



#### Редакційна колегія:

головний редактор –  
голова редколегії  
канд. техн. наук  
заст. головного редактора  
канд. техн. наук  
науковий редактор–  
відповідальний секретар  
канд. техн. наук

д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
д-р техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
канд. хім. наук  
канд. хім. наук

канд. техн. наук  
канд. техн. наук  
PhDEng.  
PhDEng.

літературний редактор  
(англійська мова)  
літературний редактор  
(українська мова)  
технічний редактор

**Новак С.В.**

**Коваленко В.В.**

**Огурицов С.Ю.**

**Жартівський С.В.**

**Баланюк В.М.**

**Кириченко О.В.**

**Костенко В.К.**

**Костенко Т.В.**

**Мирошник О.М.**

**Нікулін О.Ф.**

**Поздєєв С.В.**

**Тютюнник В.В.**

**Боровиков В.О.**

**Кравченко Р.І.**

**Кропивницький В.С.**

**Ніжник В.В.**

**Сізіков О.О.**

**Білошицький М.В.**

**Ліхнівський Р.В.**

**Іванов Ю.С.**

**Навроцький О.Д.**

**Врублевський Д.**

**Самберг А.**

**Івашина Н.О.**

**Струтинська В.М.**

**О.Вовк**

Заснований у 2016 році  
Виходить 2 рази на рік

Засновник  
Український науково-дослідний інститут  
цивільного захисту (УкрНДЦЗ)  
Видавець  
Український науково-дослідний інститут  
цивільного захисту (УкрНДЦЗ)

Журнал зареєстровано Міністерством  
юстиції України  
Свідоцтво від 12.03.2016  
серія КВ № 21910-11810ПР

Журнал включено до категорії «В» Переліку  
наукових фахових видань України в галузі  
технічних наук за спеціальностями 21.06.02  
«Пожежна безпека» та 21.02.03 «Цивільний  
захист».

Наказ Міністерства освіти і науки України  
від 24.05.2018 № 527

У разі передрукування матеріалів письмовий  
дозвіл УкрНДЦЗ є обов'язковим

Рекомендовано до видання рішенням науково-  
технічної ради УкрНДЦЗ  
Протокол від 27.06.2019 № 7

Ідентифікатор випуску DOI:  
<https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.1>

Підписано до друку 27.06.2019

#### Адреса редакції:

01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18

#### Телефони:

(+380 44) 254-52-26; 280-18-01

<https://nvcz.undicz.org.ua>

e-mail: [u\\_secretar@ukr.net](mailto:u_secretar@ukr.net),

[S.Ohurtsov@undicz.dsns.gov.ua](mailto:S.Ohurtsov@undicz.dsns.gov.ua)

Формат 60 × 84/8.

Наклад 50 прим.

## ЗМІСТ

## CONTENTS

- С.М. Неменуша, О.О. Фесенко, В.М. Лисюк**  
 Підприємства по зберіганню зерна: ризик виникнення пожеж **3**
- О.М. Нуянзін, Т.В. Самченко, С. В. Поздєєв, М. А. Кришталь, С. А. Ведула**  
 Дослідження температурних режимів пожежі у кабельних тунелях за їх різних параметрів **13**
- В. В. Ніжник**  
 Дослідження теплового впливу вогнища пожежі через віконний проріз будівлі на елементи суміжних об'єктів **26**
- О. М. Тесленко, С. З. Цимбалістий, Н. В. Кравченко, О. Г. Доценко, О. М. Крикун**  
 Аналіз існуючих програмних комплексів для розрахунку часу евакуації людей під час пожежі **33**
- В. С. Бенедюк, І. Г. Стилик, О. М. Тимошенко, А. О. Грачов, О. В. Куртов**  
 Обґрунтування технічних вимог пожежного маячка **40**
- В. Ф. Коробкін, В. В. Коваленко, Б. М. Ковалишин**  
 Аналіз вимог та методів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку **47**
- А.І. Кодрик, О.Ф. Нікулін, О.М. Тітенко, С.М. Шахов, О. В. Куртов,**  
 Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни **54**
- С. В. Новак, В. Л. Дрізд, П. О. Іллюченко**  
 Підвищення стійкості кабелів до поширення полум'я шляхом облицювання металевого кабельного коробу реактивним вогнезахисним матеріалом **64**
- Р.В. Климаць, А.В. Одинець, Д.Я. Матвійчук, Л.П. Несенюк**  
 Результати аналізу основних показників статистики пожеж в Україні по відношенню до часу прибуття першого підрозділу пожежної охорони **76**
- О.П. Борис**  
 Визначення напрямів державного регулювання у сфері пожежної безпеки на основі розгляду даних статистики пожеж **85**
- В. В. Кавецький, М. В. Білошицький, С. А. Єременко, А. В. Пруський, М. І. Копильний, О. В. Корнієнко**  
 Проблемні питання надійності порошкових засобів пожежогасіння і шляхи їх вирішення **92**
- S. Nemenushcha, O. Fesenko, V. Lysiuk**  
 Agricultural storage enterprises: risk of fire damage
- O. Nuianzin, T. Samchenko, S. Pozdieiev, M. Kryshtal, S. Vedula**  
 Study of temperature fire modes in cable tunnels with different parameters
- V. Nizhnyk**  
 Studies of the thermal effect of a fire torch in a window opening of a building on elements of adjacent objects
- O. Teslenko, S. Tymbalistyi, N. Kravchenko, O. Dotsenko, O. Krykun**  
 Analysis of existing software complexes for calculating the evacuation time of people during a fire
- V. Benediuk, I. Stylyk, A. Tymoshenko, A. Grachev, O. Kurtov**  
 Justification of technical requirements of light beacon
- V. Korobkin, V. Kovalenko, B. Kovalyshyn**  
 Analysis of requirements and methods of testing of roofs and roofing materials to fire hazard
- A. Kodryk, O. Nikulin, O. Titenko, S. Shakhov, A. Kurtov**  
 Dependence of compression foam properties from working parameters of foam generation process
- S. Novak, V. Drizhd, P. Illiuchenko**  
 Increase the cable resistance to the flame propagation through the facing of the metal cable box with reactive fire protection material
- R. Klymas, A. Odynets, D. Matviichuk, L. Nesenjuk**  
 Results of analysis of the main indicators of fire statistics in Ukraine with regard to the time of arrival of the first fire-fighting units
- O. Borys**  
 Determination of public regulation directions in the sphere of fire safety on the basis of consideration of data of fire statistics
- V. Kavetskyi, M. Biloshytskyi, S. Yeremenko, A. Pruskyi, M. Kopylnyi, O. Korniienko**  
 Problematic issues of the powder fire extinguishing means reliability and ways of their solution

УДК 614.841.415

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ПОЖЕЖІ У КАБЕЛЬНИХ ТУНЕЛЯХ ЗА ЇХ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ

О. М. Нуянзін, канд. техн. наук, Т. В. Самченко\*, С. В. Поздєєв, д-р. техн. наук, проф.,  
М. А. Кришталь, канд. психол. наук, проф., С. А. Ведула  
ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 23.04.2019  
Пройшла рецензування: 24.06.2019

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

кабельний тунель, температурний режим пожежі, комп'ютерне моделювання, обчислювальний експеримент

### АНОТАЦІЯ

Моделювання, як метод наукового дослідження дає можливість, не виконуючи матеріально затратних та трудомістких натурних експериментів на моделях проводити всі необхідні досліді щодо визначення температурних режимів пожежі у кабельних тунелях. Метою проведення досліджень даної роботи є визначення температурного режиму пожежі у кабельному тунелі залежно від його форми, розмірів та пожежного навантаження. У одному з програмних комплексів CFD були створені комп'ютерні моделі кабельних тунелів. Проведено обчислювальні експерименти та визначено температурні режими пожеж у тунелях з різними параметрами. У даній роботі дістало подальшого розвитку застосування обчислювальних експериментів для дослідження процесів тепломасообміну при пожежах у кабельних тунелях.

**Постановка проблеми.** Кабельна продукція постійно розвивається і вдосконалюється. Для проведення випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів використовується стандартний температурний режим пожежі, який може не відповідати режиму пожежі у реальному кабельному тунелі.

Дослідження температурного режиму пожежі є актуальним питанням, так як кабельні тунелі відрізняються геометричною конфігурацією, видом кабелів, що прокладені у них, пожежним навантаженням та аеродинамічними характеристиками. Це може привести до того, що температурний режим пожежі у таких тунелях може відрізнятись як від стандартного так і між собою. У такому разі не можна гарантувати відповідність меж

вогнестійкості випробовуваних конструкцій чинним нормативам. В цьому випадку може істотно знизиться безпека людей і матеріальних цінностей під час пожеж у кабельних тунелях.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** У останні роки ширше застосування отримали як експериментальні випробування так і чисельне моделювання [3-8]. Зокрема дані методи використовуються з метою дослідження параметрів пожеж у кабельних тунелях.

Часто серед дослідників України цитується робота [3], в якій запропоновано температурний режим пожежі у тунелях. При цьому не враховано залежність температури від пожежного навантаження та геометричних розмірів тунелю, а аеродинамічні показники усереднено.

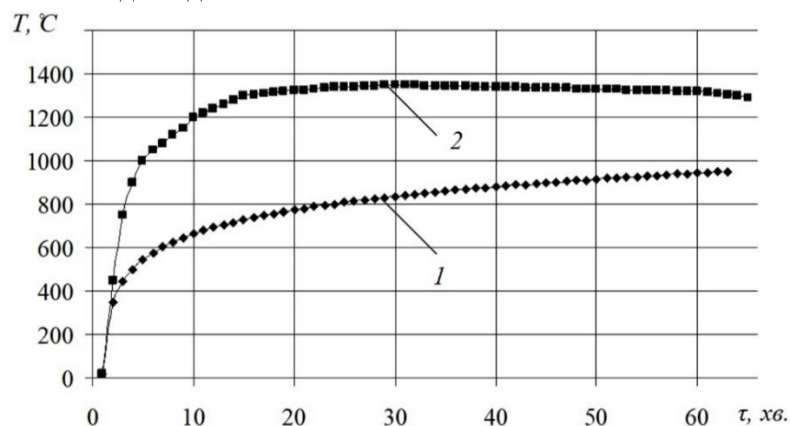


Рисунок 1 – Температурні режими пожежі: 1 – стандартний температурний режим пожежі [2]; 2 – режим пожежі в тунелях відповідно до [3].

Дослідження [4] показує, що температура в осередку реальної пожежі сягала 800-900°C. На основі даної інформації було обрано місця контролю температури у комп'ютерній моделі.

В роботі [5] встановлено, що ширина тунелю мало впливає на швидкість вигорання пожежного навантаження. Тому було прийнято рішення дослідити тунелі з різною площею поперечного перерізу. Робота [6] описує групу повномасштабних експериментів. Вимірювались розподіли температури в тунелях з різними умовами вентиляції. Проведені дослідження дали змогу визначити межі значення горизонтальної складової швидкості руху повітря для експериментальних досліджень.

У чисельному моделюванні [7] проаналізовано причини пожеж у тунелях. Таким чином було обрано джерело початку пожежі.

Робота [8] присвячена аналізу параметрів швидкості вигорання ізоляції ПВХ-кабелю. Було розглянуто лінійна швидкість поширення пожежі при різному виді укладки кабелів. Незважаючи на практичну значущість таких результатів, не розглянуто в достатній мірі методи укладки кабелів у тунелях прямокутного перерізу.

У роботі [9] проведено польові випробування у кабельному тунелі. Моделювалась пожежа при ініціації горіння горючою рідиною та подальшому горінні кабелів. Завдяки цій роботі були отримані дані, які можливо було використовувати для верифікації математичних моделей.

У роботі [10] проведено перевірку адекватності математичних моделей на основі експериментальних даних з роботи [9]. З цією метою, були розраховані критерії адекватності (Т-критерій Стьюдента, Q-критерій Кохрена, F-критерій Фішера) та відносна похибка розрахункових даних від експериментальних. Доведено ефективність моделювання теплових процесів для проведення подальших досліджень температурних режимів пожежі у кабельних тунелях. Відповідно до роботи [11] дисперсія температур при пожежі впливає на межу вогнестійкості будівельних конструкцій. У роботі [12] проведено аналіз метрологічного забезпечення натурних експериментів. Завдяки цьому можливо правильно обрати засоби вимірювальної техніки.

Дослідження проведені в даній науковій статті направлені на створення комп'ютерних моделей кабельного тунелю, в яких було проведено обчислювальні експерименти.

Комп'ютерне моделювання обрано як інструмент, що має переваги перед натурними дослідженнями у екологічності, економічності та ефективності. Завдяки підтвердженню адекватності результатів комп'ютерного моделювання даними верифікації [10] стало можливим дослідити температурні режими пожеж у кабельних тунелях різного розміру та з різним пожежним навантаженням.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.** Відповідно до проведених раніше досліджень [3-12], різноманітність конструктивних особливостей кабельних тунелів, їхнього пожежного навантаження, притоку та відтоку газів та інших параметрів зумовлює суттєві відмінності температурних режимів пожежі. Зокрема, сучасна ізоляція кабельної продукції може відрізнитись за пожежно-технічними характеристиками від вивченої вченими [3-12].

У даній роботі досліджуються температурні режими пожежі у кабельних тунелях залежно від розмірів, аеродинамічних показників та пожежного навантаження.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Визначити температурний режим пожежі у кабельних тунелях з різними розмірами, аеродинамічними показниками та пожежним навантаженням, а також залежність температурного режиму пожежі від зазначених параметрів. Для цього, у середовищі програмного комплексу FDS необхідно провести комп'ютерне моделювання тепломасообміну при пожежі у кабельних тунелях та проаналізувати отримані результати.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.** Для проведення обчислювального експерименту створюється комп'ютерна модель кабельного тунелю. Використовується наступна послідовність розрахункових процедур:

1. За допомогою САД програми створюється геометрична конфігурація кабельного тунелю необхідних розмірів. Всередині створюються моделі кабелів, сталевих кутків, отвору для виходу продуктів горіння та місця підпору повітря. Геометрична модель імпортується в середовище розрахункового комплексу FDS [7, 9].

2. Вводяться початкові параметри моделювання, які неможливо змінити у процесі розрахунку: початкова температура середовища, підпір повітря з одного боку тунелю (здавався у вигляді горизонтальної складової швидкості руху повітря величиною

5 м/с [6]), необхідний час пожежі (35 хв.) [9], кількість та площа отворів для виходу продуктів горіння.

3. Ініціюється процес горіння у середній частині тунелю безпосередньо на кабелях.

4. Після проведення розрахунку відбувається аналіз температурно-часових кривих пожежі у зоні безпосереднього горіння кабельного тунелю та температурного градієнту.

З метою контролю температурного режиму засобами комп'ютерного комплексу FDS було створено 45 місць її контролю (рис. 4). Місця контролю температури створювались за наступним принципом:

1) у площині поперечного перерізу зони запалення 1 місце контролю в геометричному центрі та ще 4 місця у геометричних центрах утворених чвертей (рис. 2).

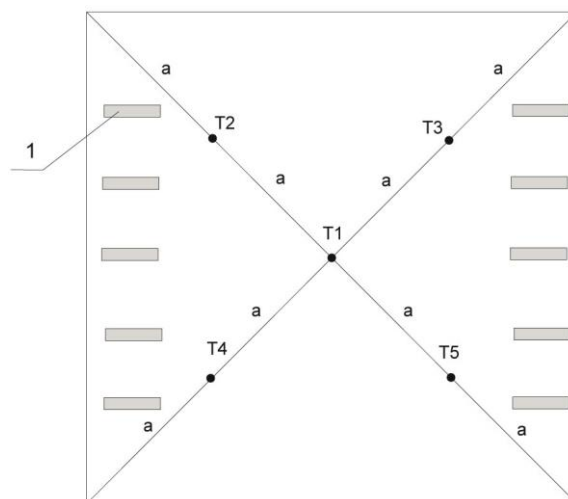


Рисунок 2 – Схема розташування місць контролю температури у геометричному перерізі кабельного тунелю: 1 – кабельна лінія, T1 – T5 – місця контролю температури, а – параметр геометричного розміру в залежності від поперечного перерізу тунелю.

2) створено 10 площин, по 5 місць контролю у кожній: 2 площини на відстані 0,5 м від осередку пожежі у різному напрямку. Також на відстані 2, 4, 6 м. Загальна схема розташування площин показана на рис. 3.

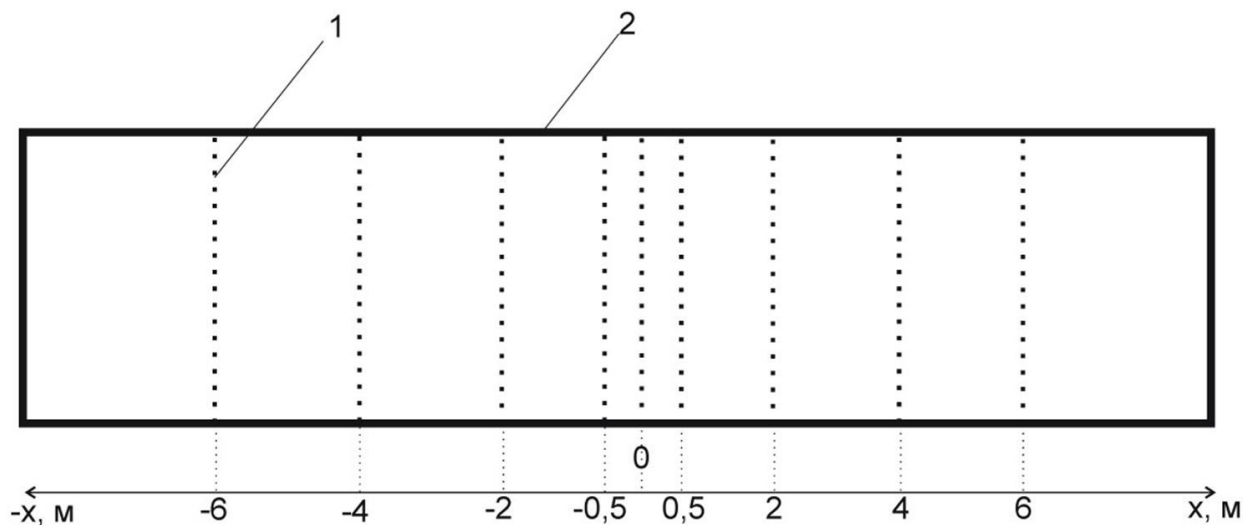


Рисунок 3 – Схема розташування площин, у яких розміщувались місця контролю температури по довжині кабельного тунелю: 1 – площина, у якій розміщено 5 місць контролю температури способом показаним на рис. 4, 2 – огороження кабельного тунелю.

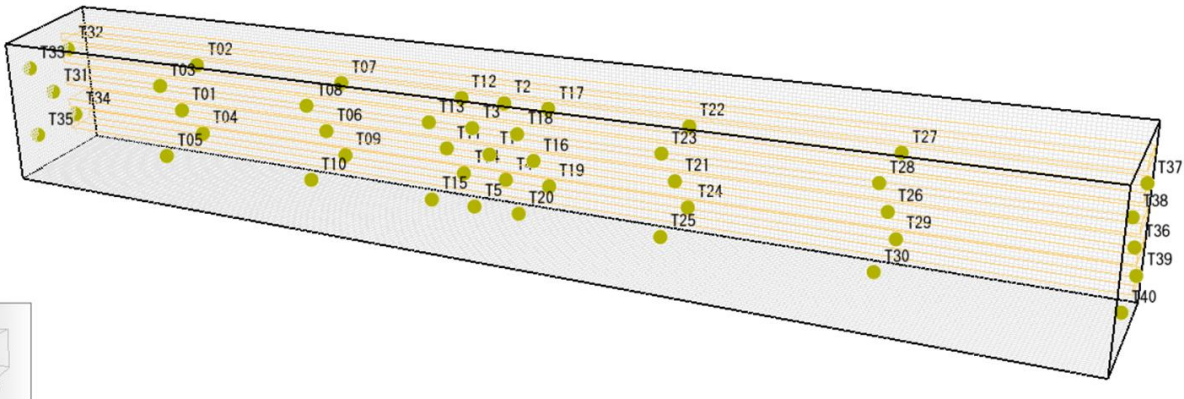


Рисунок 4 – Загальний вигляд кабельного тунелю з місцями контролю температури: T01 – T40, T1 – T5 – місця контролю.

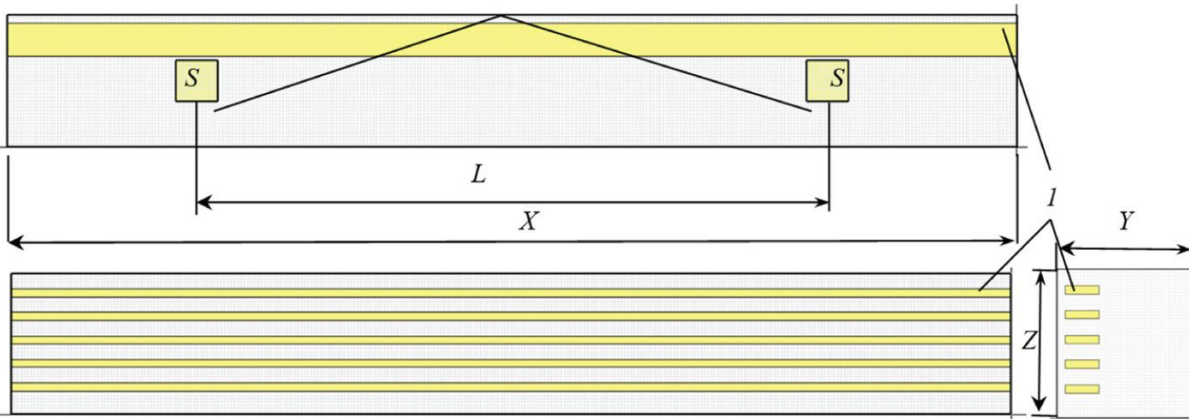


Рисунок 5 – Схема тунелю з геометричними параметрами, що змінювались: 1 – модель кабельних ліній; 2 – модель вентиляційно-оглядових люків площею  $S \text{ м}^2$ ;  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $L_1$  – відстань між отворами.

Відповідно до розрахункової схеми комп'ютерної моделі тунелю (рис. 5) з метою проведення повноцінного аналізу параметрів, що впливають на температурний режим пожежі варіювались наступні параметри:

1. Пожежне навантаження:

- кабельні лінії моделювались з двох та однієї сторони;
- кількість ліній кабелів від 1 до 10;
- змінювався матеріал ізоляції кабелів та жил проводів. За рахунок цього змінювалась величина теплової енергії, що виділяється з  $1 \text{ м}^2$  кабелю.

2. Аеродинамічні параметри:

- варіювалась площа отворів вентиляційно-оглядових люків «S» від  $0,3$  до  $0,5 \text{ м}^2$ ;
- відстань між отворами  $L$ ;
- розташування кабельних ліній.

3. Геометричні параметри кабельного тунелю:

- варіювалась, як площа поперечного перерізу, за допомогою комбінації параметрів  $Y$  та  $Z$ ;
- місце розташування осередку пожежі;

– параметр  $X$  в залежності від місця розташування осередку пожежі.

Наступний етап полягав у створенні розрахункової сітки для об'єму кабельного тунелю. Метод контрольних об'ємів, що застосований у програмному комплексі, має певні особливості.

Між точністю розрахунку й кількістю розрахункових комірок існує прямо пропорційна залежність, а між кількістю комірок і часом, за який буде проведений розрахунок, – обернено пропорційна. Тому потрібно обрати баланс між необхідною точністю розрахунку та часом, який буде витрачений на проведення розрахунку. Вивчивши комп'ютерні моделі описані у роботах [7-10] було обрано комірку розрахункової сітки зі стороною  $0,05 \text{ м}$ .

Для врахування особливості, яка полягає в наявності кабельних ліній, розмір розрахункової сітки підібрано таким чином, щоб поверхня комірки співпадала з поверхнею моделі кабельної лінії. Таким чином найточніше враховується як конвективний так і променевий теплообмін між областю горіння та твердими поверхнями кабелів (рис. 6).



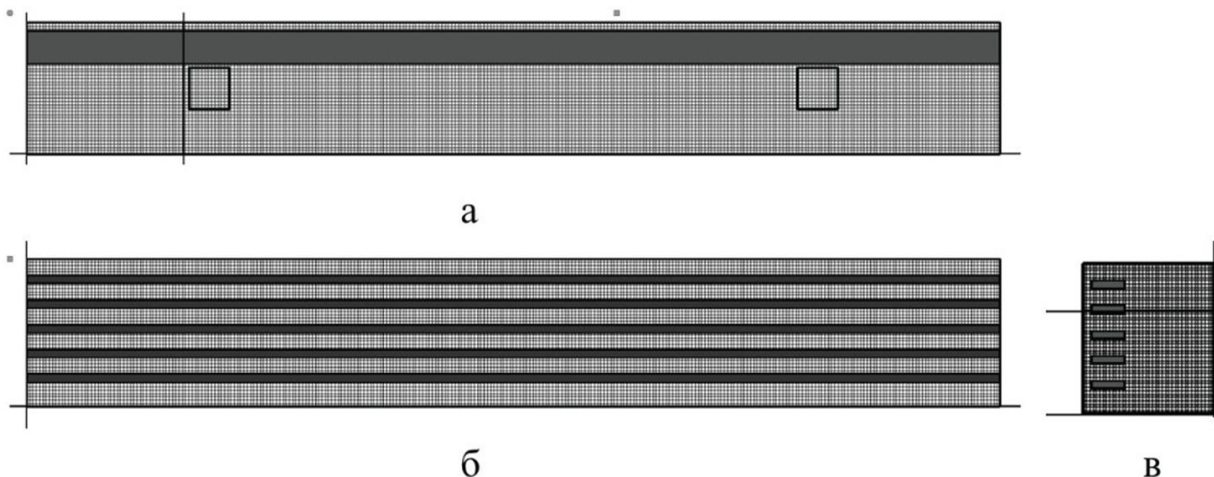


Рисунок 6 – Сіткова модель простору кабельного тунелю: а – вид у площині XY; б – вид у площині XZ; в – вид у площині YZ.

Для врахування особливості, що полягає в неоднорідності матеріалу з якого виготовлені кабельні лінії, а також умов кондуктивного теплообміну (теплопровідності в твердому матеріалі), кабельні лінії задано, як багатокомпонентний матеріал. Поєднано полівінілхлорид ізоляції проводів та мідь, з якої

виготовляються кабелі. Крім того, враховано, що матеріал ізоляції вигорає. Вказаний параметр заданий через насипну густину та лінійну швидкість вигорання. Теплофізичні характеристики матеріалів й умови конвекційного та радіаційного теплообміну відображені у табл. 1.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики матеріалів й умови конвекційного та радіаційного теплообміну

№ з/п	Характеристика	Одиниці вимірювання	Величина	Джерело
Теплофізичні характеристики матеріалу ізоляції (полівінілхлорид)				
1.	Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·К)	0,159	[13]
2.	Питома теплоємність	Дж/(кг·К)	1320	
3.	Густина	кг/м <sup>3</sup>	1400	
4.	Ступінь чорноти	-	0,85	
Теплофізичні характеристики матеріалу проводів (мідь)				
1.	Коефіцієнт теплопровідності	Вт/(м·К)	390	[13]
2.	Питома теплоємність	Дж/(кг·К)	420	
3.	Густина	кг/м <sup>3</sup>	8900	
4.	Ступінь чорноти	-	0,7	
Загальні величини				
1.	Стала Стефана – Больцмана	Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>4</sup> )	5,67·10 <sup>-8</sup>	[13]

Дослідження температурного режиму пожежі було поділено на декілька етапів:

1. Визначення параметрів кабельного тунелю від яких залежить температурний режим та рамки їх варіацій.
2. Визначення найбільш значимих параметрів.
3. Планування експериментів з варіацією найбільш значимих параметрів.

4. Проведення обчислювальних експериментів та визначення залежностей температурних режимів пожежі від значимих параметрів.

У таблиці 2 зведені параметри кабельного тунелю, від яких залежить температурний режим та рамки їх варіацій.

Таблиця 2 – Параметри кабельного тунелю, від яких залежить температурний режим пожежі та рамки їх варіацій

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
5-10	1,6-2	1,8-2,15	688-2000	2-10	1-3 · 0,3

З метою визначення найбільш значимих параметрів кабельного тунелю від яких залежить температурний режим пожежі та рамки їх варіацій було проведено сім обчислювальних експериментів для того, щоб визначити наскільки певний параметр (геометричні розміри, пожежне навантаження і т. д.) впливає на температурний режим пожежі у кабельному тунелі. Для визначення значимості

конкретного параметру спочатку було проведено комп'ютерне моделювання пожежі при середніх параметрах, а потім певний параметр збільшувався і зменшувався до крайніх значень. Отримавши 2 нові вибірки та порівнявши їх з першою розраховувалось відносне відхилення температурно-часових кривих режиму пожежі у кабельному тунелі.

**1. Базовий обчислювальний експеримент з комп'ютерного моделювання пожежі при середніх параметрах.**

Таблиця 3 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в базовий експеримент

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
10	2	2,15	1380	5	2 · 0,3

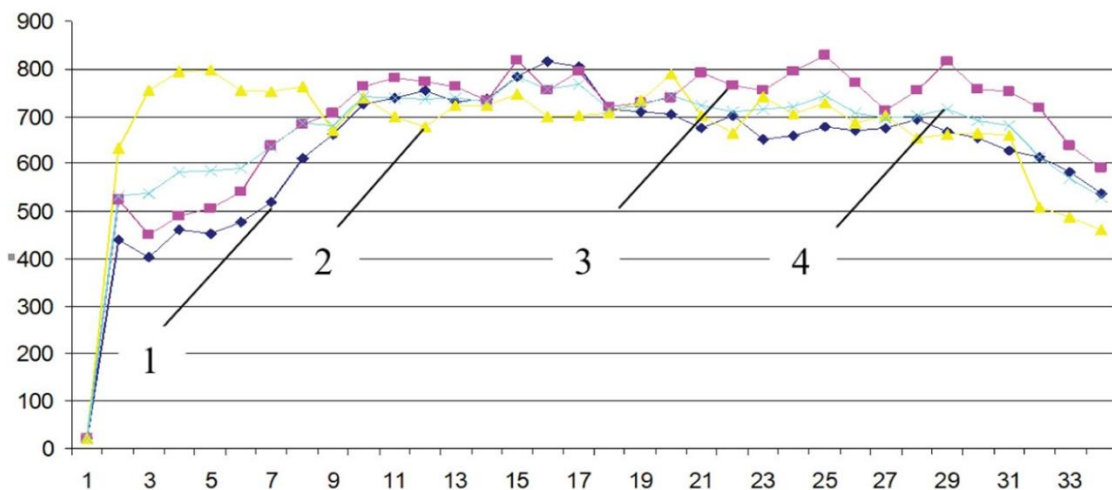


Рисунок 7 – Температурні режими пожежі у комп'ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 3: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3.



2. Вплив пожежного навантаження.

Таблиця 4 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в експеримент «максимальне пожежне навантаження»

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
10	2	2,15	2000	10	2 · 0,3

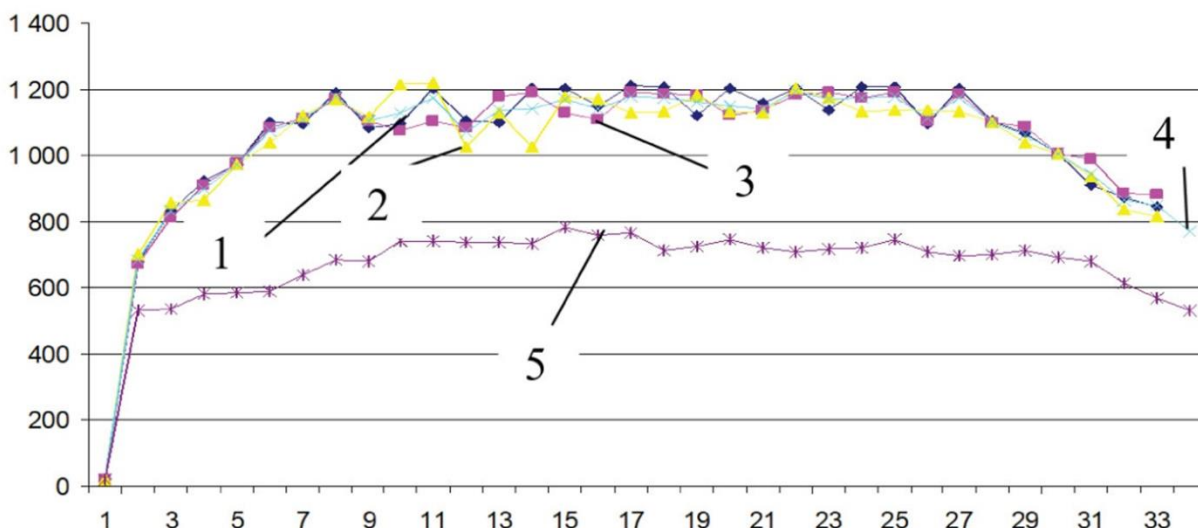


Рисунок 8 – Температурні режими пожежі у комп'ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 4: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3; 5 – середня температура базового експерименту (рис. 7, графік 4).

Таблиця 5 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в експеримент «мінімальне пожежне навантаження»

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
10	2	2,15	688	2	2 · 0,3

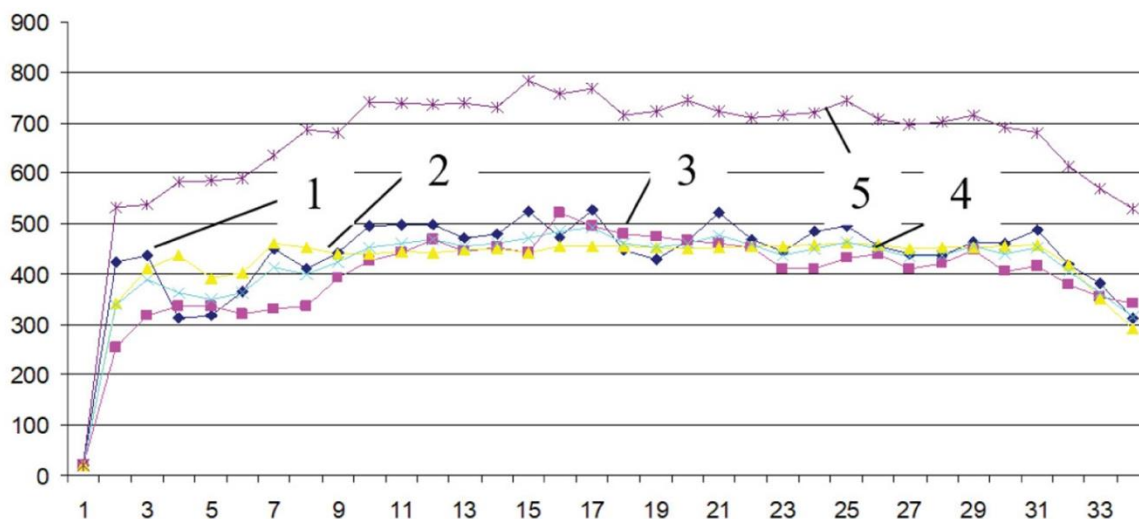


Рисунок 9 – Температурні режими пожежі у комп’ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 5: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3; 5 – середня температура базового експерименту (рис. 7, графік 4).

### 3. Вплив геометричних розмірів поперечного перерізу.

Максимальний розмір геометричного перерізу було закладено у базовий експеримент (табл. 2). У табл. 6 показано температурний режим пожежі у кабельному тунелі перерізом 1,6 \* 1,8 м.

Таблиця 6 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в експеримент «мінімальний поперечний переріз»

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
10	1,6	1,8	1380	2	2 · 0,3

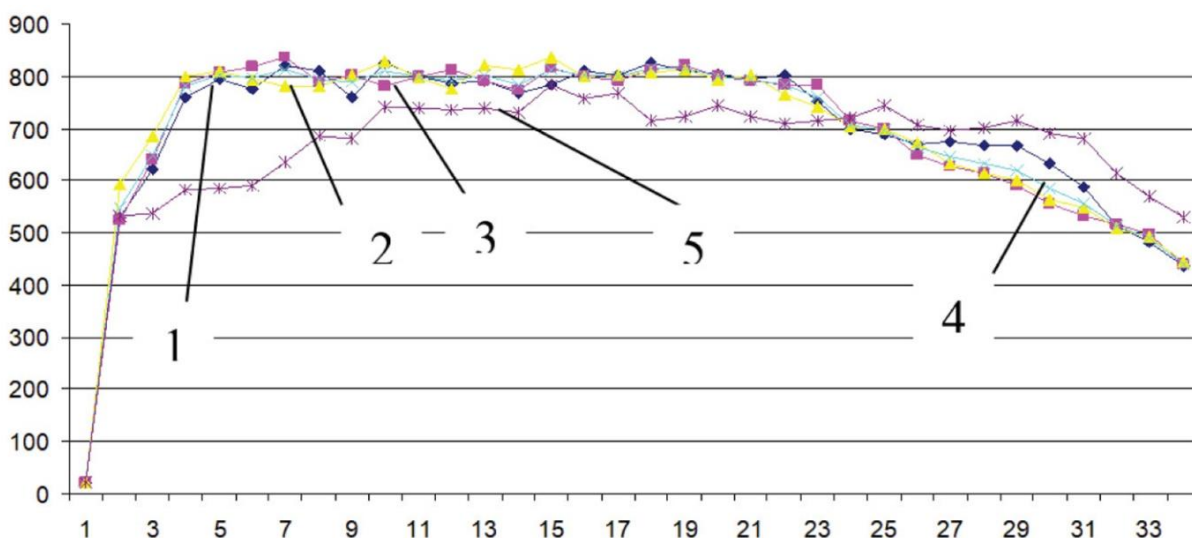


Рисунок 10 – Температурні режими пожежі у комп’ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 6: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3; 5 – середня температура базового експерименту (рис. 7, графік 4).

**4. Вплив геометричних параметрів отворів вентиляційно-оглядових люків та відстані між ними.**

Таблиця 7 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в експеримент «мінімальний приток повітря»

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
10	2	2,15	1380	2	1 · 0,3

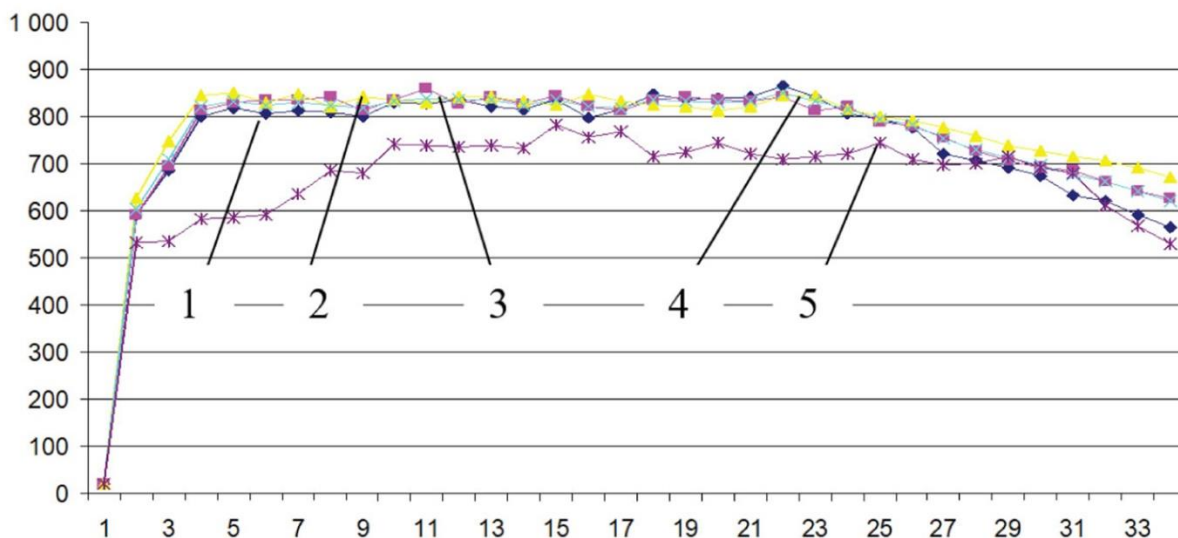


Рисунок 11 – Температурні режими пожежі у комп'ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 7: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3; 5 – середня температура базового експерименту (рис. 7, графік 4).

Таблиця 8 – Параметри кабельного тунелю, що закладались в експеримент «максимальний приток повітря»

Параметр					
Відстань між отворами	Площа поперечного перерізу кабельного тунелю		Пожежне навантаження однієї кабельної лінії	Кількість кабельних ліній	Кількість (n) та площа (S) вентиляційно-оглядових люків
L, м	Y, м	Z, м	Q, МДж/м <sup>2</sup>	N	n · S, м <sup>2</sup>
5	2	2,15	1380	2	3 · 0,3

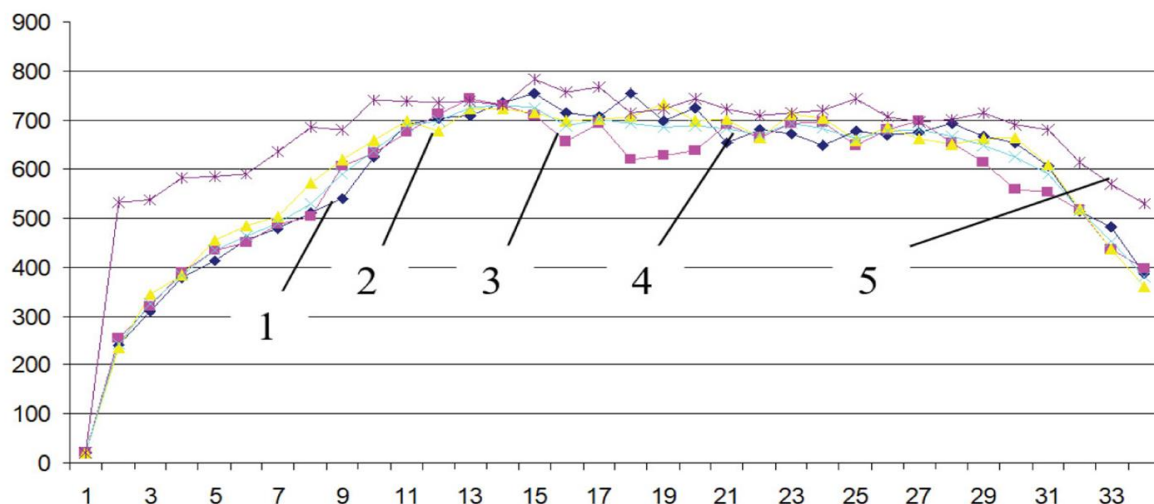


Рисунок 12 – Температурні режими пожежі у комп’ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 8: 1 – середня температура у площині осередку пожежі; 2 – середня температура у площині «-0,5 м» від осередку пожежі; 3 – середня температура у площині «+0,5 м» від осередку пожежі; 4 – середня температура між графіками 1-3; 5 – середня температура базового експерименту (рис. 7, графік 4).

### 5. Середні результати

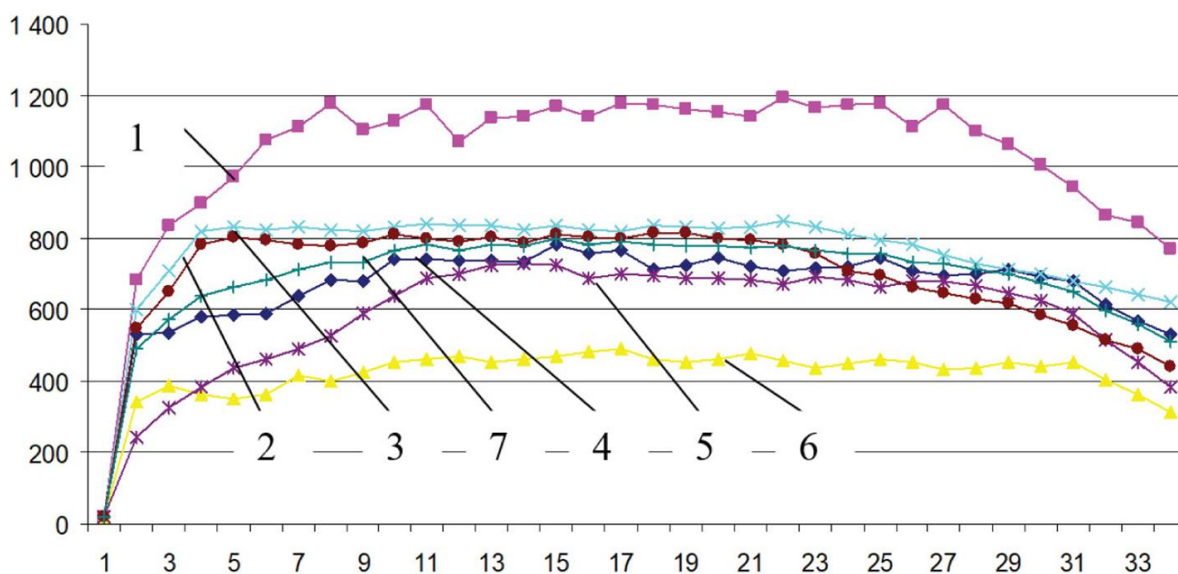


Рисунок 13 – Усереднені температурні режими пожежі у комп’ютерній моделі кабельного тунелю з параметрами, що вказано в табл. 4 – 9: 1 – середня температура обчислювального експерименту «максимальне пожежне навантаження»; 2 – середня температура обчислювального експерименту «мінімальний приток повітря»; 3 – середня температура обчислювального експерименту «мінімальний поперечний переріз»; 4 – середня температура обчислювального експерименту «базовий експеримент»; 5 – середня температура обчислювального експерименту «максимальний приток повітря»; 6 – середня температура обчислювального експерименту «мінімальне пожежне навантаження»; 7 – середня температура між графіками 1-6.

Аналізуючи отримані результати можна стверджувати, що на температурний режим пожежі найбільший вплив мають: пожежне навантаження, кількість та площа отворів для виходу продуктів горіння, а також геометричні параметри тунелю.

Отже, відповідно до результатів проведених обчислювальних експериментів, пожежне

навантаження прямо пропорційно впливає на максимальну температуру, що створюється при пожежі у тунелі. Температурний режим пожежі у тунелі з максимальним модельованим пожежним навантаженням у перші 30 хвилин співпадає з температурним режимом відображеним у роботі Ройтмана В. М. [1] у межах похибки у 5%. Потім

зона горіння зміщується і спостерігається зниження температури у зв'язку з вигоранням пожежного навантаження у даному місці. Проте, при меншому пожежному навантаженні максимальна температура у тунелі була на 30-70 % нижчою (рис. 13).

Відповідно до проведених обчислювальних експериментів площа поперечного перерізу кабельного тунелю впливає на швидкість зростання температури. Чим більшою вона була тим повільніше досягалося максимальне значення температури. Відповідно до даних обчислювальних експериментів досягнення максимуму температури спостерігалось на 4-11 хвилинах у різних комп'ютерних моделях, що співпадає з даними відображеними у роботах [4-5]. Кількість та загальна площа отворів для відведення продуктів горіння впливала на швидкість вигорання пожежного навантаження. При більшій площі отворів пожежне навантаження вигорало швидше і зниження температури спостерігалось на 25 хвилині експерименту, а при найменшій модельованій площі на 31 хвилині.

**Висновки.** У роботі визначено температурний режим пожежі у кабельних тунелях з різними розмірами, аеродинамічними показниками та пожежним навантаженням, а також залежність температурного режиму пожежі від зазначених параметрів. При 10 прокладених кабельних лініях та пожежному навантаженні 2000 МДж/м<sup>2</sup> максимальна температура перевищувала 1200°C, при 1 лінії та пожежному навантаженні 688 МДж/м<sup>2</sup> – 500°C.

При найменшій, відповідно до [1], площі поперечного перерізу тунелю та зменшенні швидкостей повітряних потоків температура всередині зростає на 50% швидше, у порівнянні з середніми параметрами. Крім того, надлишок свіжого повітря знижує температуру горіння на 50-70°C, хоча і сприяє швидшому розповсюдженню пожежі вздовж кабельних ліній.

Подальші дослідження будуть направлені на дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій кабельних тунелів при визначених у даній роботі температурних режимах пожежі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГБН В. 2.2-34620942-002:2015. Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування.
2. 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).
3. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Владимир Миронович Ройтман. – М. : Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
4. Hsu W. S. et al. Analysis of the Hsuehshan Tunnel Fire in Taiwan //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2017. – Т. 69. – С. 108-115.
5. Ji J. et al. Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source //Applied Thermal Engineering. – 2016. – Т. 106. – С. 1094-1102.
6. Tian X. et al. Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends //Applied Thermal Engineering. – 2017. – Т. 116. – С. 233-243.
7. Modic J. Fire simulation in road tunnels //Tunnelling and underground space technology. – 2003. – Т. 18. – №. 5. – С. 525-530.
8. Vaari J. et al. Numerical simulations on the performance of water-based fire suppression systems //VTT Technol. – 2012. – Т. 54.
9. Дослідження впливу пожежного навантаження на температурний режим пожежі у кабельному тунелі / С.В. Поздєєв, Т.В. Самченко, О.М. Нуянзін // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека № 1 (5) 2018. – Київ: УкрНДІЦЗ. С.13-20.
10. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну при пожежі у кабельному тунелі / Нуянзін О. М., Поздєєв С. В., Кришталь М. А. та ін. // Науковий журнал: Проблеми пожежної безпеки № 43 – Харків: НУЦЗУ, 2018. С. 119-128.
11. Pozdieiev S. et al. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – Т. 116. – С. 02027.
12. Поздєєв С. В. и др. Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість //Збірник наукових праць АПБ. – 2011. – №. 8. – С. 73-79.
13. Осипенко В.І. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур / Осипенко В.І., Поздєєв С.В., Тищенко І.Ю. Навчальний посібник. Черкаси: 2012. – 202 с.

## REFERENCES

1. HBN V. 2.2-34620942-002:2015. Liniino-kabelni sporudy telekomunikatsii. Proektuvannia.
2. DSTU B V.1.1-4-98 Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktssii. Metody vyprobuvannia na vohnestiikist. Zahalni vymohy (ISO 834:1975)
3. Roytman V. M. (2001) Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruiromykh zdaniy [Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings]. M., Assotsiatsiya «Pozharnaya bezopasnost' i nauka», 382 p. (in Russian)
4. Hsu W. S. et al. Analysis of the Hsuehshan Tunnel Fire in Taiwan //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2017. – Т. 69. – С. 108-115.



5. Ji J. et al. Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source //Applied Thermal Engineering. – 2016. – T. 106. – C. 1094-1102.
6. Tian X. et al. Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends //Applied Thermal Engineering. – 2017. – T. 116. – C. 233-243.
7. Modic J. Fire simulation in road tunnels //Tunnelling and underground space technology. – 2003. – T. 18. – №. 5. – C. 525-530.
8. Vaari J. et al. Numerical simulations on the performance of water-based fire suppression systems //VTT Technol. – 2012. – T. 54.
9. Pozdieiev S.V., Samchenko T.V., Nuianzin O.M. (2018) Doslidzhennia vplyvu pozhezhnogo navantazhennia na temperaturnyi rezhym pozhezhi u kabelnomu tuneli [Study of fire load effect on temperature mode in the cable tunnel] Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka – Kyiv, UkrNDICZ, vol. 1 (5), pp.13-20. (in Ukrainian)
10. Nuianzin O. M., Pozdieiev S. V., Kryshal M. A. Doslidzhennia adekvatnosti matematychnoi modeli teplomasoobminu pry pozhezhi u kabelnomu tuneli []. Naukovyi zhurnal: Problemy pozheznoi bezpeky , Kharkiv: NUCZU, vol.43, pp. 119-128. (in Ukrainian)
11. Pozdieiev S. et al. Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations //MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – T. 116. – C. 02027.
12. Pozdieiev S. V. (2011) Metrolohichni osoblyvosti vohnevykh vyprobuvan zalizobetonnykh budivelnykh konstruksii na vohnestiikist [Metrological features of fire tests of reinforced concrete building structures on fire resistance]. Zbirnyk naukovykh prats APB, vol. 8, pp. 73-79. (in Ukrainian)
13. Osypenko V.I., Pozdieiev S.V. , Tyshchenko I.Iu (2012) Budivelni materialy ta yikh povedinka pry dii vysokyykh temperatur [Building materials and their behavior at high temperatures]. Navchalnyi posibnyk. Cherkasy, 202 pp. (in Ukrainian)

## STUDY OF TEMPERATURE FIRE MODES IN CABLE TUNNELS WITH DIFFERENT PARAMETERS

*O. Nuianzin, Cand. of Sc. (Eng.), T. Samchenko, S. Pozdieiev, Doct. of Sc. (Eng.), prof.,*

*M. Kryshstal., Cand. of Sc. (Psychology), prof., S. Vedula*

*Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine*

### KEYWORDS

cable tunnel, temperature mode of fire, computer modelling, computational experiment

### ANNOTATION

Enclosure structures of cable tunnels are typically made of reinforced concrete. To determine their limit of fire resistance, a standard temperature mode of fire is used.

The fire in cable tunnels creates a special temperature mode, which differs from the standard one. This is explained by that the cable tunnels differ in design, fire load, aerodynamic and other parameters. A result of incorrect determining the limit of fire resistance for the building structures of cable tunnels might be their collapse at fire. Thus, studying the temperature mode of the fire is an important task.

Modelling, as a method of scientific research, makes it possible, without performing costly and labor-intensive field experiments on models, to conduct all necessary experiments to determine the temperature modes of fire in cable tunnels. The purpose of the research of this work is to determine the temperature mode of fire in a cable tunnel depending on its shape, size and fire load.

To take into account the specificity of the heterogeneity of the material from which the cable lines are made, as well as the conditions of conductive heat transfer (thermal conductivity in the solid material), the cable lines are given as a multi-component material. Polyvinyl chloride is bonded to the insulation of wires and copper from which cables are made. In addition, it is considered that the insulation material burns out. The specified parameter is given due to the bulk density and the linear burning rate.

In one of the CFD software systems computer models of cable tunnels were created. Computational experiments were carried out and temperature modes of fire in tunnels with different parameters were determined.

In this paper, further development of the use of computational experiments for the study of heat and mass transfer processes in fires in cable tunnels.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПОЖАРА В КАБЕЛЬНЫХ ТУННЕЛЯХ ПРИ ИХ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ

*А. М. Нуянзин, канд. техн. наук, Т. В. Самченко, С. В. Поздеев, док. техн. наук, проф.,*

*Н. А. Кришталь, канд. психол. наук, проф., С. А. Ведула*

*ЧИПБ им. Героев Чернобыля НУГЗ Украины*

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кабельный тоннель, температурный режим пожара, компьютерное моделирование, вычислительный эксперимент.

### АННОТАЦИЯ

Моделирование, как метод научного исследования дает возможность, не выполняя материально затратных и трудоемких натурных экспериментов на моделях проводить все необходимые опыты по определению температурных режимов пожара в кабельных туннелях. Целью проведения исследований данной работы является определение температурного режима пожара в кабельном туннеле в зависимости от его формы, размеров и пожарной нагрузки. В одном из программных комплексов CFD были созданы компьютерные модели кабельных туннелей. Проведены вычислительные эксперименты и определены температурные режимы пожаров в туннелях с различными параметрами.

В данной работе получило дальнейшего развития применения вычислительных экспериментов для исследования процессов теплообмена при пожарах в кабельных туннелях.