені макрокінетичні параметри для моделювання одностадійного запалювання і горіння найбільш ймовірних вуглеводнів рудникової атмосфери в режимі дефлаграції і детонації. Проведено моделювання вибухового горіння попередньо перемішаних вуглеводнів в стехіометричних концентраціях. Показано, що значення ефективної енергії активації в реакціях вибухового горіння мають менше значення на відміну від реакцій стаціонарного горіння через вплив газодинамічних ефектів ударної хвилі на швидкість реакції. Виконано узгодження

арреніусовських характеристик реакції – предекспоненти та ефективної енергії активації, за газодинамічними і кінетичним показникам протікання реакції вибухового горіння. **Практична значимість.** Отримані параметри макрокінетики реакції вибухового горіння дозволяють застосовувати прості кінетичні механізми в практичних розрахунках процесів дефлаграційного і детонаційного горіння, і прогнозувати з достатнім ступенем точності параметри аварійних вибухів в умовах гірничих виробок. Це також дозволяє вирішити задачу обліку наявності важких вуглеводнів в рудничній атмосфері як продуктів піролізу вугілля при підземних пожежах як факторів збільшення ризику аварійних вибухів.

Ключові слова: газоповітряна суміш, аварійний вибух, кінетика горіння, глобальний механізм, параметри макрокінетики, ефективна енергія активації

Nalisko N.N., Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture»

THE MACROKINETICS PARAMETERS OF THE HYDROCARBONS COMBUSTION IN THE NUMERICAL CALCULATION OF ACCIDENTAL EXPLOSIONS IN MINES

Purpose. Obtaining effective parameters of the macrokinetics of combustion of hydrocarbons in the deflagration and detonation regime for the numerical calculation of emergency explosions in mine workings. **Methodology.** Mathematical modeling, numerical experiment, kinetics analysis of explosive combustion reaction, analysis and synthesis and results. **Findings.** The paper analyzes the parameters of the kinetic equation against experimental data. Obtaining such data in a physical experiment for explosive chemical reactions meets serious difficulties. This is due to the size of the reaction zone not exceeding fractions of a millimeter, the lack of time resolution of experimental techniques and other factors leading to errors in direct measurements and the emergence of multiple solutions. This possibility makes it possible to obtain a simultaneous numerical solution of the equations of gas dynamics and chemical kinetics. In the numerical experiment, a direct relationship between the macrokinetic characteristics of the chemical reaction and the parameters of the discontinuous flow of the reacting gas stream is established: velocity, pressure in the front and behind the front of the detonation and deflagration wave. Based on this, Arrhenius characteristics of the reaction-pre-exponential and effective activation energy for the hydrocarbons under consideration. **Originality.**

Macrokinetic parameters are established for simulating one-stage ignition and burning of the most probable hydrocarbons of the mine atmosphere in the deflagration and detonation regime. Modeling of explosive combustion of premixed hydrocarbons in stoichiometric concentrations. It is shown that the values of the effective activation energy in explosive combustion reactions are of less importance in contrast to steady-state combustion reactions because of the effect of the gas-dynamical effects of the shock wave on the reaction rate. **Practical implementation.** The obtained parameters of the macrokinetics of the explosive combustion reaction make it possible to apply simple kinetic mechanisms in practical calculations of the processes of deflagration and detonation combustion, and to predict with sufficient accuracy the parameters of emergency explosions in conditions of mine workings. This also makes it possible to solve the problem of accounting for the presence of heavy hydrocarbons in the mine atmosphere as products of coal pyrolysis in underground fires as factors of increasing the risk of emergency explosions.

Key words: gas-air mixture, emergency explosion, combustion kinetics, global mechanism, macrokinetic parameters, effective activation energy

УДК 614.841.332

*О. М. Нуязін, канд. техн. наук, С. В. Поздєєв, д-р. техн. наук, проф.,
С. О. Сідней, канд. техн. наук, М. А. Кришталь, канд. психол. наук, проф.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСІЇ ТЕМПЕРАТУР ПО ОБІГРІВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ НЕСУЧИХ СТІН НА ЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОЇ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ

Метою даної статті було визначення залежності значень межі вогнестійкості несучих стін від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях як наукового підґрунтя для підвищення ефективності оцінювання результатів вогневих випробувань. У даній роботі було розв'язано задачу міцності для визначення несучої здатності залізобетонної стіни в умовах пожежі. Під час роботи застосовано обчислювальні експерименти з використанням CFD програм і методу кінцевих елементів.

У результаті досліджень було одержано залежність розрахункових значень межі вогнестійкості залізобетонної стіни від значення максимальної дисперсії температур на обігрівальній поверхні конструкції під час вогневих випробувань та похибки визначення межі вогнестійкості, а також сформульовано рекомендації щодо створення нових і вдосконалення існуючих камер печей установок із випробувань на вогнестійкість вертикальних залізобетонних будівельних конструкцій для досягнення більшої рівномірності температурного поля по поверхні вертикальних залізобетонних конструкцій, як наслідок – зменшення похибки вогневих випробувань.

***Ключові слова:** обчислювальний експеримент, дисперсія температури, несуча стіна, значення межі вогнестійкості.*

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

Для визначення меж вогнестійкості найбільш поширеним є метод випробувань у спеціальних вогневих випробувальних печах. Проте, вогневі випробування та параметри сучасних випробувальних установок далекі від досконалості, оскільки існують похибки, внаслідок того, що управління паливною системою та конфігурація вогневих печей не забезпечують повну відповідність умов проведення експерименту вимогам стандартів у даній галузі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У попередній роботі [1] було

розв'язано теплотехнічну задачу щодо визначення нерівномірності температурного розподілу у внутрішніх шарах залізобетонної несучої стіни при випробуваннях на вогнестійкість у спеціальних вогневих установках. Результати розрахунків використано як вхідні дані для розв'язку задачі міцності.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Дослідженням процесу випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій займалися і займаються багато вчених. Відповідно до праць дослідників для визначення фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш надійнішим і достовірним метод вогневих випробувань у спеціальних вогневих печах.

У роботах дослідників недостатньо уваги було приділено впливу на значення межі вогнестійкості несучих стін дисперсії температур по їх обігрівальній поверхні, тому розв'язання цієї задачі є актуальним і сприятиме підвищенню ефективності

випробувань з оцінювання вогнестійкості несучих стін.

Постановка задачі та її розв'язання.

Основною метою даної статті є вирішення задачі міцності щодо визначення несучої здатності залізобетонної стіни в умовах пожежі і, як результат, визначення залежності значень межі вогнестійкості

несучих стін від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях як наукового підґрунтя для підвищення ефективності оцінювання результатів таких випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

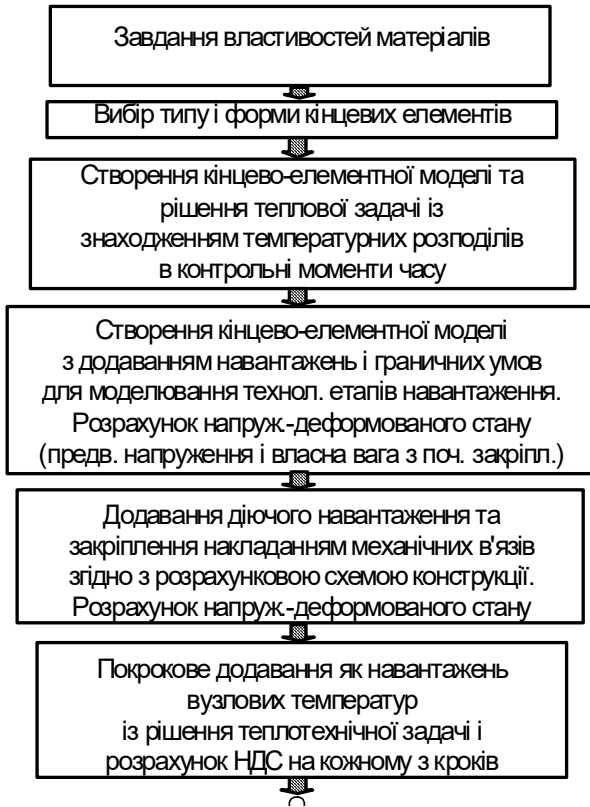


Рисунок 1 – Структурна схема розрахункових процедур



Рисунок 2 – Структурна схема визначення межі вогнестійкості за розрахованими параметрами.

Використовуючи підхід, наведений на рис. 1. та рис. 2, була поставлена задача міцності. Дана задача була поставлена при врахуванні таких положень.

1. Для розрахунку використовується система рівнянь НДС твердого тіла.

2. Властивості матеріалу залежать від поточної деформації і температури нелінійно, а також допускаються великі деформації елементів конструкцій, що співставляються з їх розмірами.

3. Для визначення температурного впливу використовуються температурні розподіли, що є результатами попередньо вирішеної теплотехнічної задачі для стандартної температурної кривої пожежі.

4. Система рівнянь вирішується чисельно, методом кінцевих елементів у комбінації з методом Ньютона – Рафсона, шляхом покрокового додавання діючого механічного навантаження на початковому етапі і покрокового додавання температурних навантажень на заключному етапі з інтервалом 1 хв.

5. Для моделювання НДС залізобетону при пожежі використовуються повні діаграми деформування для бетону та арматури зі спадаючої гілкою.

6. Робота пошкодженого елемента і умови його пошкодження визначається відповідною теорією міцності бетону.

7. Критерієм глобального руйнування елемента залізобетонної будівельної конструкції є:

- поява незбіжності обчислювального процесу через порушення геометричної незмінюваності системи;
- досягнення критичних пластичних деформацій в кінцевих елементах моделі;
- досягнення критичних величин глобальних переміщень точок елементів залізобетонних будівельних конструкцій.
- досягнення критичних величин швидкості наростання глобальних переміщень точок елементів залізобетонних будівельних конструкцій

Базові математичні моделі, що були використані при розв'язку задачі міцності наведені у табл. 1.

Згідно із прийнятою розрахунковою схемою [1] стіна виготовлена з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу C30/35 (B30). Арматурний каркас виготовлений з арматурної сталі класу міцності A500C. Згідно з даними вимогами міцнісні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 2.

Для врахування зниження міцності бетону під час його нагрівання початкова міцність помножитья на коефіцієнт зниження міцності [2]:

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

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

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

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

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

ε_c – відносна деформація бетону,
 $\varepsilon_{c1,T}$ – відносна деформація, до якої діаграма деформування зростає,
 $\varepsilon_{cul,T}$ – гранична відносна деформація.
 Дані параметри можна визначити за табл. 3 [2].

Таблиця 1 – Основні розрахункові математичні моделі напружено-деформованого стану залізобетону (НДС)

| Особливість поведінки залізобетону | Використовувана математична модель |
|---|--|
| Базові рівняння НДС | Розв'язання рівняння методу кінцевих елементів (МКЕ) |
| Пластична деформація сталі | Багатошарова модель Беселінга асоціативної теорії пластичності |
| Фізична й геометрична нелінійність поведінки залізобетону | Ітеративний метод Ньютона – Рафсона |
| Критерій руйнування бетону | Складений критерій Віллема й Варнке |
| Теплофізичні та механічні властивості бетону й арматурної сталі | Згідно із стандартом [2] |

Таблиця 2 – Міцнісні властивості бетону та арматурної сталі

| Матеріал | Клас міцності | Позначення | Нормативна міцність, МПа |
|-----------------|---------------|------------|--------------------------|
| Бетон | C 30/35 | $f_{ck,t}$ | 30 |
| Арматурна сталь | A500C | $f_{yk,t}$ | 500 |

Таблиця 3 – Значення типових параметрів діаграми «напруження – деформація» для звичайного бетону на силікатному та карбонатному заповнювачі при підвищених температурах

| Температура бетону, θ , °C | Силікатний заповнювач | | | Карбонатний заповнювач | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | $k_{c,t}(\theta)$ | $\varepsilon_{c1,\theta}$ | $\varepsilon_{cu1,\theta}$ | $k_{c,t}(\theta)$ | $\varepsilon_{c1,\theta}$ | $\varepsilon_{cu1,\theta}$ |
| 20 | 1,00 | 0,0025 | 0,0200 | 1,00 | 0,0025 | 0,0200 |
| 100 | 1,00 | 0,0040 | 0,0225 | 1,00 | 0,0040 | 0,0225 |
| 200 | 0,95 | 0,0055 | 0,0250 | 0,97 | 0,0055 | 0,0250 |
| 300 | 0,85 | 0,0070 | 0,0275 | 0,91 | 0,0070 | 0,0275 |
| 400 | 0,75 | 0,0100 | 0,0300 | 0,85 | 0,0100 | 0,0300 |
| 500 | 0,60 | 0,0150 | 0,0325 | 0,74 | 0,0150 | 0,0325 |
| 600 | 0,45 | 0,0250 | 0,0350 | 0,60 | 0,0250 | 0,0350 |
| 700 | 0,30 | 0,0250 | 0,0375 | 0,43 | 0,0250 | 0,0375 |
| 800 | 0,15 | 0,0250 | 0,0400 | 0,27 | 0,0250 | 0,0400 |
| 900 | 0,08 | 0,0250 | 0,0425 | 0,15 | 0,0250 | 0,0425 |
| 1000 | 0,04 | 0,0250 | 0,0450 | 0,06 | 0,0250 | 0,0450 |
| 1100 | 0,01 | 0,0250 | 0,0475 | 0,02 | 0,0250 | 0,0475 |
| 1200 | 0,00 | - | - | 0,00 | - | - |

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

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

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

При врахуванні нелінійних деформацій арматурної сталі також визначається зміна межі пропорційності у залежності від температури. Всі дані параметри можна визначити з табл. 4.

Таблиця 4 – Значення параметрів діаграми «напруження – деформація» гарячекатаної та холодно тягнутої арматурної сталі при підвищених температурах

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

Для діаграм деформування арматурної сталі робочі формули мають такий вигляд:

при $0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0}$
 при $\varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$
 при $\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st}$
 при $\varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$
 при $\varepsilon_{s2} < \varepsilon_s$

$$\begin{aligned} \sigma_s &= E_{s,T} \varepsilon_s \\ \sigma_s &= f_{sp,T} - c + (b/a) [a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\ \sigma_s &= f_{sy,T}, \\ \sigma_s &= f_{sy,T} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\ \sigma_s &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

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

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

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

Використовуючи дані щодо міцності, були побудовані діаграми деформування бетону та арматурної сталі. Побудовані діаграми наведені на рис. 3.

терморозширення бетону та арматурної сталі згідно із рекомендаціями стандарту [2]. Використані залежності у вигляді графіків наведені на рис. 4.

Для розрахунку використані температурні залежності деформації

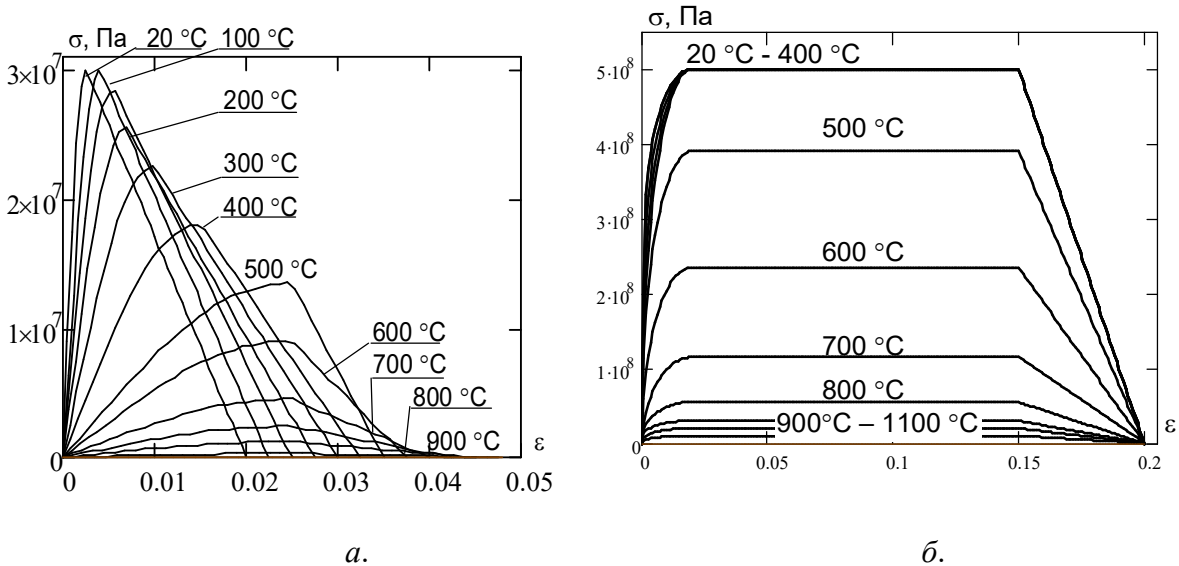


Рисунок 3 – Діаграми деформування бетону (а) та арматурної сталі (б).

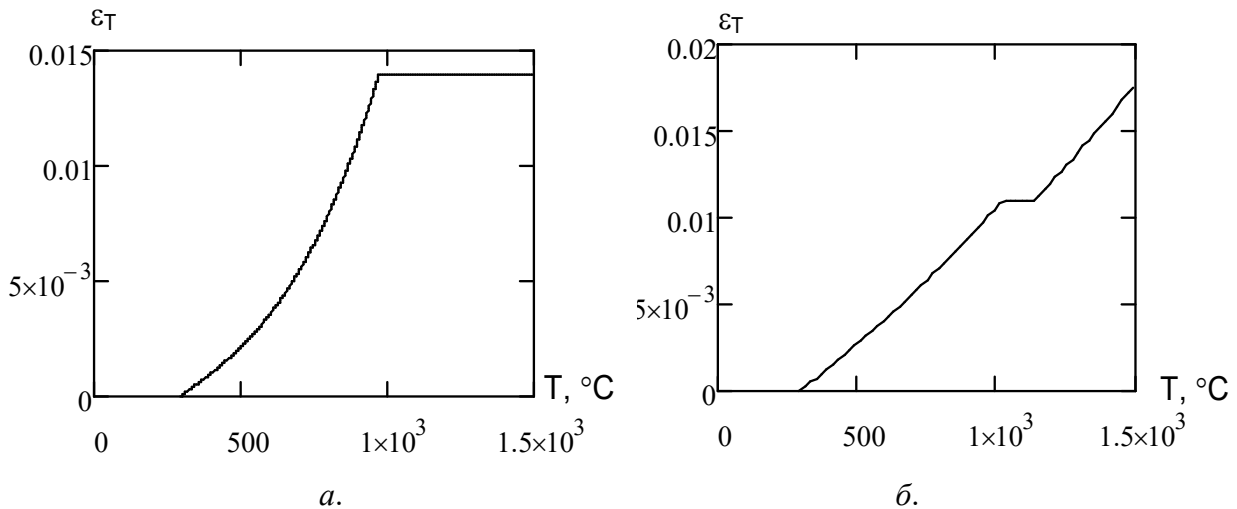


Рисунок 4 – Температурні залежності деформації терморозширення бетону (а), арматурної сталі (б).

Для розв'язку задачі міцності була побудована кінцево-елементна схема, що наведена на рис. 5.

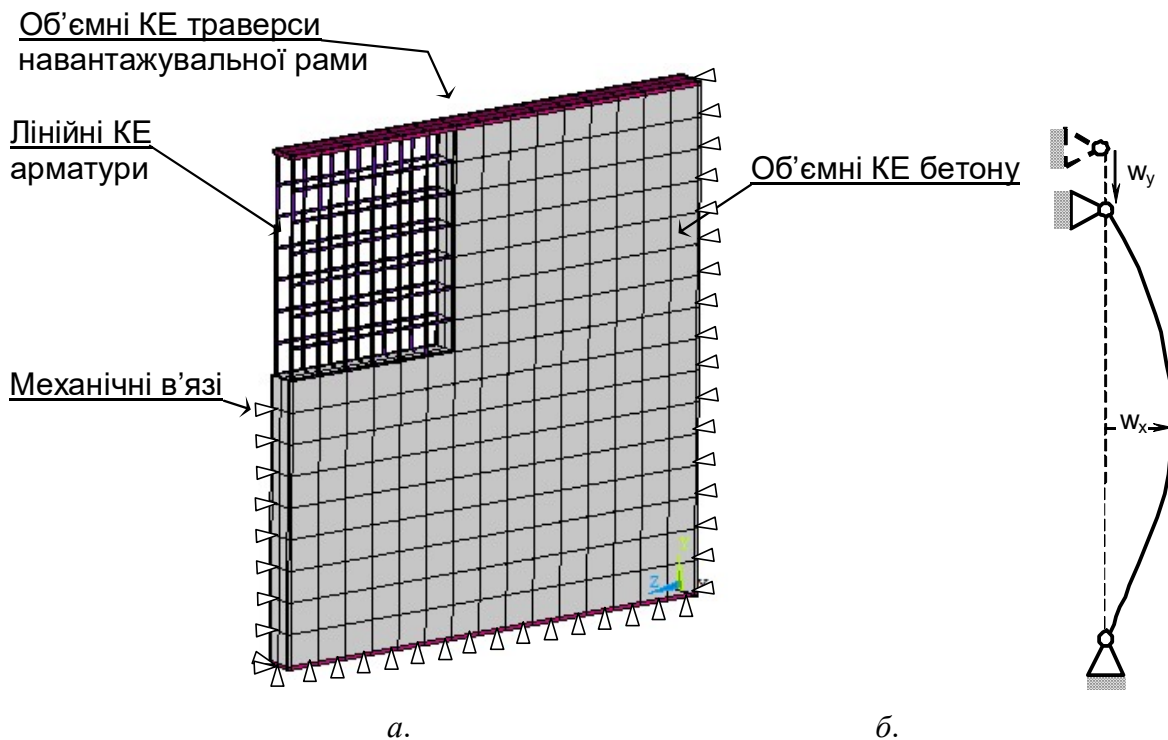


Рисунок 5 – Кінцево-елементна схема залізобетонної стіни та накладені на її вузли механічні в'язі (а) і розрахункова схема закріплення стіни (б).

Застосовуючи весь комплекс математичних моделей, згідно із алгоритмом використаної методики виконувалися розрахунки щодо визначення параметрів НДС залізобетонної стіни.

Результати розв'язку задачі міцності. Після розв'язку задачі міцності був отриманий набір даних щодо НДС залізобетонної стіни в умовах температурного впливу вогневих випробувань. На рис. 6 наведені дані щодо розподілень значення першого головного напруження у різні моменти часу температурного впливу при вогневому випробуванні.

На рис. 7 зображено розподіл виникнення тріщин у стіні внаслідок комбінованого температурно-силового впливу.

Нормаль до країв тріщини відповідає нормалі окружності, яка символізує тріщину. Червоним кольором позначено первинні тріщини, що отримані в точках інтегрування. Відповідно зелений і синій кольори – вторинні та третинні тріщини. Після виникнення тріщин елемента у трьох точках

інтегрування у трьох різних напрямках цей елемент вважають зруйнованим. Це значить, що даний елемент не опирається прикладеним напруженням.

Аналіз розподілу тріщин дозволяє зазначити, що основні пошкодження стіни виникають у верхній її частині, де температура істотно вища, найбільше ушкоджень починає з'являтися після 150 хв. температурного впливу під час випробувань, руйнація стіни відбувається на 281 хв. у результаті накопичення дефектів у бетоні.

Більше даних про накопичення дефектів у стіні можна отримати з картини повністю роздроблених елементів у залізобетонній стіні. Така картина у різні моменти часу наведена на рис. 8.

Аналіз розподілу найбільш ушкоджених елементів показав, що їх найбільша кількість утворюється у верхній частині стіни, там де найбільша температура, роздроблені елементи зосереджені у поверхневій зоні ближче до обігрівної сторони.

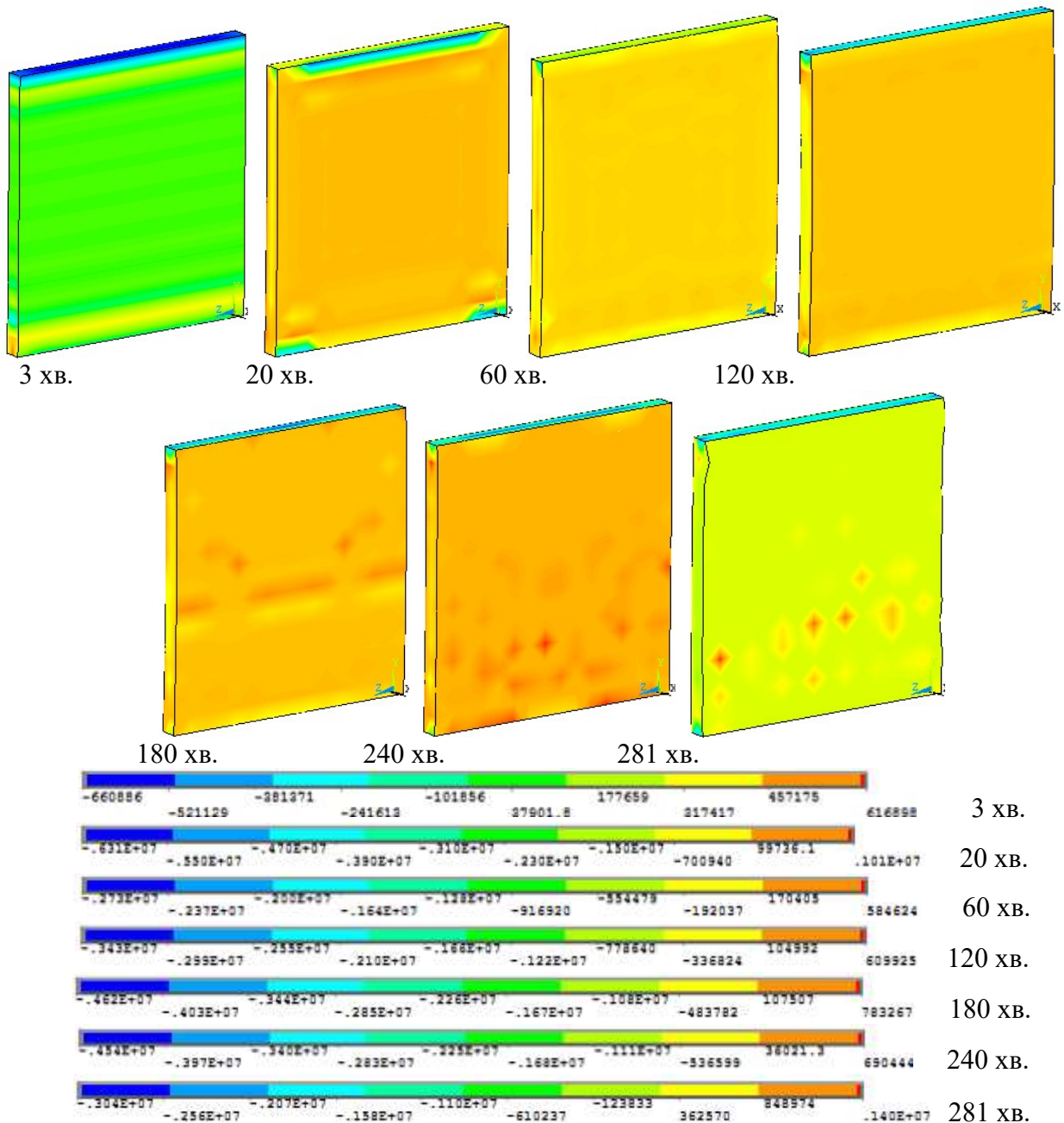


Рисунок 6 – Розподіл значень першого головного напруження (Па) у залізобетонній стіні у різні моменти часу випробувань.

Згідно із методикою визначення межі вогнестійкості конструкції, що наведена на рис. 1, настання граничного стану втрати несучої здатності визначається за графіками максимальних переміщень стіни. На рис. 9 наведені графіки залежностей максимального поздовжнього переміщення середньої точки перерізу стіни та її максимального прогину.

Перехрещення дотичних на даних графіках показують межу настання

граничного стану втрати несучої здатності. Таким чином граничний стан втрати несучої здатності досліджуваної залізобетонної стіни настає на 280 хв.

Аналогічні розрахунки були проведені для стін з іншими модифікаціями, і для них також були визначені межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності.

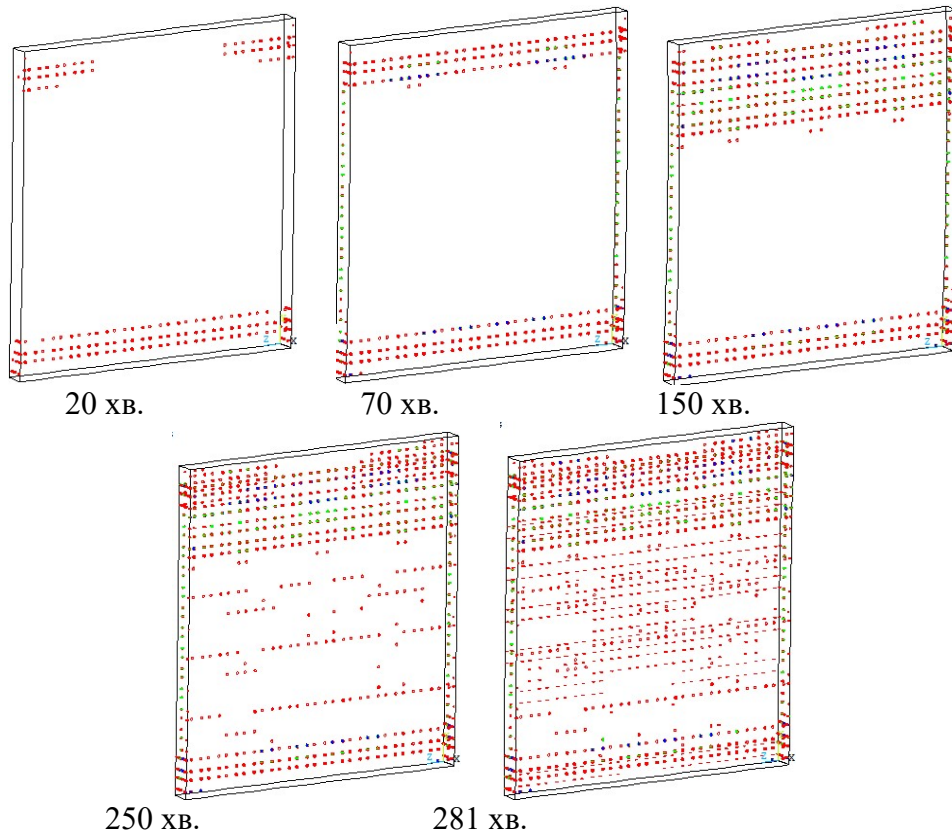


Рисунок 7 – Розподілення тріщин у залізобетонній стіні у різні моменти часу випробування

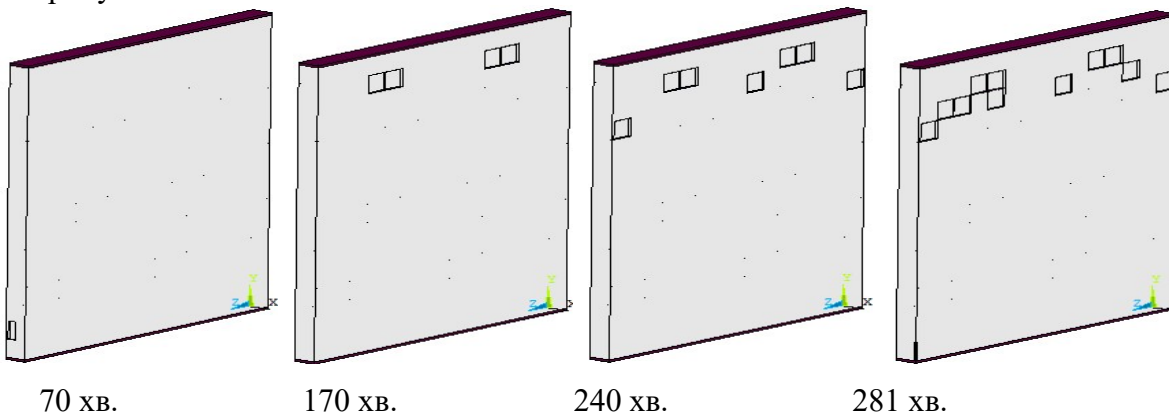


Рисунок 8 – Положення повністю роздроблених кінцевих елементів у залізобетонній стіні у різні моменти часу її вогневих випробувань

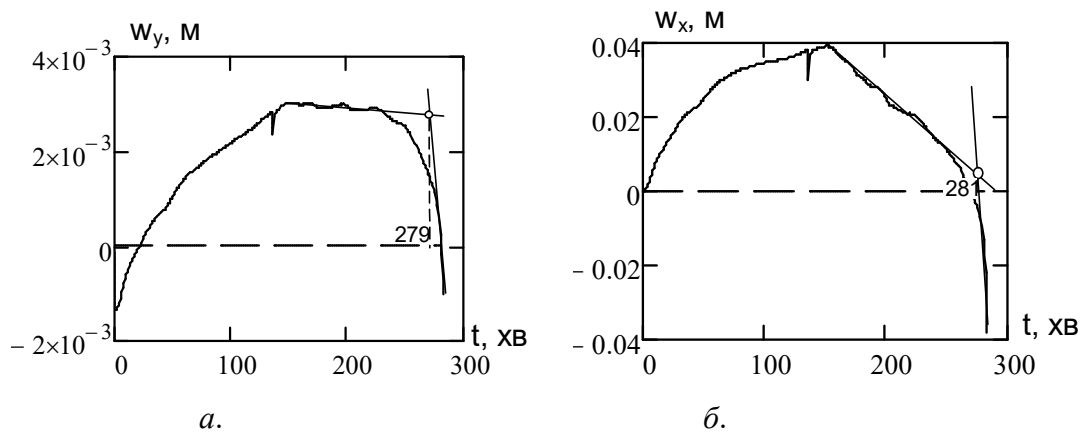


Рисунок 9 – Графіки максимального поздовжнього переміщення (а) та максимального прогину (б)

На рис. 10 показані графіки, що отримані для відповідних модифікацій вогневої печі.

Спираючись на отримані дані, наведені на рис. 9, були визначені межі вогнестійкості досліджуваної стіни в умовах вогневих випробувань у печах із різними модифікаціями. При цьому був використаний алгоритм, що показаний на рис 2. Отримані дані щодо вогнестійкості зведені до табл. 4.

З метою вивчення відповідності результатів розрахунку до реальних процесів, що відбуваються в системі, наскільки якісно прогнозуватиметься розвиток цих процесів, було проведено порівняння даних випробувань, що були наведені у [3]. Збіжність результатів обчислювального та реального експерименту перевірена за допомогою визначення величини вертикального переміщення навантаженого краю стіни. Отриманий результат наведений на рис. 11.

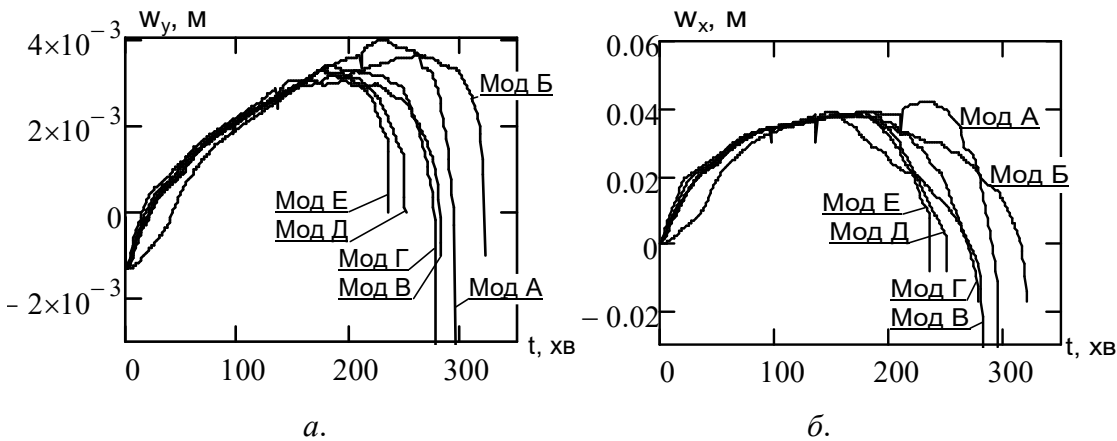


Рисунок 10 – Графіки максимального поздовжнього переміщення (а) та максимального прогину (б) в залізобетонній стіни, що випробується у печах із різними конфігураціями.

Таблиця 4 – Межі вогнестійкості залізобетонної стіни, випробуваної у вогневих печах із різними модифікаціями

| Модифікація печі | Дисперсія температури, S^2 , $^{\circ}C^2$ | Межа вогнестійкості, R, хв |
|------------------|--|----------------------------|
| Модифікація А | 586.59 | 281 |
| Модифікація Б | 803.557 | 301 |
| Модифікація В | 512.475 | 277 |
| Модифікація Г | 406.164 | 271 |
| Модифікація Д | 238.902 | 248 |
| Модифікація Е | 205.295 | 235 |

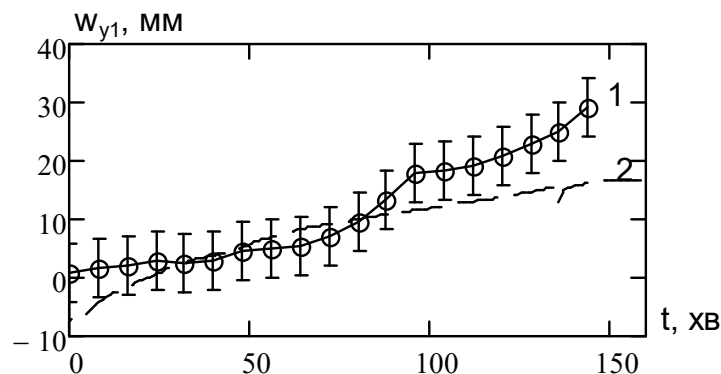


Рисунок 11 – Графіки переміщення верхнього краю стіни у залежності від часу при її випробуванні на вогнестійкість: 1 – експериментальні дані разом із експериментальною похибкою; 2 – розрахункові дані

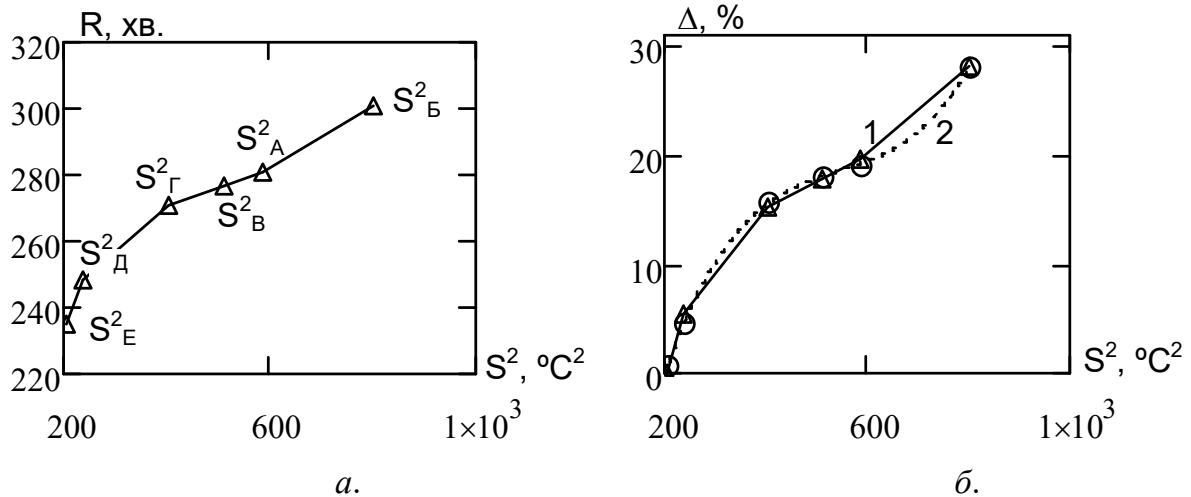


Рисунок 12 – Залежність розрахункових значень межі вогнестійкості залізобетонної стіни від значення максимальної дисперсії температур на обігрівальній поверхні конструкції під час вогневих випробувань (а) та похибки визначення межі вогнестійкості (б) (1 – отриманої внаслідок чисельного експерименту, 2 – регресійна залежність)

За даними табл. 4, побудовані графіки розрахункових значень межі вогнестійкості залізобетонної плити від значення максимальної дисперсії температур на обігрівальній поверхні залізобетонної стіни під час вогневих випробувань та похибки визначення межі вогнестійкості відносно

найменшого її значення. Дані графіки наведені на рис. 12.

За даними графіків побудована регресійна залежність межі вогнестійкості залізобетонної стіни від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях, а також похибки визначення межі вогнестійкості, що виражається формулою:

$$\Delta(S^2) = -42.586 + 0.307 \cdot S^2 - 5.355 \cdot 10^{-4} \cdot (S^2)^2 + 3.276 \cdot 10^{-7} \cdot (S^2)^3. \quad (6)$$

Проведені дослідження з виявлення залежності межі вогнестійкості залізобетонної стіни від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях уможливили формулювання узагальнених рекомендацій для проектування нових і вдосконалення параметрів наявних вертикальних будівельних конструкцій із метою досягнення в камері печі однорідності температурного поля на обігрівальних поверхнях конструкцій, а також як наслідок – підвищення ефективності випробувань на вогнестійкість за рахунок забезпечення більшої рівномірності теплового потоку:

1. Як основу конструкції установки необхідно використовувати піч, геометрична форма, розміри й конструкція якої повинні надавати змогу випробовувати зразки різних будівельних конструкцій, зокрема з елементами вогнезахисту, забезпечуючи при цьому рівномірність теплового потоку.

2. Повинно бути не менше ніж два отвори для відведення продуктів горіння, які слід розташовувати симетрично та розосереджено від центру вогневої печі.

3. Висота печі має забезпечувати необхідний мінімальний об'єм для циркуляції продуктів горіння, а отже, рівномірний прогрів поверхні конструкції.

4. Пальники слід розташовувати не ближче ніж на 0,8 м від поверхні досліджуваної конструкції.

5. Кількість приладів для контролю температурного режиму в камері печі (термопар) повинна залежати від геометричних розмірів печі (одна термопара на 1 м² обігрівальної поверхні аналізованої будівельної конструкції), але не меншою, ніж п'ять [4].

6. Значення дисперсії температур по обігрівальній поверхні залізобетонної конструкції не повинно перевищувати критичного значення – 600 [3].

7. Управління роботою паливної системи та реєстрацію результатів випробувань потрібно організувати за допомогою обчислювальної техніки (комп'ютера).

Висновки.

1. Проведено обчислювальні експерименти щодо розрахунку залежності межі вогнестійкості від максимальної дисперсії температур по обігрівальній поверхні вертикальної будівельної конструкції під час випробувань.

2. Одержано залежність значень межі вогнестійкості вертикальних залізобетонних будівельних конструкцій від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях, а також похибки визначення межі вогнестійкості, що описані за формулою (6).

3. Одержані результати дають можливість обґрунтувати параметри вогневої печі для визначення вогнестійкості вертикальних залізобетонних будівельних конструкцій, які враховують виявлені залежності дисперсії температур по обігрівальній поверхні, що дозволить підвищити відтворюваність результатів таких випробувань.

4. Сформульовано рекомендації щодо створення нових і вдосконалення існуючих камер печей установок із випробувань на вогнестійкість вертикальних залізобетонних будівельних конструкцій для досягнення більшої рівномірності температурного поля на поверхні вертикальних залізобетонних конструкцій, як наслідок – зменшення похибки вогневих випробувань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження прогріву залізобетонної стіни за умов нерівномірного теплового впливу при її випробуваннях на вогнестійкість / Сідней С. О., Нуянзін О. М., Тищенко О. М. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2015. – № 21. – С. 88 – 95.

2. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.

3. Сідней С.О. Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість несучих стін у вогневих печах різної конфігурації // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: ЧПБ, 2015. – № 19. – С. 78 – 83.

4. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. - К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).

REFERENCES

1. Thermal effects researching of heating concrete wall under in its fire resistance test / Sydney S.O., Nuianzin O.M., Tyshchenko O.M. [ets.] // Fire safety: theory and practice: Coll. Science. works. - Cherkasy: APB, 2015. - № 21. - pp. 88 - 95.

2. DSTU-N B EN 1992-1-2: 2012 Eurocode 2: Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures on fire resistance.

3. Sidney S.O. Numerical study of the effectiveness of tests on fire resistance of

bearing walls in fire furnaces of different configurations // Fire safety: theory and practice: Sb. Sciences Works. - Cherkasy: ChIPB, 2015. - No. 19. - P. 78 - 83.

4. Protection from fire. Building construction. Methods of test for fire resistance. General requirements (ISO 834: 1975): DSTU B V.1.1-4-98. - [Effective as of 10.28.1998]. - K.: Ukrarhbudynform, 1999. - 21s. - (State standard of Ukraine).

*А. М. Нуянзин, канд. техн. наук, С. В. Поздеев, д-р техн. наук, проф.,
С. А. Сидней, канд. техн. наук, Н. А. Крыштал, канд. психол. наук, проф.,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля НУГЗ Украины*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ОБОГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩЕЙ СТЕНЫ НА ЗНАЧЕНИЕ ИХ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ

Целью данной статьи было определение зависимости значений предела огнестойкости несущих стен от дисперсии температур по их обогревательных поверхностях как научной основы для повышения эффективности оценки результатов огневых испытаний. В данной работе была решена задача прочности для определения несущей способности железобетонной стены в условиях пожара. Во время работы применены вычислительные эксперименты с использованием CFD-программ и метода конечных элементов.

В результате исследований была получена зависимость расчетных значений предела огнестойкости железобетонной стены

от значения максимальной дисперсии температур на обогреваемой поверхности конструкции при огневых испытаниях и погрешности определения предела огнестойкости, а также сформулированы рекомендации по созданию новых и совершенствованию существующих камер печей установок для испытаний на огнестойкость вертикальных железобетонных строительных конструкций с целью достижения большей равномерности температурного поля по поверхности вертикальных железобетонных конструкций, как следствие – уменьшение погрешности огневых испытаний.

*O. M. Nuianzin, Candidate of technical science, S. V. Pozdieiev, Doctor of technical science, professor,
S. O. Sidney, Candidate of technical science, M. A. Kryshstal, Candidate of psychological science, professor
Cherkasy Institute of Fire Safety n. a. Chernobyl Heroes*

STUDY OF DISPERSION IN THE HEATER TEMPERATURE SURFACE OF THE BASE WALL ON THE VALUE OF THEIR FIRE RESISTANCE

To determine the limits of fire resistance the most common is the test method in special fire test kilns. However, fire tests and the parameters of modern test plants are far from perfect, as there are errors, as the fuel system management and fire furnace configuration do not ensure full compliance of the conditions of the experiment with the requirements of the standards in this field.

The purpose of this article was to determine the dependence of the values of the boundary of the fire resistance of the bearing walls on the temperature dispersion on their heating surfaces as a scientific basis for improving the efficiency of the evaluation of the results of fire tests. In this paper, the problem of strength was determined to determine the bearing capacity of a reinforced concrete wall in a fire. During work, computational experiments using CFD and the finite element method were used.

The study was conducted in two main stages. In the previous work, the heat engineering problem was solved to determine

the unevenness of the temperature distribution in the inner layers of the reinforced concrete wall during tests for fire resistance in special fire units. The calculation results are used as input data for solving the problem of strength. For this purpose, the end-element models of bearing walls were created. We were struck by the type of fittings, its diameter and the concrete brand from which the wall was made.

As a result of the studies, the dependence of the design values of the fire resistance of the reinforced concrete wall on the value of the maximum temperature dispersion on the heating surface of the structure during the fire tests and the error of the definition of the fire resistance limit was obtained, as well as the recommendations for creating new and improving existing furnace chambers from the tests on the fire resistance of the vertical reinforced concrete Building constructions to achieve greater uniformity of the temperature field along the vertex surface Egg-reinforced concrete structures, as a consequence - reducing the error of fire tests.

UDC 614.841.41

*V. I. Osipenko, Doctor of engineering sciences, professor, Ya.V. Zmaga, cand. of engineering sciences, A. U. Novgorochenko, T. V. Samchenko,
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes*

RESEARCH OF BEHAVIOR OF WOODEN BEAMS WITH FIRE BIO PROTECTION IN FIRE

The article is devoted to the behavior of wooden beams with fire protection in case of fire. The results of calculations of the rate of charring fragments of wooden beams with fire protection.

Key words: *fire resistance, fire bio protection, scheme of measuring geometric parameters of the charred zone of samples.*

Introduction. Researches [1; 2] show that wooden beams in buildings with wooden structures are one of the most crucial elements to which special requirements for fire resistance are needed. According to the building codes of Ukraine [3] the limits of fire resistance of wooden beams in many cases should correspond to classes R45 and R60. Considering the combustibility of wood to provide these classes of fire resistance, it is necessary to use fire protection. Among the most common means of fire protection of wood, the most widespread are fire and bio protecting impregnations [4, 5]. The mechanism of such means is based on slowing down of burning processes on the surface of elements of wooden structures. Nevertheless, over time the thermal effects of fire-treated layer is subjected to decomposition and charring process extends to the unprotected layers, whereby the beam is still destroyed. Considering this, the parameters for predicting the charring zone, which is one of the main parameters for calculating fire resistance limits of wooden beams according to the standard must be indicated [6].

Raising the problem and its solution. The aim of this article is to develop a calculation technique for predicting geometric configuration of the zone of charring of wooden beams with fireproof impregnation when exposed to fire with a standard temperature regime. To achieve this goal, we have set following tasks:

- carry out experimental researches of fragments of wooden bearing beams with integrated protection against heat and fire, biological damage to the wood and determine the temperature in the inner layers of samples and the thickness of the charred layer;

- on the basis of the test results, to reveal the regularities of growth of the thickness of the charred layer;

- to develop a methodology for calculating geometric configuration of the charred zone.

Results. To study the behavior of wooden beams, their fragments were used, the scheme and the form of which are shown in Fig. 1. Test samples were made of pine bars with dimensions of 200*65*400 mm, and plywood with dimensions of 400*400*16 mm. The manufactured samples were impregnated in accordance with Table. 1.

For the tests, a heating installation, which is a steel chamber with dimensions of 500 × 500 × 500 mm was used. On the back side, the chamber has a hole which diameter is 60 mm for installing the burner nozzle. On the inside, the walls of the chamber are protected with a layer of non-combustible insulation "Conlit 150" produced by Rockwool company with thickness of 100 mm to minimize heat loss, which also protects it from high temperatures. General view of the installation for fire tests of fragments of wooden beams with fireproof impregnation under the standard temperature regime is shown in Fig. 2.

After the experiment, the samples are charred, the typical condition of the sample after the test is shown in Fig. 3.

To conduct the tests, we measured the charring layer, according to the scheme in Fig. 4.

Using the measurements, the average lateral thickness and the average end thickness of the charred layer were calculated, the graphs of the dependences on exposure time of which are shown in Fig. 5.

In Fig. 6 Graphs of the rate of charring of samples are shows.

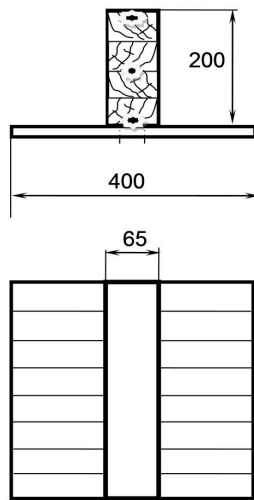


Figure 1 – Fragment of a Wooden Beam for Testing with Location of Thermocouples.

Table 1 – Nomenclature of Test Samples

| № | Sample Number | Type of Impregnant | Exposure Time, Minutes. |
|----|---------------|--|-------------------------|
| 1 | 1.1.-1.3. | Bio fire protection «Neomid 450-1» | 15 |
| 2 | 2.1.-2.3. | Bio fire protection «Senezh» | 15 |
| 3 | 3.1.-3.3. | Bio fire protection «Strazh-2 (BS-13)» | 15 |
| 4 | 4.1- 4.3. | Without impregnation | 15 |
| 5 | 1.4.-1.6. | Bio fire protection «Neomid 450-1» | 30 |
| 6 | 2.4.-2.6. | Bio fire protection «Senezh» | 30 |
| 7 | 3.4.-3.6. | Bio fire protection «Strazh-2 (BS-13)» | 30 |
| 8 | 4.4.- 4.6. | Without impregnation | 30 |
| 9 | 1.7.-1.9. | Bio fire protection «Neomid 450-1» | 60 |
| 10 | 2.7.-2.9. | Bio fire protection «Senezh» | 60 |
| 11 | 3.7.-3.9. | Bio fire protection «Strazh-2 (BS-13)» | 60 |
| 12 | 4.7.-4.9. | Without impregnation | 60 |



Fig. 2 – Heating Installation for Testing.

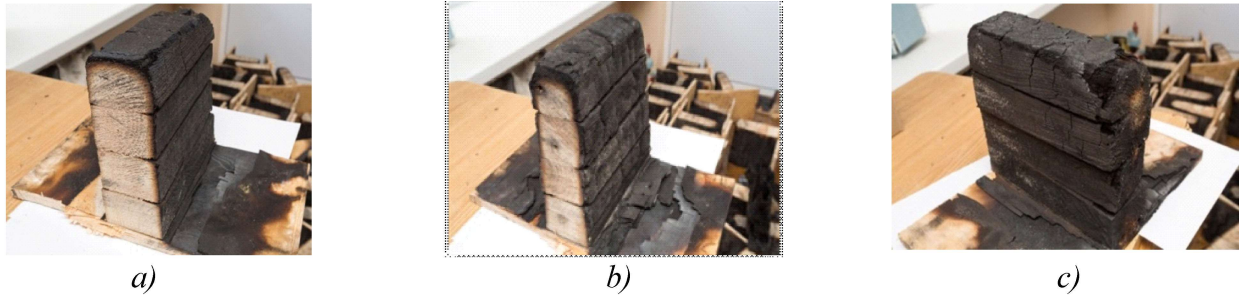


Fig. 3 – Photo of Samples without Impregnation after Fire Tests , a) Charring of the Sample after 15 Minutes of Exposure; b) Charring of the Sample after 30 Minutes of Exposure; b) Charring of the Sample after 60 Minutes of Exposure.

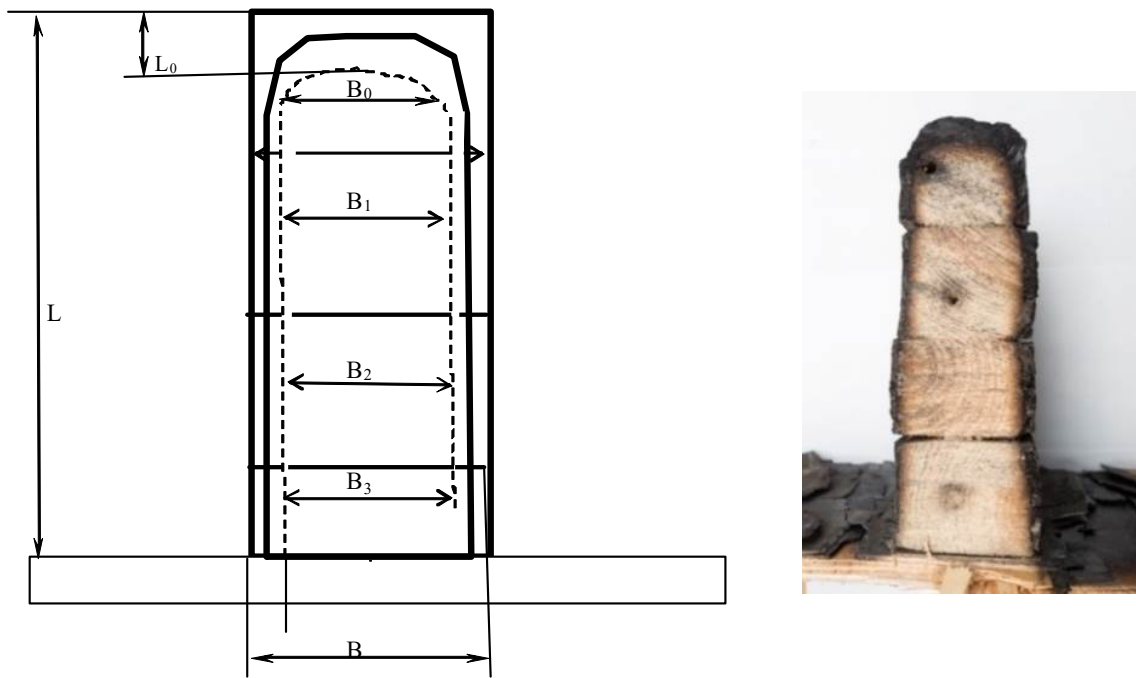


Fig. 4 – Scheme of Measuring Geometric Parameters of the Charred Zone of Samples

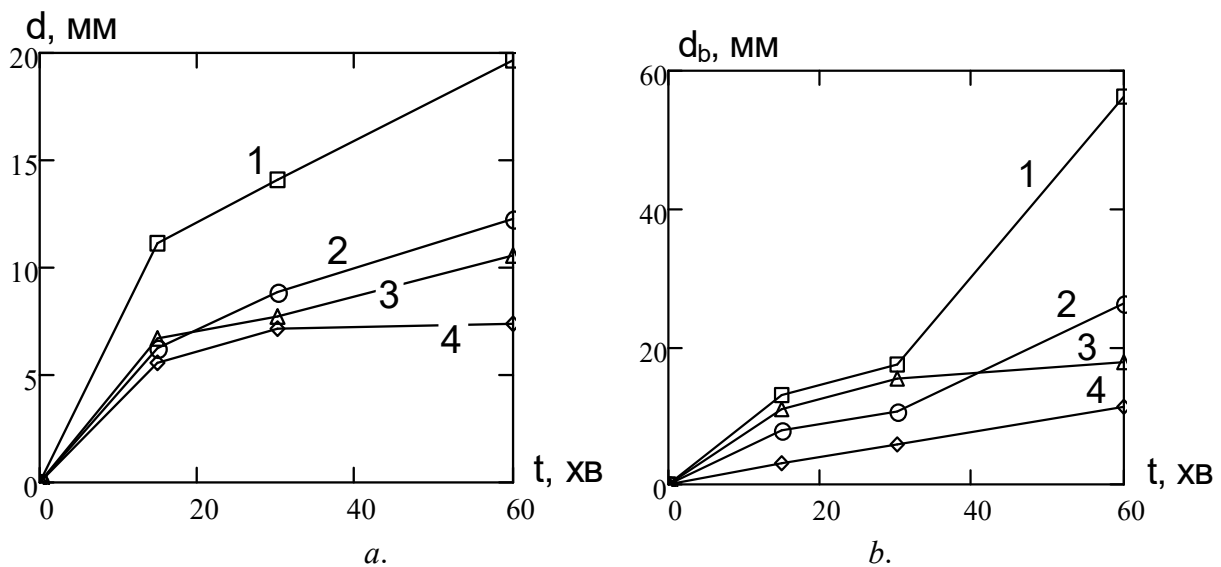


Fig. 5 – Dependencies of Side (a) and End Thickness (b) of the Charred Layer on Exposure Time of Sample: 1 – Without impregnation; 2 – With Impregnation Neomid 450-1; 3 – With Impregnation Senezh; 4 – With Impregnation Strazh -2 (BS-13)

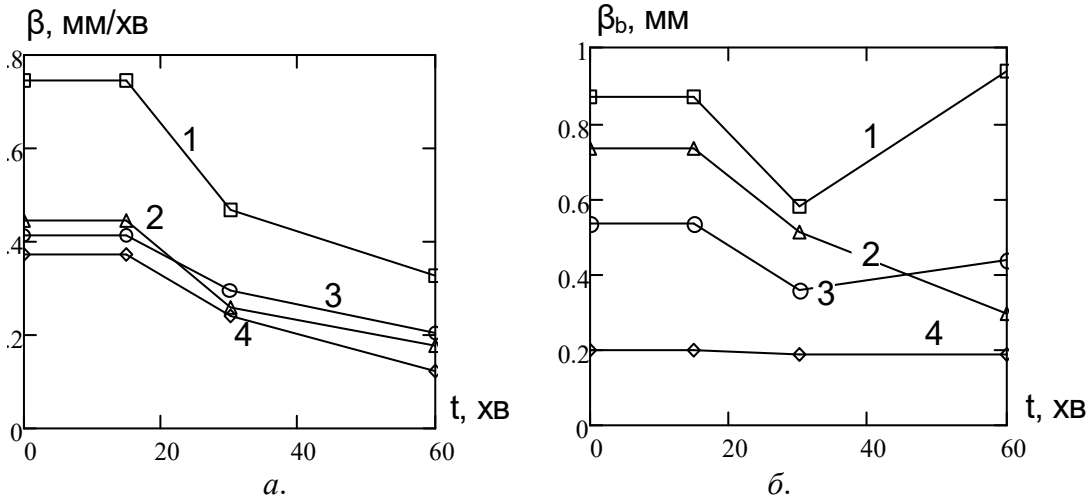


Fig. 6 – Dependencies of side (a) and end (b) Rates of Charring on exposure time of sample: 1 – без імпрегнації; 2 – With Impregnation Neomid 450-1; 3 – With Impregnation Senezh; 4 – With Impregnation Strazh -2 (BS-13)

Analyzing the graphs in Fig. 5 and Fig. 6, it can be seen that the dependencies of the thicknesses of charring on time are similar. Charring of wood with impregnation occurs much more slowly. Impregnation of the type 4 has the best indicators for the rate of charring.

When predicting geometric configuration of the charred zone there was a hypothesis the idea of which was an assumption that, when the charring behavior depends on temperature, the charring zone must be limited to a certain isotherm. To implement this hypothesis, it is necessary to construct isotherms in the cross section of the fragment. In this case, two methods can be used: by solving a heat conduction equation, or by approximating isotherms by means of interpolating functionals. To solve the heat conduction problem, the thermophysical characteristics of wood with fire protection which are unknown are required therefore, the second method was used.

To approximate the isotherms, we used a functional of the form:

$$y(x) = y_0 \left(1 - \left(\frac{x}{x_0} \right)^p \right)^{1/p} \quad (1)$$

where x_0 and y_0 – coordinates on the axes x and y at their intersection by an approximating curve; p – exponent determined by approximating curve.

In fig. 7 a flock of curves set by the expression is shown (1).

Using this approach and measurements of temperature at the reference points of the section during the tests (fig. 1), interpolation of temperature distributions was carried out. The result is shown in fig. 8.

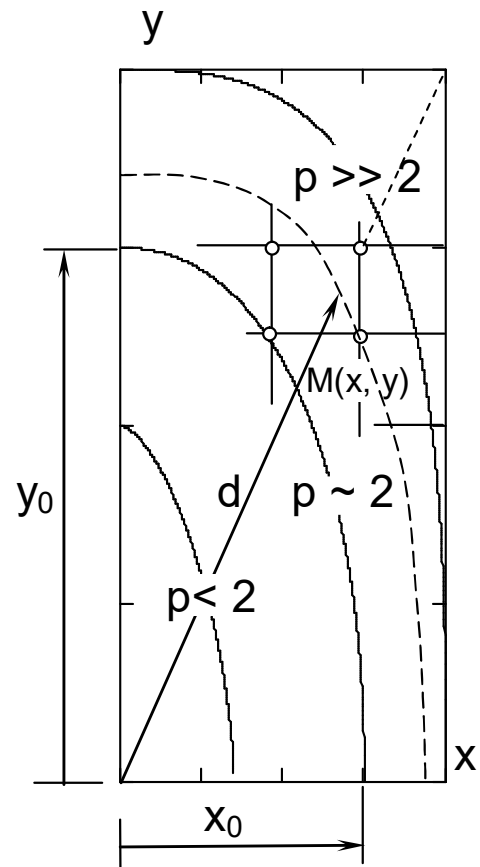


Fig. 7 – Scheme of approximation of isotherms in the section of a fragment of a wooden beam

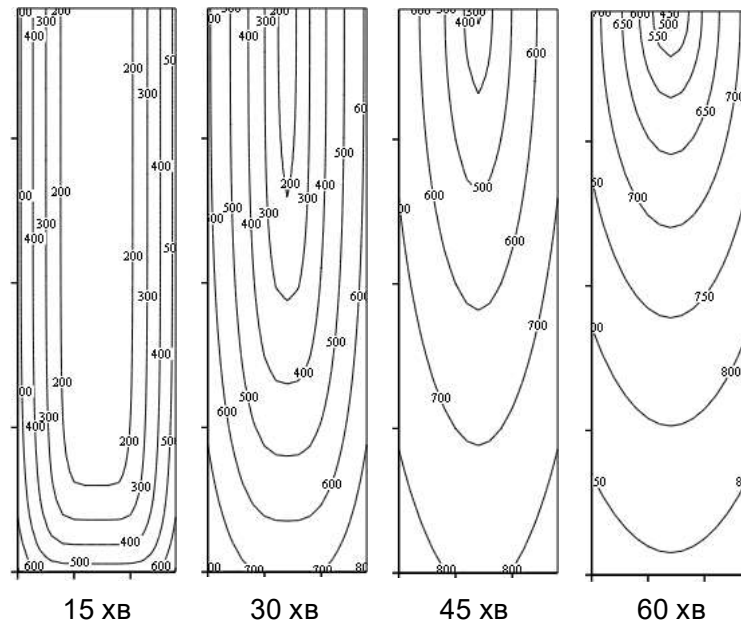


Fig. 8 – Temperature Distributions in the Section of a Fragment of a Wooden Beam without Impregnation.

For prediction of the charred zone of the beam fragments, measurements of the charring thicknesses shown in Fig. 5. Comparing the measured thicknesses of the charred layer and found temperature distributions, critical charring temperatures were determined using the formula:

$$T_{кр,i} = T_{0i} + (T_{gi} - T_{0i}) \left[\frac{0,5a - d(i)}{0,5a} \right]^{Q_{gi}} \quad (2)$$

where T_{0i} , T_{gi} – the temperature of the first and last points of the control section line in i moment of time; a – section width; Q_{gi} – exponent of approximating parabola in i

moment of time; $d(i)$ – dependence of lateral thickness on exposure time.

Dependencies of the thickness of charring on time were obtained on the basis of regression analysis. The parameters of regression dependences are given in table 2.

The dependencies of rate of the side charring on time were obtained by differentiating the regression dependences described in Table 2. The parameters of the obtained dependences are given in Table. 3.

Using the data of Table 2 and the developed calculation method, charring zones for the tested fragments were set. The results are shown in Fig. 9.

Table 2 – Parameters of Regression Dependences of the Side Thickness of Carbonization on the Exposure Time

| Regression Coefficients $d(i) = b_1 + b_2i + b_3i^2 + b_4i^3$ | b_1 | b_2 | b_3 | b_4 |
|--|-------|-------|--------|-----------------------|
| Sample without impregnation | 0 | 1,153 | -0,032 | $2,997 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Neomid 450-1» | 0 | 0,585 | -0,013 | $1,111 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Senezh» | 0 | 0,725 | -0,022 | $2,126 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Strazh-2» (BS13) | 0 | 0,561 | -0,014 | $1,145 \cdot 10^{-4}$ |

Table 3 – Parameters of the Regression Dependences of Rate of Side Charring on the Exposure Time

| Regression Coefficients $\beta = \frac{d}{dt} d(i) = b_2 + 2b_3i + 3b_4i^2$ | b_2 | $2b_3$ | $3b_4$ |
|---|-------|--------|-----------------------|
| Sample without impregnation | 1,153 | -0,064 | $8,992 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Neomid 450-1» | 0,585 | -0,026 | $3,333 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Senezh» | 0,725 | -0,044 | $6,379 \cdot 10^{-4}$ |
| Sample with impregnation «Strazh-2» (BS13) | 0,561 | -0,028 | $3,436 \cdot 10^{-4}$ |

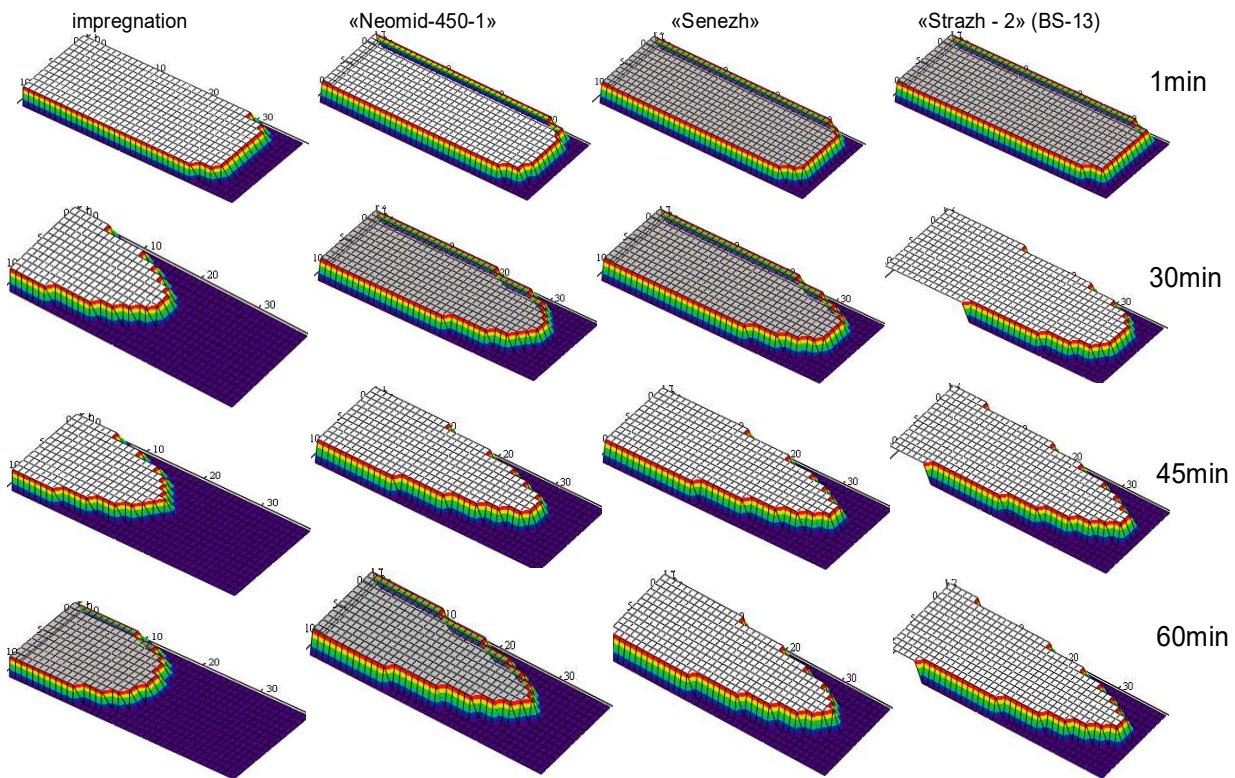


Fig. 9 – The Results of the Construction of the Zone of Charring of Samples-Fragments of Wooden Beams.

According to the received data fire-retardant impregnation «Strazh-2» (BS-13) is the most effective.

Conclusions.

1. Fire tests of samples of wooden beams fragments were conducted with and without the fire retardant impregnation. As a result the temperature of inner layers and the thicknesses of their charred layer were determined.

2. On the basis of the measurements made, regularities in the configuration of the charred zone have been established in the form of regression polynomial dependencies.

3. A method for interpolation of temperature distributions in the cross section of fragments subjected to tests based on specially

selected functionals approximating isotherms was developed.

4. A technique for constructing a charred zone in the fragments under study is developed on the basis of its restriction by an isotherm corresponding to the critical temperature, which is determined on the basis of a comparison of the temperature distributions and the thickness of the charred layer is developed.

5. Using the developed technique, the configurations of charred zones for the studied fragments at intermediate instants of time were investigated, on the basis of which the most effective flame retardant composition was established, it turned out to be «Strazh-2» (BS-13).

REFERENCES

1. Taubkin, S. I., *Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy* (1999). [Fire and explosion, Peculiarities of their Expertise] - Moscow: VNIIGU MVD Russia, 599 p. [from 2003-05-01.]. – Kyiv: Publishing house "Libra", 2003. – 87 p – (National Standard of Ukraine).
2. Tychino, N. A. *Osobennosti prakticheskogo primeneniya ogne- i biozashchitnykh sredstv dlya propitki drevesiny* [Features of Practical Application of Fire and Biosecurity Means for Impregnating Wood]. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov* [Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials]. Issue 6, 2002 - Moscow.: VNIPO, – p. 38-43. -ISSN 0869-7493.
3. *Zakhist vid pozhezhí. Pozhezhna bezpeka ob'ektív budívnitstva DBN V.1.1-7-2002* [Protection from Fire. Fire Safety of Construction Objects]. DBN V.1.1-7-2002
4. Shnal T. M. *Vohnestiykist ta vohnnezakhyst derevyanykh konstruksiy: Navchalnyu posibnyk* [Fire Resistance and Fire Protection of Wooden Structures: Textbook]. - Lviv. Publishing House of National University "Lviv Polytechnic", 2006. - 220 p.
5. Antonov A. V., Borisov O. V., Orel V. P. *Vohnahasni rehovyny: posibnyk* [Extinguishing Agents: A Guide] – Kyiv, Pozhinformtekhnik, 2004, 176 p.
6. EN 1995-1-2:2005 Eurocode 5: Design of wood structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.

В. И. Осипенко, д-р техн. наук, профессор, Я. В. Змага, канд. техн. наук, А. Ю. Новгородченко, Т. В. Самченко, Черкасский государственный технологический институт, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ОГНЕБИОЗАЩИТОЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Статья посвящена исследованию поведения деревянных балок с огнезащитой в условиях пожара. Представлены результаты расчетов геометрии зоны обугливания фрагментов деревянных балок с огнезащитой.

В. І. Осипенко, д-р техн. наук, професор, Я. В. Змага, канд. техн. наук, А. Ю. Новгородченко, Т. В. Самченко, Черкаський державний технологічний університет, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК З ВОГНЕБІОЗАХИСТОМ ПРИ ПОЖЕЖІ

Стаття присвячена дослідженням поведінки дерев'яних балок з вогнезахистом в умовах пожежі. Висвітлені результати розрахунку геометричної зони обуглювання фрагментів дерев'яних балок з вогнезахистом.

УДК 351.861

Д. В. Тарадуда, канд. техн. наук,
Національний університет цивільного захисту України

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ХІМІЧНИМИ, БІОЛОГІЧНИМИ, РАДІАЦІЙНИМИ ЧИ ЯДЕРНИМИ ІНЦИДЕНТАМИ ТЕРОРИСТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ

В Україні, починаючи з 2014 року, особливо набула актуальності проблема внутрішньодержавного тероризму. Головна причина існування якого зумовлена сепаратизмом і безконтрольним обігом зброї й засобів масового ураження з окупованих територій, а надзвичайні ситуації, що можуть виникнути в результаті застосування терористами хімічних засобів масового ураження, біологічних агентів чи радіоактивних речовин, масштабами наслідків можуть сягати Чорнобильської катастрофи. У роботі проведено аналіз досліджень, присвячених попередженню небезпек, пов'язаних з хімічними, біологічними, радіаційними чи ядерними інцидентами. Розглянуто класифікацію інцидентів терористичного характеру, пов'язаних із застосуванням хімічно, біологічно, радіаційно небезпечних чи ядерних матеріалів і засобів здійснення надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, тероризм, терористичний акт, ХБРЯ інцидент, аналіз небезпек.

Постановка проблеми. Останнім часом суттєву загрозу для світу в цілому набуває міжнародний тероризм, який перетворює мирне населення в об'єкт силового впливу з метою дестабілізації обстановки, залякування людей, позбавлення їх здатності чинити організований опір. В Україні, на відміну від міжнародного, починаючи з 2014 року особливо набула актуальності проблема внутрішньодержавного тероризму. Головна причина існування якого зумовлена сепаратизмом і безконтрольним обігом зброї й засобів масового ураження (ЗМУ) з окупованих територій, а надзвичайні ситуації, що можуть виникнути в результаті застосування терористами хімічних засобів масового ураження, біологічних агентів чи радіоактивних речовин, масштабами наслідків можуть сягати Чорнобильської катастрофи [1], тому проблема попередження інцидентів з використанням хімічних, біологічних, радіоактивних речовин чи ядерних матеріалів (ХБРЯ) терористичного характеру сьогодні для України зокрема та для світу в цілому є надзвичайно актуальною, а її вирішення потребує проведення детального аналізу та характеристики таких небезпек.

Вирішення цієї проблеми ускладнюється тим, що застосування компонентів отруйних і високотоксичних речовин, біологічних рецептур, а також радіоактивних речовин часто не має демаскуючих ознак (вибухів, кольору, запаху й видимих слідів контамінації середовища). Перелік потенційно небезпечних речовин, порівняно з вибуховими, ширший у сотні разів. При цьому радіоактивні, хімічні речовини та контагіозні рецептури суттєво різняться за фізико-хімічними та токсичними властивостями, що істотно ускладнює завдання їх ідентифікації та ліквідації наслідків. Морально-психологічний вплив характеру контамінації такими речовинами незрівнянно вищий, ніж від вибухових речовин.

Постановка завдання та його вирішення. Як показав аналіз останніх досліджень і публікацій, попередження небезпек, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами терористичного характеру, на сьогодні є актуальним завданням (рис. 1), вирішення якого не можливе без проведення їх попередньої характеристики та аналізу з метою розробки й застосування превентивного комплексу організаційно-технічних заходів.

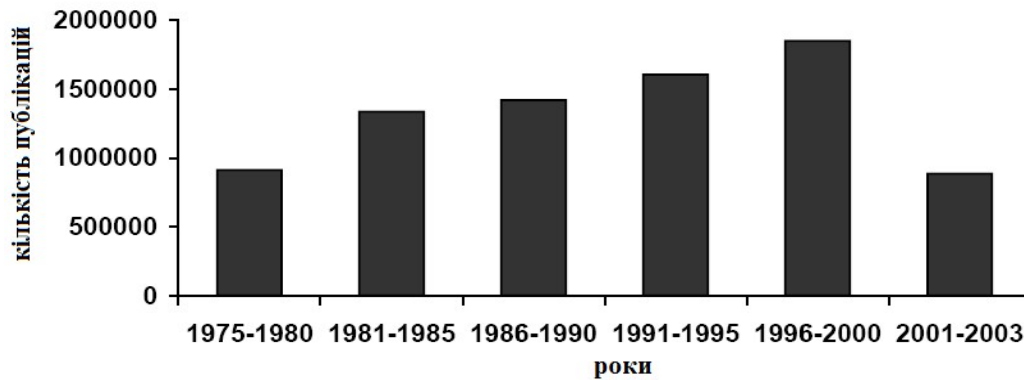


Рисунок 1 – Динаміка наукових публікацій, присвячених попередженню небезпек, пов'язаних з ХБРЯ інцидентами [5-8]

Велику увагу небезпекам, пов'язаним із «хімічним» тероризмом, приділено в роботі [2], де проведено аналіз способів і засобів здійснення терористичних актів. Так, залежно

від природи розрізняють інформаційні, фізико-технічні, фізико-хімічні, хімічні та біологічні засоби терору, що призводять до масштабних надзвичайних ситуацій (рис. 2).

ЗАСОБИ ЗДІЙСНЕННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТИВ

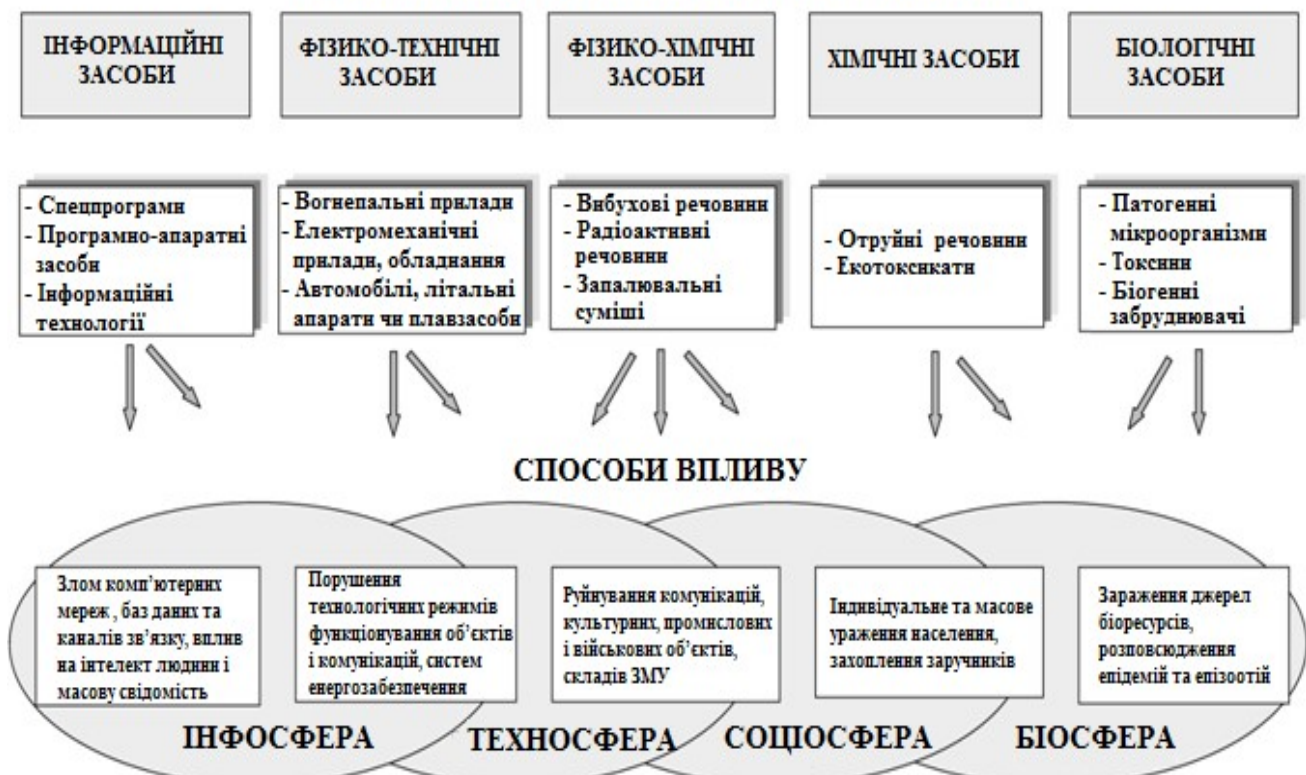


Рисунок 2 – Класифікація терористичних засобів залежно від їх природи

У роботі [3] проведено аналіз радіоактивних матеріалів з точки зору можливості їх використання при виготовленні «брудних бомб» і застосування в терористичних цілях. Так, період напіврозпаду ($T_{1/2}$) 15 радіоактивних ізотопів з масовими числами від 232 до 246 складає від 0,18 с (^{237}Pu) до 70 млн. років (^{244}Pu). Практичне значення мають радіоізотопи

$^{236-246}\text{Pu}$, що утворюються в ядерних реакторах. Найбільший інтерес для потенційних терористів з точки зору здійснення масштабних терористичних актів становить ^{239}Pu ($T_{1/2} = 2,44 \cdot 10^4$ років), який використовується як матеріал, що ділиться в ядерних боєприпасах. Нуклід отримують з урану, що опромінюється нейтронами в спеціальних реакторах, які, при достатньому

фінансуванні та технічному рівні оснащеності, можливо виготовляти не в промислових умовах. У роботі також наведено результати досліджень, спрямованих на попередження та виключення можливості виникнення «радіаційного» терору, а також основні завдання забезпечення безпеки від небезпек, пов'язаних з радіаційними інцидентами терористичного характеру.

Аналіз небезпек, пов'язаних з терористичними актами із застосуванням

радіаційних, хімічних і біологічних компонентів, проведено в роботах [4, 5]. У публікаціях наголошено на необхідності системного підходу і координації діяльності зацікавлених відомств як в галузі освіти населення та підготовки кадрів, так і у сфері спеціальних технічних заходів щодо попередження таких надзвичайних ситуацій, запропоновано часоворієнтований комплекс заходів захисту населення в разі виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з ХБРЯ інцидентом терористичного характеру (рис. 3).

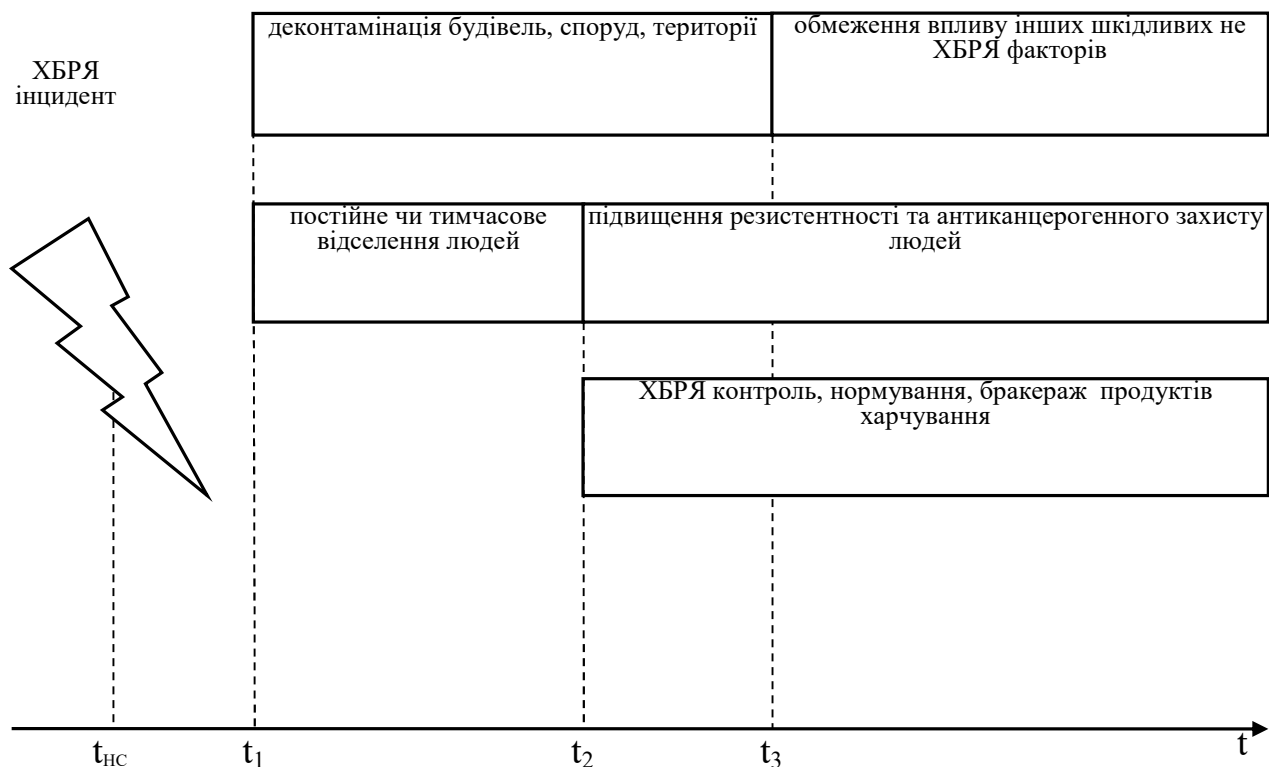


Рисунок 3 – Часоворієнтований комплекс заходів захисту населення в разі виникнення НС, пов'язаної з ХБРЯ інцидентом терористичного характеру

Стосовно ж розробки комплексу організаційно-технічних заходів управління безпекою, то в першу чергу необхідно істотно розширити сферу індикації та контролю ХБРЯ забруднення, і створити багатобар'єрний радіаційний, хімічний та біологічний захист, починаючи з державного рівня і закінчуючи окремими технічними рішеннями на конкретних об'єктах. Принципи, закладені в основу створення такого захисту, повинні носити універсальний характер, тобто застосовуватися для запобігання неконтрольованого переміщення будь-яких

джерел ХБРЯ забруднення як штучного, так і природного походження. Ці ж принципи повинні застосовуватися при розробці та виборі технічних засобів, що застосовуються для ХБРЯ індикації та контролю.

У роботах [6, 7] проведено аналіз та класифікацію інцидентів, пов'язаних із застосуванням біологічних агентів, з метою створення умов для виникнення техногенної надзвичайної ситуації. У проведених дослідженнях конкретні інциденти віднесені до відповідних груп залежно від типу суб'єкта та об'єкта застосування біологічних агентів (рис. 4).

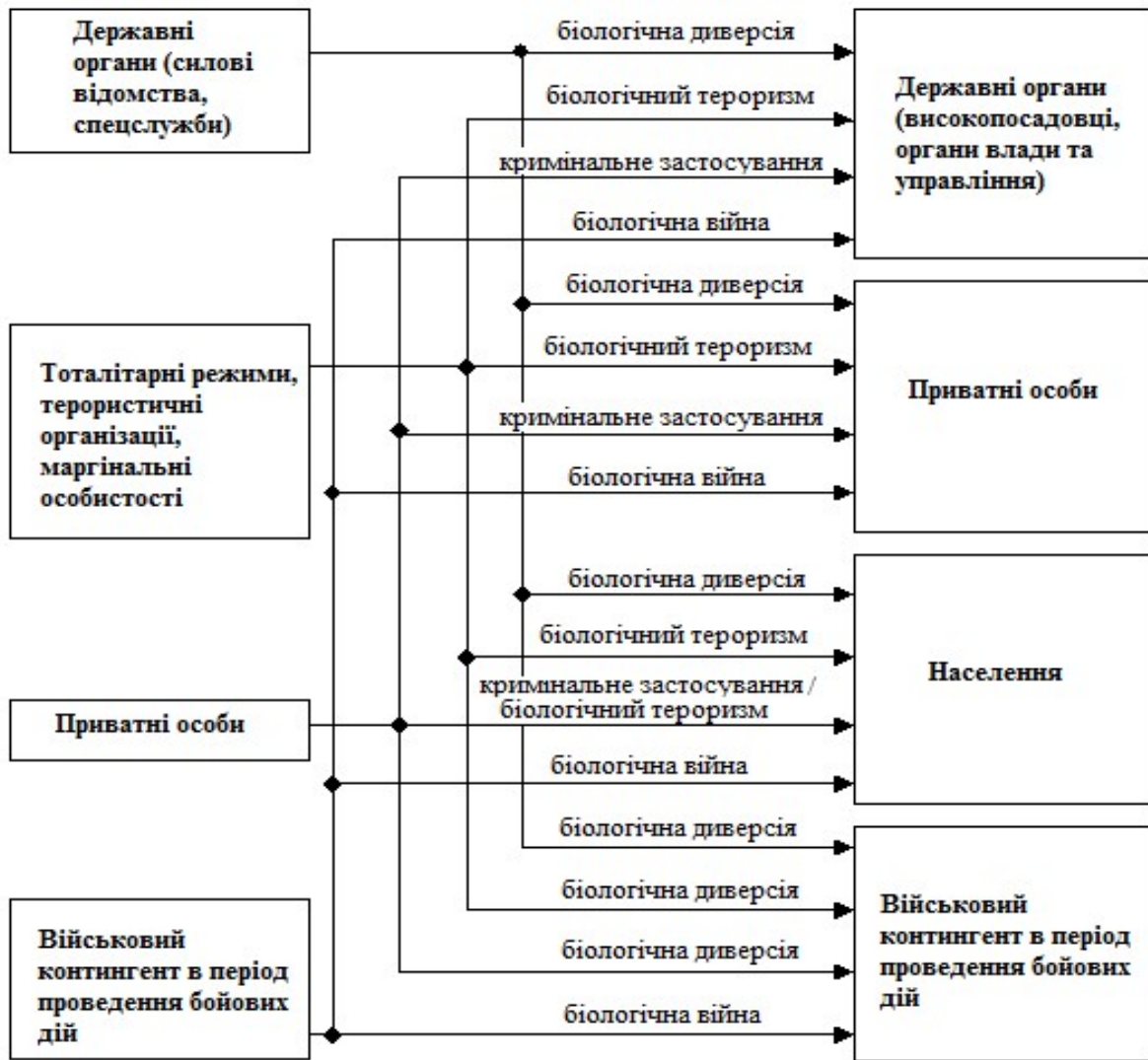


Рисунок 4 – Класифікація інцидентів, пов'язаних із застосуванням біологічних агентів

Проведення аналізу особливостей ХБРЯ інцидентів терористичного характеру, їх видів та причин виникнення [8] дозволяє розробити систему заходів антитерористичного спрямування за наступними чотирма напрямками:

- усунення причин, негативних факторів і умов, що породжують або сприяють виникненню терористичних проявів;
- адекватне і своєчасне реагування на негативні процеси, які становлять загрозу безпеці;
- надання ефективної допомоги правоохоронним органам і спецслужбам у їх боротьбі з терористичними проявами;
- пом'якшення та мінімізація наслідків терористичних актів, яких не вдалося запобігти.

Висновки. Таким чином, як показав аналіз небезпек, пов'язаних з хімічними, біологічними, радіаційними чи ядерними інцидентами терористичного характеру, проблема їх попередження та мінімізація наслідків на сьогодні є актуальним завданням, вирішення якого не можливе без розробки й застосування превентивного комплексу організаційно-технічних заходів, який включатиме низку складових [9]:

- науковий потенціал для вирішення очікуваних і прогнозованих завдань;
- високоточні і оперативні засоби індикації та контролю ХБРЯ забруднення;
- профільно-підготовлені фахівці;
- розроблення методик проведення робіт в умовах ХБРЯ забруднення;

– ефективно управління радіаційним, хімічним та біологічним захистом населення і територій;
– матеріальні ресурси і спеціальна техніка, призначені (орієнтовані) для відповідних цілей;

– навчання населення основам радіаційного, хімічного та біологічного захисту і правилам поведінки при терористичних актах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарадуда Д. В. Характеристика надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на потенційно небезпечних об'єктах / Д. В. Тарадуда // Науковий збірник «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист», – Київ, ДУ «ІГНС НАН України»: – 2016. – Вип. 10 – С. 20-24.

2. Андреев В. Г. Химический терроризм: возрастающая угроза / В. Г. Андреев // Обозреватель-Observer, – М: – 2004. – № 3 – С. 43-55.

3. Татаринов В. В. Радиационный, химический и биологический терроризм / В. В. Татаринов // Научный журнал «Технологии техносферной безопасности», – М.: – 2012. – Выпуск № 3 (43) – С. 1-7.

4. Василенко И. Я. Радиационный терроризм (медико-биологические аспекты) / И. Я. Василенко, О. И. Василенко // Бюллетень по атомной энергии, М.: – 2003, № 5 – С. 48-52.

5. Международный план по реагированию на инциденты с использованием ХБРЯ веществ. [Электронный ресурс] / Официальный сайт НАТО. – Электрон. дан. – 2007. – Режим доступа: <http://www.nato.int/docu/cep/cep-cbrn-training-ru.pdf>.

6. Васильев Н. Т. Биологический терроризм: прошлое, настоящее, будущее / Н. Т. Васильев, М. Ю. Тарасов, Д. Л. Поклонский // Сборник научных трудов «Химическая и биологическая безопасность», – М.: ВИНТИ. – 2002. – № 6. – С. 3-10.

7. Tucker J. B. Historical trends related to bioterrorism: an empirical analysis / J. B. Tucker // Emerg. Infect. Disease, 1999. – V. 5, № 4. – P. 498-504.

8. Тарадуда Д. В. Підхід до розробки стратегії безпеки від хбрю інцидентів терористичного характеру в Україні / Д. В. Тарадуда // Збірник наукових праць «Вісник Національного університету цивільного захисту України Серія "Державне управління"», – Х.: – 2017. – Випуск 1 (6) – С. 329-335.

9. Тарадуда Д. В. Підхід до кількісної оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах / Д. В. Тарадуда, М. О. Демент // Збірник наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій», – Х.: – 2016. – Випуск 24 – С. 126-132. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/taraduda.pdf>.

REFERENCES

1. Taraduda D. V. Kharakterystyka nadzvychainykh sytuatsii, poviazanykh z terorstychnymy aktamy na potentsiino nebezpechnykh ob'ektakh / D. V. Taraduda // Naukovyi zbirnyk «Tekhnohenno-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyi zakhyst», – Kyiv, DU «IHNS NAN Ukrainy»: – 2016. – Vyp. 10 – S. 20-24.

2. Andreev V. G. Himicheskij terrorizm: vozrastayushchaya ugroza / V. G. Andreev //

Obozrevatel'-Observer, – М: – 2004. – № 3 – S. 43-55.

3. Tatarinov V. V. Radiacionnyj, himicheskij i biologicheskij terrorizm / V. V. Tatarinov // Nauchnyj zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti», – М.: – 2012. – Vypusk № 3 (43) – S. 1-7.

4. Vasilenko I. YA. Radiacionnyj terrorizm (mediko-biologicheskije aspekty) / I. YA. Vasilenko, O. I. Vasilenko // Byulleten' po atomnoj ehnergii, М.: – 2003, № 5 – S. 48-52.

5. Mezhdunarodnyj plan po reagirovaniyu na incidenty s ispol'zovaniem HBRYA veshchestv. [Elektronnyj resurs] / Oficial'nyj sajt NATO. – Elektron. dan. – 2007. – Rezhim dostupa: <http://www.nato.int/docu/cep/cep-cbrn-training-ru.pdf>.

6. Vasil'ev N. T. Biologicheskij terrorizm: proshloe, nastoyashchee, budushchee / N. T. Vasil'ev, M. YU. Tarasov, D. L. Poklonskij // Sbornik nauchnyh trudov «Himicheskaya i biologicheskaya bezopasnost'», – M.: VINITI. – 2002. – № 6. – S. 3-10.

7. Taraduda D. V. Pidkhid do rozrobky stratehii bezpeky vid khbria intsydentiv terorystychnoho kharakteru v Ukraini / D. V.

Taraduda // Zbirnyk naukovykh prats «Visnyk Natsionalnoho universytetu tsyvilnoho zakhystu Ukrainy Serii "Derzhavne upravlinnia"», – Kh.: – 2017. – Vypusk 1 (6) – S. 329-335.

8. Taraduda D. V. Pidkhid do kilkisnoi otsinky nebezpeky vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii, poviazanykh z terorystychnymy aktamy na radiatsiino nebezpechnykh ob'ektakh / D. V. Taraduda, M. O. Dement // Zbirka naukovykh prats «Problemy nadzvychainykh sytuatsii», – Kh.: – 2016. – Vypusk 24 – S. 126-132. – Rezhym dostupu:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol24/taraduda.pdf>.

*Д. В. Тарадуда, канд. техн. наук,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ, СВЯЗАННЫХ С ХИМИЧЕСКИМИ, БИОЛОГИЧЕСКИМИ, РАДИАЦИОННЫМИ ИЛИ ЯДЕРНЫМИ ИНЦИДЕНТАМИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

В Украине, начиная с 2014 года, особенно стала актуальной проблема внутригосударственного терроризма. Главная причина существования которого обусловлена сепаратизмом и бесконтрольным оборотом оружия и средств массового поражения с оккупированных территорий, а чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть в результате применения террористами химических средств массового поражения, биологических агентов или радиоактивных веществ, масштабами последствий могут достигать Чернобыльской катастрофы, поэтому проблема предупреждения инцидентов с использованием химических, биологических, радиоактивных веществ или ядерных материалов террористического характера сегодня для Украины в частности и для мира в целом является чрезвычайно актуальной, а ее решение требует проведения детального анализа и характеристики таких опасностей.

В работе проведен анализ исследований, посвященных предупреждению опасностей, связанных с

химическими, биологическими, радиационными или ядерными инцидентами. В работе рассмотрена классификация инцидентов террористического характера, связанных с применением химически, биологически, радиационно опасных или ядерных материалов и средств осуществления чрезвычайных ситуаций.

В результате проведенного исследования установлено, что проблема предупреждения и минимизация последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с химическими, биологическими, радиационными или ядерными инцидентами террористического характера, на сегодня является актуальной, а ее решение невозможно без разработки и применения превентивного комплекса организационно-технических мероприятий, который должен включать ряд составляющих:

– научный потенциал для решения ожидаемых и прогнозируемых задач;

– высокоточные и оперативные средства индикации и контроля ХБРЯ загрязнения;

– профильно-подготовленные специалисты;

– разработка методик проведения работ в условиях ХБРЯ загрязнения;
– эффективное управление радиационной, химической и биологической защитой населения и территорий;
– материальные ресурсы и специальная техника, предназначенные (ориентированные) для соответствующих целей;

– обучение населения основам радиационной, химической и биологической защиты и правилам поведения при террористических актах.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, терроризм, террористический акт, ХБРЯ инцидент, анализ опасностей.

Taraduda D. V., PhD, National University of Civil Protection of Ukraine

ANALYSIS OF HAZARDS RELATED TO THE CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIATION OR NUCLEAR INCIDENTS OF A TERRORIST CHARACTER

In Ukraine, starting from 2014, the actual problem of domestic terrorism has become particularly acute. The main reason for its existence is due to separatism and uncontrolled trafficking of weapons and mass destruction from the occupied territories, and emergency situations that may arise as a result of the use of chemical weapons of mass destruction, biological agents or radioactive substances by terrorists, the scale of the consequences can reach the Chernobyl disaster, therefore the problem of prevention incidents involving chemical, biological, radioactive substances or nuclear materials the corrupt nature of today for Ukraine in particular and for the world as a whole is extremely relevant, and its decision requires detailed analysis and characterization of such dangers.

The paper analyzes studies on the prevention of hazards associated with chemical, biological, radiation or nuclear incidents. The paper deals with the classification of incidents of a terrorist nature connected with the application of chemical, biological, radiation-hazardous or nuclear materials and means for the implementation of emergency situations.

As a result of the study, it was established that the problem of preventing and minimizing the consequences of emergencies

involving chemical, biological, radiation or nuclear incidents of a terrorist nature is today relevant, and its solution is impossible without the development and application of a preventive set of organizational and technical measures that should include a number of components:

– scientific potential for solving expected and predictable tasks;

– high-precision and operational means of indicating and controlling CBRN contamination;

– well-trained specialists;

– development of methods for carrying out work in the context of CBRN contamination;

– effective management of radiation, chemical and biological protection of the population and territories;

– material resources and special equipment designed (targeted) for the corresponding purposes;

– teaching the population the basics of radiation, chemical and biological protection and the rules of conduct in the course of terrorist acts.

Key words: emergency, terrorism, terrorist attack, CBRN incident, hazard analysis.

Tsvirkun S., PhD, Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes

USING COMPUTER MODELING FOR SOLVING FIRE SAFETY OBJECTIVES

In the conditions of global informatization, the most important factor of social development and a means of increasing the effectiveness of all fields of activity are modern information technologies. The achievement of a high level of training of future fire safety specialists is based on the constant increase and accumulation of information received, in conditions of uncertainty, limited time, to minimize the risk of erroneous actions. This actualizes the problem of introducing computer modeling in the training of fire safety specialists that satisfy the state of modern society.

Formulation of Problems. The number of fires in Ukraine over the past decade has been steadily increasing, even with population demographic decline and the development of science and technology designed to minimize this phenomenon. This problem is especially urgent at the present time, when there is a transition to flexible regulation of fire safety issues and increasing responsibility of owners and business leaders for providing fire protection to the facility. When performing these tasks, it is impossible to do without the use of computer modeling in fire safety.

The Analysis of Recent Researches and Publications. Significant contributions to the development of information technology on fire safety issues were made by such scholars as: O.H. Dodonov, O.V. Koval, O.Yu. Petropavlovskiyi. When studying the disciplines of fire and prophylactic direction it is almost impossible to do without the use of modern computer modeling. Thus, the issue of using new information technologies in order to increase the efficiency of training fire safety specialists is relevant and rapidly developing.

Formulating the goals of the article. To ensure the fire safety of the facility, it is impossible to do without a system analysis. System analysis allows you to determine the features of objects on which it is necessary to assess the state of fire safety; helps to formulate the criteria for assessing the provision of fire safety and the main functional tasks that the management system should perform. It includes computational experiments to simulate various scenarios of fire development, makes it possible to reproduce various calculated fire scenarios, provides an effective implementation of the

system and user-friendly interface due to the correct selection and organization of software and hardware, helps to train and control knowledge on fire safety of personnel and visitors to the facility, etc. At the same time, important security solutions can be adopted only with the appropriate training of specialists in this direction. The purpose of the work is to consider computer modeling for solving tasks of fire safety.

Presentation of the main research material. A large number of engineering calculations is conducted in fire prevention activities, they are impossible to imagine without the use of computer modeling.

Simulation of smoke protection is presented as the example of information technology usage in the hydro- aerodynamic calculations [1]. The object of modeling is the room in the high-rise hotel with the standard hotel fire load (Fig. 1).

Modeling defines the time of reaching a critical level of exposure of fire hazards with non-functioning systems of smoke protection and firefighting (Fig. 2, a), with a functioning smoke removal system (Fig. 2, b) and firefighting (Fig.3), rational location of the valve of smoke removal system in the room is defined as well.

One of the types of the smoke protection – is the creation of excess pressure in the protected volume. Model of the fragment of a 16-storey residential building with a staircase of the H2 type (Fig. 4) [2]. Numerical simulation of smoke protection of 16-storey building with a staircase H2 is performed. The calculated parameters of the pump provide pressure of 20 Pascal at 1st floor level (Fig.5).

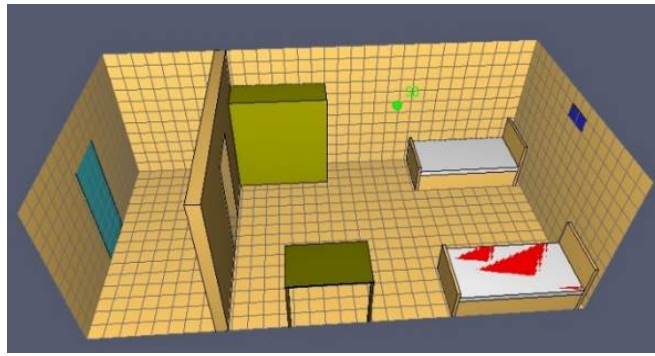


Fig. 1. Model of the Room in a Multistoried Hotel.

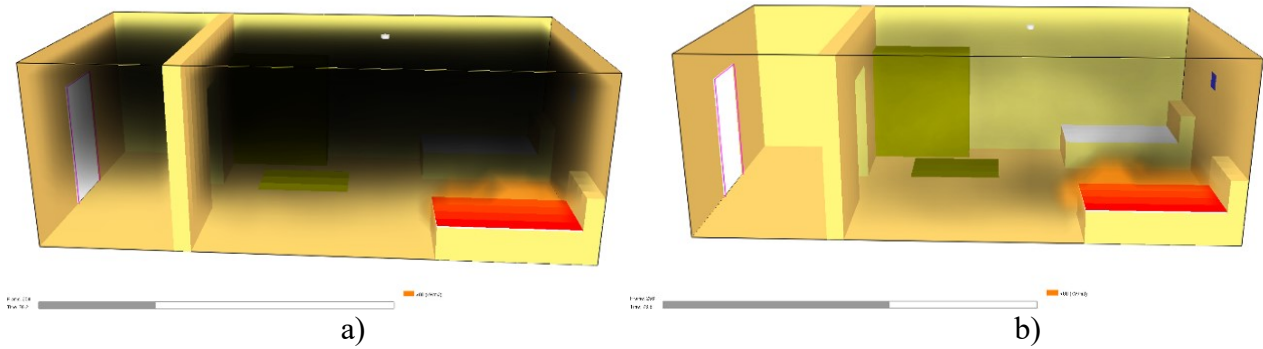


Fig. 2. Model of the Room without (a) and with the System (b) of Smoke protection (76 sec from the start of the fire).

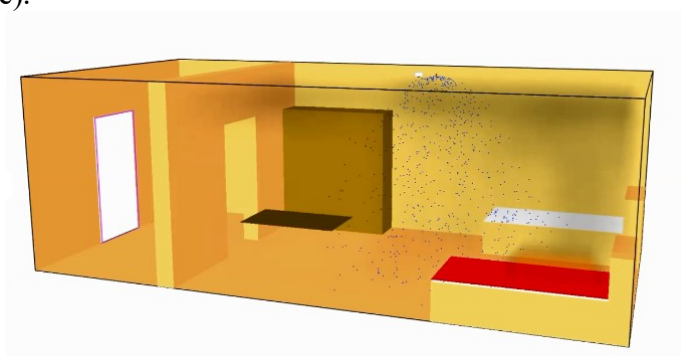


Fig. 3. Model of the room with a functioning smoke removal system.

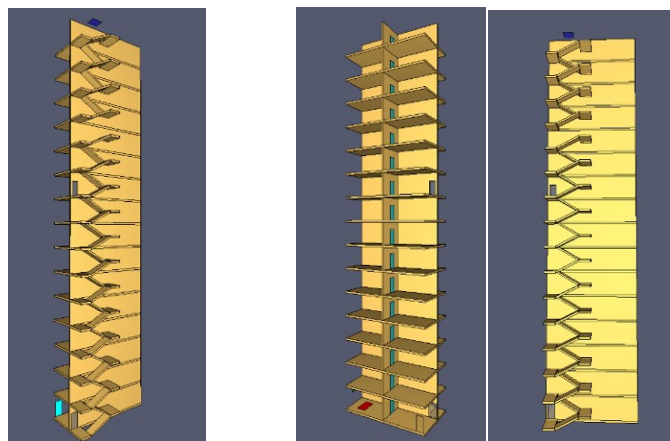


Fig. 4. Model of the fragment of a 16-storey residential building with a staircase of the H2 type.

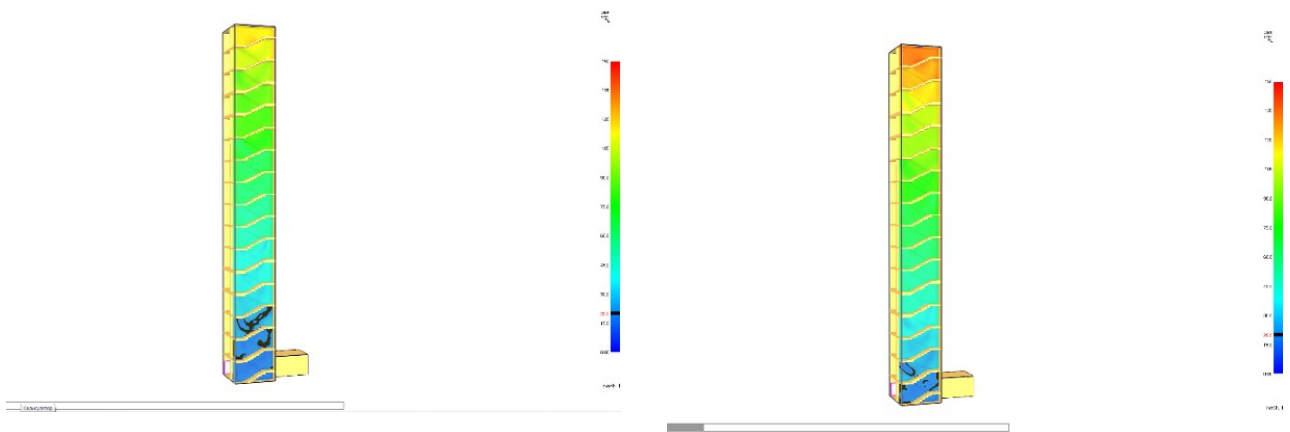


Fig. 5. Fields of pressures in the stairwell H2 at 60 and 180 seconds (black zone – zone of pressure 20 Pascal).

Universal software systems can be recommended for hydro- aerodynamics calculations Ansys [3], FlowVision [4], FDS [5].

It is recommended to use FDS software package to calculate the parameters of fire with the help of the field method [5]. Smokeview - the accompanying program, which displays the output FDS files in a graphic format.

Simulation of several fire scenarios at the educational establishment is presented as an

example (Fig.6) [3]. One of the scenarios of the possible fire at the club, the second in the wardrobe have been chosen as the worst-case scenarios of fire development (Fig.7).

Pathfinder – is the software for the design of evacuation in emergencies [6]. Pathfinder allows you to perform calculation of evacuation time and time of existence of crowds using individual flow-motion model (Fig.8).

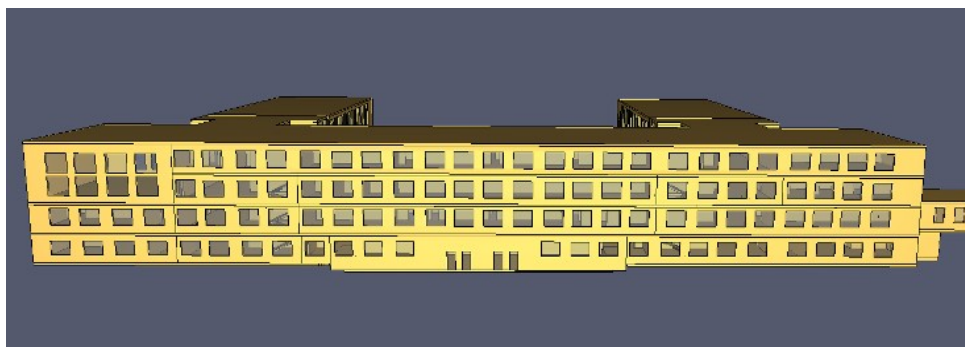


Fig. 6. Model of the educational establishment.

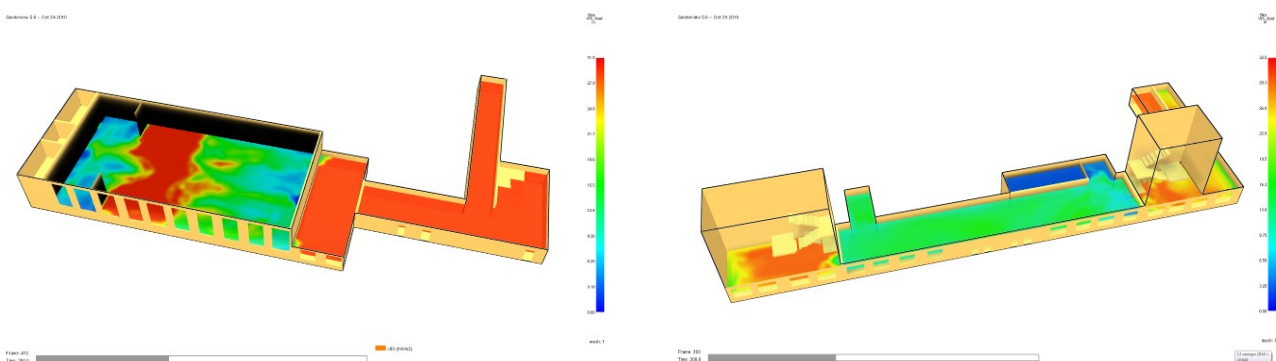


Fig. 7. The fields of vision in cases of conditional fire in the club and the wardrobe

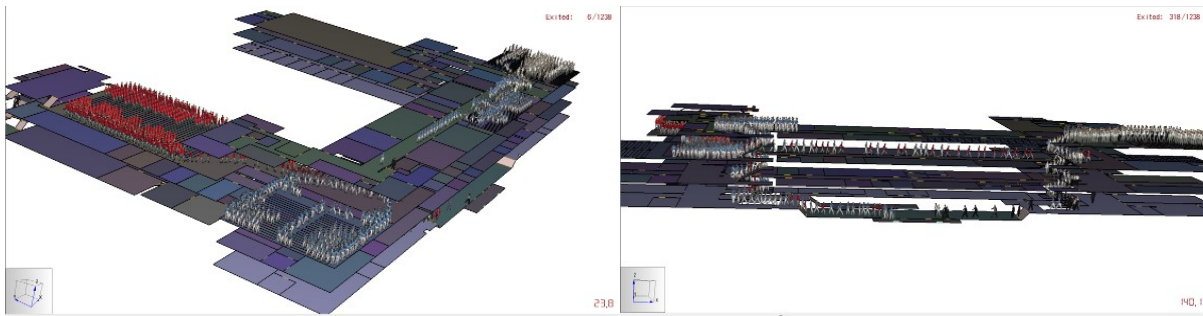


Fig. 8. Simulation of evacuation from the educational establishment.

Interactive 3D-application allows you to visualize simulation results. Virtual tour or interactive 3D-application - a software product that allows you to visualize, navigate, interact with 3D-model.

Interactive 3D-application allows you to organize trainings for remote or dangerous industries. Having 3D-model of a tank farm or a nuclear power plant (Fig.9,10), there is no need to go to the object for training: you can conduct

training in the classroom, the student will not only be able to virtually explore the object, but also to play various scenario cases with the instructor.

At the same time to increase the efficiency user can watch the process both from the outside and being inside the virtual object.

Models and results of simulation presented in the article are worked out by the employees of the chair.

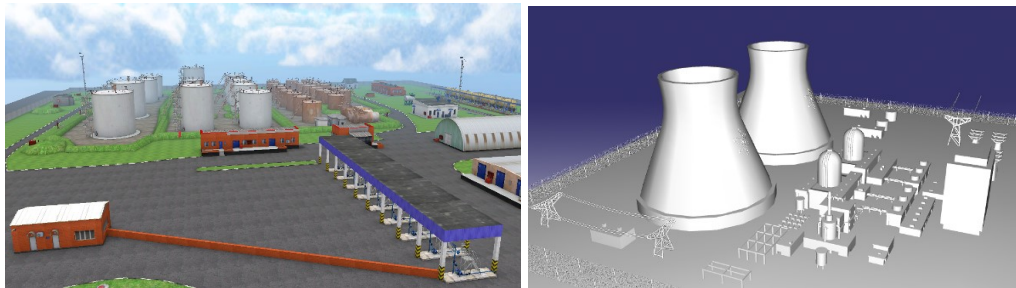


Fig. 9. Models of a tank farms and a nuclear power plant.



Fig. 10. Model of the Premises of Production Enterprise.

Conclusion. The use of computer modeling for solving tasks of fire safety can improve the scientific level, reliability, probative value and visibility of expert's studies and, in general, to achieve a new level of providing fire safety at facilities of different forms of ownership and activities.

Prospects for further researches. Based on the above, and taking into consideration the

processes of integration and transition to the European standards and methods of calculation, it is proposed to introduce modern software and training systems, which allow to increase the level of training of specialists of fire and technological safety into education structures of SES of Ukraine.

LIST OF REFERENCES

1. Tsvirkun S.V. Ensuring the safe evacuation of people in case of fire in the building of the hotel with height of more than 26.5 m // Fire safety: theory and practice. – 2013. – №15. – С. 142-146.
2. Tsvirkun S.V., Berezovskyi A.I. Melnyk V.P.. Design of the unblanketed stair cages with the help of the fire dynamics simulator (FDS). // Scientific announcer of building; part. №1 (79). – Kharkiv : KhNUBA, 2015. – С. 214–219.
3. Ansys [Electronic resource] <http://www.ansys.com/>
4. FlowVision [Electronic resource] <https://fv-tech.com>.
5. Fire Dynamics Simulator [Electronic resource] <http://fds.sitis.ru/>
6. Agent Based Evacuation Simulation Advanced movement simulation combined with high-quality 3-D animated results, gives you reliable answers quickly [Electronic resource] <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>

*С. В. Цвіркун, канд. техн. наук, доцент,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

В умовах глобальної інформатизації важливим фактором суспільного розвитку та засобу підвищення результативності всіх сфер діяльності виступають сучасні інформаційні технології. Досягнення високого рівня підготовки майбутніх фахівців пожежної безпеки полягає в тому, щоб на основі постійного збільшення та накопичення отриманої інформації, в умовах

невизначеності, обмеженості часу, мінімізувати ризик помилкових дій. Це актуалізує проблему впровадження комп'ютерного моделювання при підготовці фахівців пожежної безпеки, що задовольняє стан сучасного суспільства.

Ключові слова: *комп'ютерне моделювання, пожежна безпека, інженерні розрахунки.*

*С. В. Цвіркун, канд. техн. наук, доцент,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В условиях глобальной информатизации важнейшим фактором общественного развития и средством повышения результативности всех сфер деятельности выступают современные информационные технологии. Достижение высокого уровня подготовки будущих специалистов пожарной безопасности состоит в том, чтобы на основе постоянного увеличения и накопления полученной информации, в

условиях неопределенности, ограниченности времени, минимизировать риск ошибочных действий. Это актуализирует проблему внедрения компьютерного моделирования при подготовке специалистов пожарной безопасности, удовлетворяющих состоянию современного общества.

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, пожарная безопасность, инженерные расчеты.*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сборника научных трудов

Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

Национального университета гражданской защиты Украины

«Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – *Тищенко Александр Михайлович*, канд. техн. наук, проф. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА – *Поздеев Сергей Валерьевич*, д-р техн. наук, проф. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – *Школяр Евгений Владимирович*, канд. психол. наук (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Абрамов Юрий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. (Национальный университет гражданской защиты Украины (г. Харьков);

Акиншин Валерий Дмитриевич, д-р физ-мат. наук, проф. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Беликов Анатолий Серафимович, д-р техн. наук, проф. (ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (г. Днепр);

Ватуля Глеб Леонидович, д-р техн. наук, доц. (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта (г. Харьков);

Ващенко Вячеслав Андреевич, д-р техн. наук, проф. (Черкасский государственный технологический университет);

Волянин Ежи, д-р техн. наук, проф. (Главная школа пожарной службы (г. Варшава, Республика Польша);

Дья Хенрик, д-р техн. наук, проф. (Ченстоховский политехнический университет (Республика Польша)

Кырыченко Оксана Вячеславовна, д-р техн. наук, с. н. с. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Кнапиньський Марцин, д-р техн. наук (Ченстоховский политехнический университет (Республика Польша);

Кэннка Павел, д-р техн. наук (Главная школа пожарной службы (г. Варшава, Республика Польша);

Ковальшин Василий Васильевич, д-р техн. наук, проф. (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности);

Мазур Валерий Леонидович, д-р техн. наук, проф. (Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины (г. Киев)

Мызерський Анжей, д-р техн. наук, проф. (Главная школа пожарной службы (г. Варшава, Республика Польша);

Мосов Сергей Петрович, д-р воен. наук, проф. (Национальная академия государственного управления при Президенте Украины (г. Киев)

Осипенко Василий Иванович, д-р техн. наук, проф. (Черкасский государственный технологический университет);

Радомяк Хенрик, д-р техн. наук (Ченстоховский политехнический университет (Республика Польша);

Семерак Михаил Михайлович, д-р техн. наук, проф. (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности);

Тарасенко Александр Андреевич, д-р техн. наук, с. н. с. (Национальный университет гражданской защиты Украины (г. Харьков)

Землянский Олег Николаевич, канд. техн. наук, доц. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Камлюк Андрей Николаевич, канд. техн. наук, доц. (Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (г. Минск);

Некора Ольга Валерьевна, канд. техн. наук, с. н. с. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Нуязин Виталий Михайлович, канд. техн. наук (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Стась Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доц. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Пармон Валерий Викторович, канд. техн. наук, доц. (Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (г. Минск);

Полевода Иван Иванович, канд. техн. наук, доц. (Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (г. Минск);

Швыденко Андрей Валерьевич, канд. техн. наук, доц. (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины);

Ясколовський Вальдемар, канд. техн. наук (Главная школа пожарной службы (г. Варшава, Польша).

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР – Рябоконт Виктория Викторовна, канд. пед. наук (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины).

РЕДАКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ СО ЗНАНИЕМ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА – Хряпак Сергей Александрович, канд. филол. наук (Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины).

EDITORIAL BOARD
Collection of Scientific Papers
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes
«Emergencies: Prevention and Liquidation»

EDITOR IN CHIEF – *Tyshchenko Oleksandr Mykhailovych*, PhD in Technical Sciences, Professor (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

DEPUTY EDITOR – *Pozdieiev Serhii Valeriiovych*, Doctor of Technical Sciences, Professor (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

EXECUTIVE SECRETARY – *Shkoliar Yevhenii Volodymyrovych*, PhD in Psychological Sciences (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Abramov Yurii Oleksiiovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (National University of Civil Protection of Ukraine (Kharkiv))

Akinshyn Valerii Dmytrovych, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Anzhei Mizerskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor (The Main School of Fire Service (Warsaw, the Republic of Poland));

Bielikov Anatolii Serafimovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (SHEE «Prydniprovskaya State Academy of Construction and Architecture» (Dnipro));

Vatulia Hlib Leonidovych, Doctor of Technical Sciences, Docent (Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv));

Vashchenko Viacheslav Andriiovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (Cherkasy State Technological University);

Yezhy Volianin, Doctor of Technical Sciences, Professor (The Main School of Fire Service (Warsaw, the Republic of Poland))

Kyrychenko Oksana Viacheslavivna, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Kovalyshyn Vasyl Vasylovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (Lviv State University of Life Safety);

Mazur Valerii Leonidovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv))

Martsin Knapinskyi, Doctor of Technical Sciences (Czestochowa University of Technology (the Republic of Poland))

Mosov Serhii Petrovych, Doctor of Military Sciences, Professor (NAPA under the President of Ukraine (Kyiv));

Osypenko Vasyl Ivanovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (Cherkasy State Technological University);

Pavel Kenpka, Doctor of Technical Sciences (The Main School of Fire Service (Warsaw, the Republic of Poland));

Semerak Mykhailo Mykhailovych, Doctor of Technical Sciences, Professor (Lviv State University of Life Safety);

Tarasenko Oleksandr Andriiovych, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher (National University of Civil Protection of Ukraine (Kharkiv));

Khenrik Dya, Doctor of Technical Sciences, Professor (Czestochowa University of Technology (the Republic of Poland));

Khenrik Radomiak, Doctor of Technical Sciences (Czestochowa University of Technology (the Republic of Poland));

Valdemar Yaskolovskyi, PhD in Technical Sciences (The Main School of Fire Service (Warsaw, the Republic of Poland));

Zemlianskyi Oleh Mykolaiovych, PhD in Technical Sciences, Docent (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Kamliuk Andrii Mykolaiovych, PhD in Technical Sciences, Docent (University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus (Minsk));

Nekora Olha Valeriivna, PhD in Technical Sciences, Senior Researcher (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Nuianzin Vitalii Mykhailovych, PhD in Technical Sciences (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Stas Serhii Vasylovych, PhD in Technical Sciences, Docent (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine);

Parmon Valerii Viktorovych, PhD in Technical Sciences, Docent (University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus (Minsk));

Polievoda Ivan Ivanovych, PhD in Technical Sciences, Docent (University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus (Minsk));

Shvydenko Andrii Valeriiovych, PhD in Technical Sciences, Docent (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine).

TECHNICAL EDITOR – Riabokon Viktoriia Viktorivna, PhD in Pedagogical Sciences (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine).

EDITOR OF TECHNICAL TEXTS WITH KNOWLEDGE OF ENGLISH – Khriapak Serhii Oleksandrovyich, PhD in Philological Sciences (Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine).

Наукове видання

**УДК 614.8
Н 17**

Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація :
збірник наукових праць. – Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв
Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. – № 1. – 124 с.

Підписано до друку 30.11.2017.

Ум. друк. арк. 15,5. Обл.-вид. арк. 8,3

Зам. № 86.

Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.