

УДК 614.841.332

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЖЕЖНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПОЖЕЖІ У КАБЕЛЬНОМУ ТУНЕЛІ

С. В. Поздєєв¹, д-р. техн. наук, проф., Є.Ю.Шевєєв², Т.В. Самченко^{*2}, О. М. Нуянзін¹, канд. техн. наук

¹Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля, НУЦЗ України

²Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 23.02.2018

Пройшла рецензування: 13.06.2018

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

кабельний тунель, методика експерименту, температурний режим пожежі, термопара, пожежне навантаження.

АНОТАЦІЯ

У даній роботі обґрунтовано методику проведення експерименту з моделювання пожежі у кабельному тунелі, що була розроблена на основі нормативних документів. Описано процес проведення та представлено результати експерименту з визначення температурного режиму пожежі у кабельному тунелі згідно розробленої методики. Отримані дані є основою для верифікації комп'ютерних моделей пожеж у кабельних тунелях та визначення температурного режиму пожежі для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів.

Постановка проблеми. Проблема пожежної безпеки електричних кабелів загострилася в 70-х роках минулого століття, в зв'язку з ростом числа пожеж на теплових, атомних електростанціях та інших великих енергетичних об'єктах. Значною мірою зростання числа пожеж в кабельних комунікаціях був обумовлений збільшенням кількості кабелів, які використовуються з метою живлення, контролю та управління електрообладнання на сучасних виробництвах, а також використанням при ґрунтових прокладках кабелів загальнопромислового виконання без додаткових заходів по їх вогнезахисту. Розгалужені кабельні комунікації є не тільки носіями пожежного навантаження, але і направляючими системами, за якими вогонь може поширюватися в будівлях і спорудах.

Незважаючи на значні успіхи у вирішенні завдань щодо підвищення пожежної безпеки кабельної продукції в даний час також існує безліч проблемних питань, що стосуються як кабельної продукції, так і кабельних ліній, зокрема кабельних тунелів прямокутного перерізу. Зокрема, огорожувальні будівельні конструкції кабельних тунелів як правило виконуються з залізобетону [1]. Для визначення їхньої межі вогнестійкості застосовується стандартний температурний режим пожежі. При пожежах у кабельних тунелях створюється особливий температурний режим пожежі, що відрізняється від стандартного. Це зумовлено тим, що кабельні тунелі різняться конструкцією, пожежним навантаженням, аеродинамічними та іншими параметрами. Унаслідок помилкового визначення межі вогнестійкості будівельних

конструкцій кабельних тунелів може відбутись їхнє обвалення при пожежі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженнями температурних режимів, зокрема у тунелях займалися і займаються багато науковців, зокрема Ройтман В. М. у своєму дослідженні [1] запропонував температурний режим пожежі в тунелях.

У роботах [2–4] авторський колектив до складу якого входив Ковалишин В. В. досліджував динаміку розвитку пожеж у кабельних спорудах та описав динаміку температури в зоні горіння без подачі та з подачею інертних газів у зону горіння.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відповідно до проведених раніше досліджень [1–4], 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 відомих значень [1].

У існуючих наукових роботах не досліджено температурний режим пожежі в тунелях прямокутного перерізу при різному пожежному навантаженні. З огляду на це, передбачається розробка методики експериментальних досліджень та проведення повномасштабного експерименту у кабельному тунелі прямокутного перерізу.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою дослідження є обґрунтування методики та набору засобів дослідження температурного

режиму пожежі у кабельному тунелі прямокутного перерізу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- створити послідовність процедур з детальним вибором обладнання та зразків для випробувань з метою забезпечення достовірних експериментальних даних при дослідженні температурного режиму пожежі у кабельному тунелі;

- обґрунтувати набір засобів для проведення досліджень та методи подальшої обробки результатів експерименту;

- проаналізувати результати проведеного експерименту з визначення температурного режиму пожежі у різних зонах кабельного тунелю для використання їх у подальшому при верифікації математичних моделей.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Кабельним тунелем називається закрита споруда (коридор) з розташованими в ньому опорними конструкціями для розміщення на них кабелів і кабельних муфт, з вільним проходом по всій довжині, що дозволяє виконувати прокладку кабелів, ремонт та огляд кабельних ліній [5].



Рисунок 1 – Кабельний тунель.

Кабельні тунелі і колектори прямокутного перетину призначені для двосторонньої і односторонньої укладки кабелів і бувають прохідного і напівпровідного виконань. При великому числі кабелів тунелі і колектори прямокутного перетину можуть бути тризмінному (здвоєними).

На рис. 2. показано типове розміщення кабелів у тунелях прямокутного перетину.

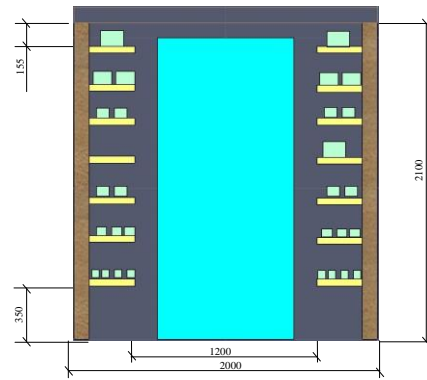


Рисунок 2 – Типове розміщення кабелів у тунелях і колекторах прямокутного перетину [5].

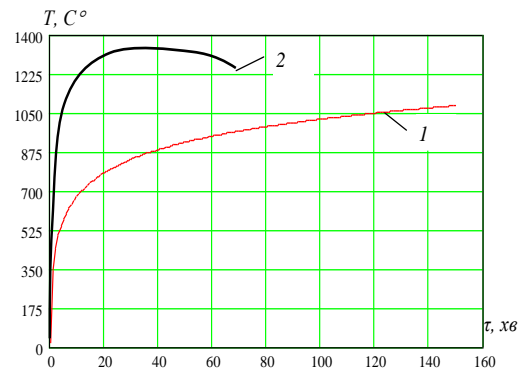


Рисунок 3 – Температурні режими пожежі: 1 – режим „стандартної” пожежі; 2 – режим пожежі в тунелях відповідно до [1].

Пожежу умовно поділяють на три стадії (рис. 3): загоряння, розвинутого горіння й загасання [1]. Для більш точного моделювання пожежі можливе застосування і більш складних фізичних моделей, що реалізуються в складних комп’ютерних програмах. В алгоритми цих програм закладені сучасні чисельні методи.

Пожежі у кабельних напівповерхах, тунелях, прохідних коробах та кабельних каналах виникають в результаті короткого замикання або перегріву кабелю в місцях з’єднань. Горіння супроводжується високою температурою, розльотом розтопленого металу, великою швидкістю розповсюдження вогню та диму. В горизонтальних кабельних тунелях лінійна швидкість поширення вогню по кабелям при знятій напрузі становить 0,15 – 0,3 м/хв, а під напругою 0,2-0,8 м/хв. [6].

Згідно із запропонованою схемою розглядається фрагмент фіксованої ділянки кабельного тунелю, що охоплює джерело запалення. При цьому враховано, що підпір повітря зміщує факел полум’я до відкритої частини фрагменту кабельного тунелю.

Запропоновані параметри пожежного навантаження, що складається з електричного

кабелю категорії А [7] у кабельному тунелі наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Питомі параметри пожежного навантаження електричного кабелю категорії А

№ п/п	Неметалевий матеріал	Маса матеріалу, г/м	Густина матеріалу, г/см ³	Об'єм неметалевого матеріалу кабелю, дм ³ /м
1	Оболонка	40,02	1,43	0,0280
2	Ізоляція жил	18,90	1,43	0,0132
Загальний об'єм неметалевих матеріалів кабелю				0,0412

На рис. 4 наведений вигляд кабелів у спеціальній рамі для формування пучка категорії А за [7].



Рисунок 4 – Вигляд кабелів у спеціальній рамі для формування пучка категорії А за [7].

Горючим матеріалом електричного кабелю є полівінілхлорид (ПВХ), матеріал сталеві рами – конструкційна сталь звичайної якості марки Ст. 3.

Для дослідження температурних режимів пожежі у кабельному тунелі моделюється фрагмент кабельного тунелю із внутрішнім простором розмірами 2150×1900×28000 мм. Товщина огороження кабельного тунелю складає: бокових стінок – 250 мм; верхньої кришки – 150 мм. У просторі фрагменту кабельного тунелю розташовані кронштейни для встановлення на них пожежного навантаження у вигляді рам із пучками кабелів категорії А згідно із [7]. З одного боку кабельний тунель закритий торцевою залізобетонною стінкою товщиною 1900 мм. З іншого боку кабельний тунель є відкритим. З боку закритого торця кабельного тунелю на його кришці є спеціальний отвір куди має нагнітатись повітря для створення підпору. На рис. 5 зображена конструктивна схема фрагменту кабельного тунелю.

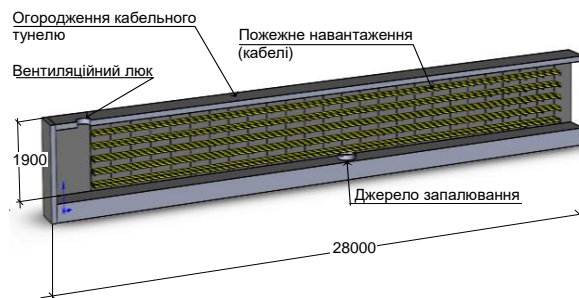


Рисунок 5 – Конструктивна схема фрагменту кабельного тунелю.

На рис. 6 наведена схема розташування кабелів на полицях, які використовуються у якості пожежного навантаження.

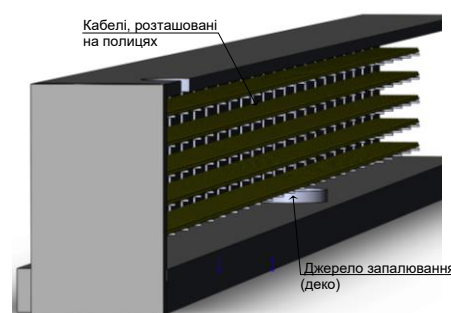


Рисунок 6 – Схема розташування кабелів на полицях.

Згідно із схемою на рис. 6 кабелі розташовані на полицях, що виготовлені із сталевого кутика 30×30 мм за [8].

У якості джерела запалювання кабелів була використана ємність з рідким паливом для зручної ініціації горіння пожежного навантаження. На рис. 7 показана схема розташування джерела запалювання під кабелями.

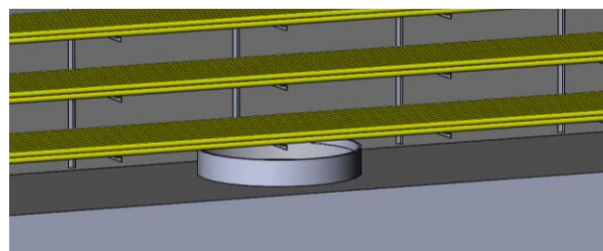


Рисунок 7 – Схема розташування джерела запалювання під кабелями.

Розміри та основні параметри джерела запалювання наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні технічні параметри джерела запалювання

Об'єм рідини, л		Розмір дека для модельних вогнищ пожежі
Вода	Пальне	Площа горіння (наближена), м ²
7	14	0,36

У якості пального використовується дизельне паливо.

Загальний об'єм неметалевих матеріалів у 1 м кабелю (V) розраховано за формулою:

$$V = \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j \cdot L} \quad (1)$$

де m_j – маса j-го неметалевого матеріалу відрізка кабелю довжиною (L) не менше ніж 300 мм, г; ρ_j – густина j-го неметалевого матеріалу відрізка кабелю, г/см³; L – довжина відрізка для визначення об'єму неметалевих матеріалів кабелю, мм; N – кількість неметалевих матеріалів кабелю.

Кількість відрізків електричного кабелю у пучку категорії А за [7] розраховано за формулою:

$$n = \frac{V_A}{V} = \frac{7,0}{0,0412} \approx 169,89 = 170$$

де V_A – нормований об'єм неметалевих матеріалів для пучка категорії А, дм³/м.

Отже, експериментальне обладнання включає в себе: натурний фрагмент кабельного тунелю, вентиляційне обладнання для створення підпору повітря у внутрішньому просторі, пожежне навантаження у вигляді кабелів у спеціальній рамі для формування пучка категорії А за [7], джерело запалювання кабелів у вигляді модельного вогнища класу В, контрольно-вимірювальна арматура та комунікаційно-контрольна система для зчитування даних з датчиків контролю параметрів, що вимірюються у процесі експериментів, засоби активізації джерела запалювання, засоби гасіння полум'я у внутрішньому просторі фрагменту кабельного тунелю.

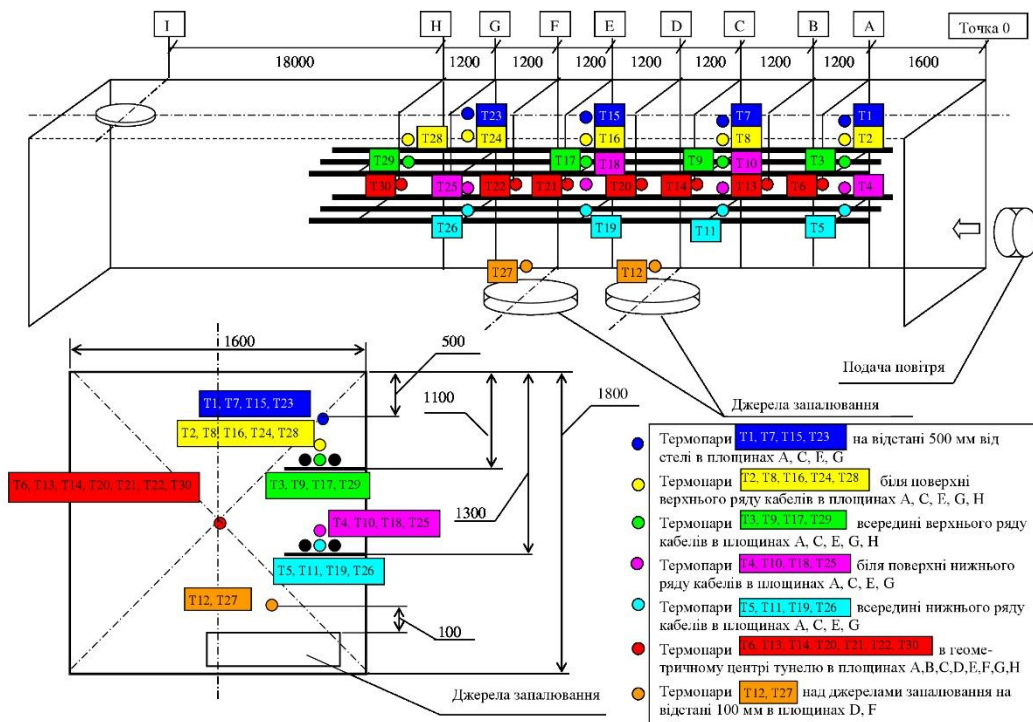


Рисунок 8 – Схема розташування термопар у кабельному тунелі. 1-ряд пучків кабелів до 796 кг – після 791 кг; 2- ряд пучків кабелів до 864 кг - після 861 кг

Враховуючи конфігурацію зони розвиненої пожежі, саме у ній розташована контрольно-вимірювальна арматура у вигляді температурних датчиків. У якості температурних датчиків

застосовуються хромель-алюмелеві термопар типу ТХА в комплекті з контрольною інфраструктурою та персональним комп'ютером для автоматичної фіксації даних з температурних

датчиків. Похибка вимірювання термопар складала ± 1 °C (рис. 8).

Фото пожежного навантаження встановленого у тунелі представлені на рис. 9.

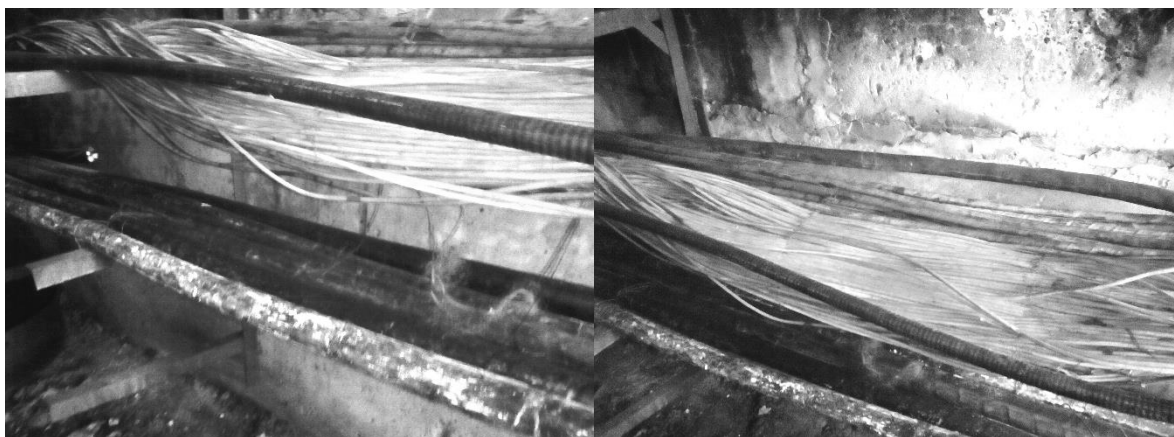


Рисунок 9 – Фото кабелів у тунелі перед початком експерименту.

Для детального вивчення процесу розвитку пожежі у кабельному тунелі застосовувалась відео- та фотозйомка. Фотозйомка – для фіксації початкового стану кабельного тунелю, пожежного навантаження, та джерела запалювання та стану даних об'єктів після проведення експерименту. Відеозйомка проводиться протягом всієї тривалості експерименту записуючи зображення розвитку пожежі з відкритого кінця тунелю.

Методика проведення експерименту у кабельному тунелі. Експеримент щодо розвитку пожежі у кабельному тунелі здійснювався шляхом проведення таких процедур:

1. Підготовка тунелю до випробувань шляхом встановлення термопар у просторі контрольної ділянки фрагмента кабельного тунелю.

2. Встановлення кабельного пожежного навантаження у спеціальних рамках відповідно до рис. 5.

Зразок для випробування: Пучкі кабелів категорії А за ГОСТ 12176-89, (1-ряд від део джерела запалювання) сформований з відрізків кабелю марки АВБШБ $3 \times 150 + 95$ мм² та (2-ряд від део джерела запалювання) відрізків кабелю марки АВВГ $3 \times 185 + 150$ мм²,

3. Встановлення кабельних відрізків у фрагменті кабельного тунелю.

4. Встановлення джерела запалення згідно із схемою на рис. 7.

Параметри джерел запалювання:

- висота борта 200 мм;
- діаметр дека 750 мм;

- пальне дизпаливо по 30 л в кожному;
- тривалість прикладання полум'я до зразків – 30 хв.

5. Фотофіксація тунелю, готового до проведення експерименту.

6. Ініціація горіння у палива у джерелі запалювання та початок експерименту з проведенням відеофіксації та контролю температур через кожну 1 хв.

Швидкість потоку повітря, що подавався до тунелю димососом ВЕНТС ВКМ – 150 (рис. 8):

- в площині точки 0 дорівнює 9,42 м/с;
- в площині А дорівнює 2,84 м/с;
- в площині D дорівнює 0,26 м/с;
- в площині G дорівнює 0,15 м/с;
- в отворі тунелю в площині І дорівнює 0,59 м/с.

7. Закінчення експерименту шляхом застосування засобів гасіння.

8. Фотофіксація результатів проведення експерименту зони пожежного навантаження, ушкодженого пожежею.

9. Проведення необхідних замірів зон ушкодження.

Результати експерименту. На випробувальному полігоні УкрНДЦЗ було проведено експериментальні дослідження за методикою описаною вище. Для кореляції результатів було проведено 2 експерименти. Тривалість кожного з них складала 30 хв.

На рис. 10 показано вигляд кабелів у тунелі після завершення експерименту. Усереднені результати по кожній з 30 встановлених термопар (рис.8) показано на рис. 11.



Рисунок 10 – Фото кабелів у тунелі після завершення експерименту.

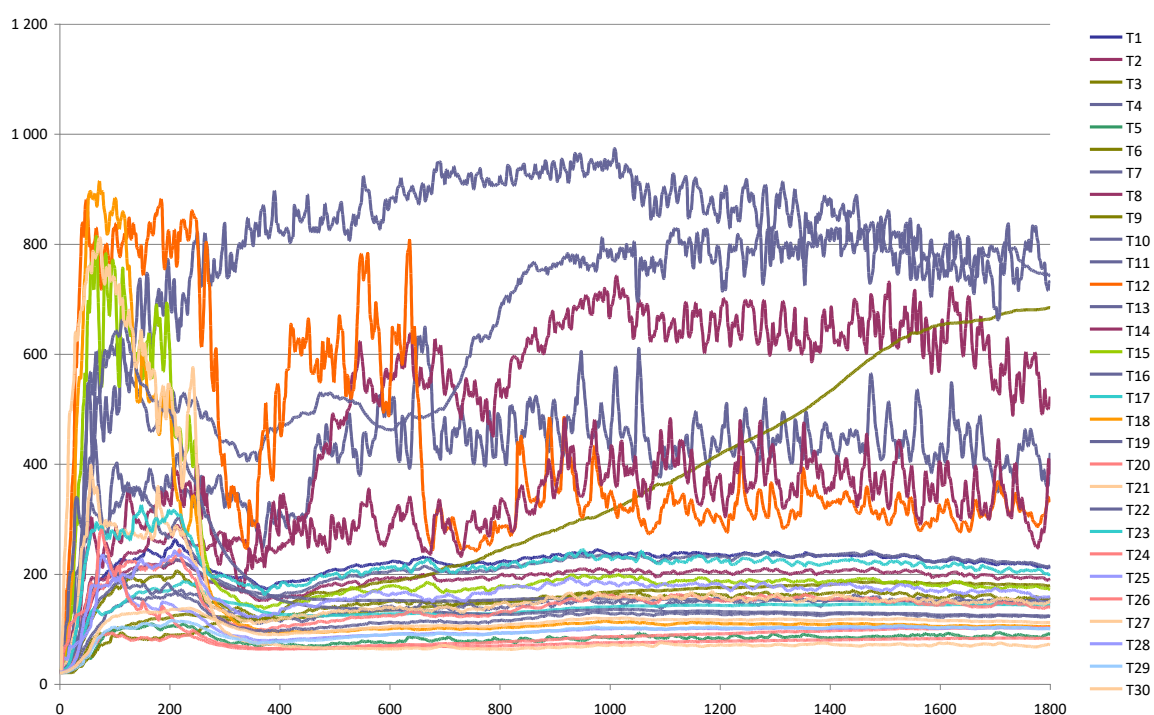


Рисунок 11 – Температурно-часова залежність у кабельному тунелі за результатами експериментальних досліджень по кожній з 30 встановлених термопар (див. рис. 9).

Аналізуючи отримані графіки температури у кабельному тунелі, можна констатувати, що найвища температура спостерігається в зоні осередку пожежі біля кабелів 700–900 °С, у таких межах знаходиться температура та залежить від розташування місця контролю. Теплова енергія розповсюджується інтенсивніше в бік отвору виходу продуктів горіння. Температура у цій зоні знаходиться в межах 250–500 °С. У зоні між осередком пожежі та місцем підпору повітря температура знаходиться в межах 80–150 °С (рис. 11).

Таким чином, для випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість необхідно обирати найжорсткіший температурний режим. Максимальна

температура у зоні горіння досягається на перших хвилинах натурального експерименту. Дана температура відповідно до стандартного температурного режиму [1] пожежі досягається не раніше ніж через 40 хвилин. Можна констатувати, що стандартний температурний режим пожежі не є адекватним для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів.

На сьогоднішній день в Україні і в усьому світі перевага надається математичному моделюванню. Проте, у даній роботі проведено експеримент, завдяки якому розрахункові дані можливо перевірити.

Перспективи даного дослідження полягають у тому, що отримані дані є основою

для валідації комп'ютерних моделей пожеж у кабельних тунелях та визначення температурного режиму пожежі для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів. Подальша робота може бути направлена на створення комп'ютерної моделі кабельного тунелю, в якому було проведено експеримент. Початкові дані та граничні умови повинні відповідати натурному експерименту. Комп'ютерне моделювання обрано як інструмент, що має переваги перед натурними дослідженнями у екологічності, економічності та ефективності. У разі підтвердження адекватності результатів комп'ютерного моделювання даними валідації стане можливим дослідити температурні режими пожеж у кабельних тунелях різного розміру та з різним пожежним навантаженням.

Висновки. 1. У роботі обґрунтовано методику експериментального дослідження температурного режиму пожежі у кабельному тунелі прямокутного перерізу з визначеним пожежним навантаженням та конструктивними особливостями. Довжина тунелю складала 28 м, площа поперечного перерізу – 2,88 м. Пожежне навантаження створювалось за допомогою пучків електричних кабелів категорії А [1].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Владимир Миронович Ройтман. – М. : Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
2. Обґрунтування та розрахунок параметрів гасіння пожеж інертними газами з наступною їх рециркуляцією в кабельних тунелях / В.В. Ковалишин, В.М. Ковальчик, С.І. Гончаренко // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2014. – № 17. – С. 39 – 44.
3. Ковалишин В. В. Моделювання впливу парогазових потоків на пожежу в каналах великої довжини // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ: УкрНДЦЗ, 2011. – № 1 (23). – С. 191 – 199.

2. Експериментальними дослідженнями визначено температурні режими пожежі у різних зонах кабельного тунелю за запропонованою методикою. Найвища температура спостерігається у безпосередній зоні горіння. Напрямок руху повітря у тунелі суттєво впливає на змінення зони горіння. В зоні осередку пожежі біля кабелів – 700–900 °С, між зоною осередку пожежі та отвором виходу продуктів горіння в межах 250–500 °С. У зоні між осередком пожежі та місцем підпору повітря температура сягає 80–150 °С (рис. 10).

3. Проаналізовано результати проведеного експерименту з визначення температурного режиму пожежі у різних зонах кабельного тунелю за запропонованою методикою. Температура у зоні горіння зростає на 150 % швидше у порівнянні із стандартним температурним режимом пожежі. Це свідчить про необхідність проведення випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів за температурним режимом, що відрізняється від стандартного. Отримані дані є основою для валідації комп'ютерних моделей пожеж у кабельних тунелях та визначення температурного режиму пожежі для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій кабельних тунелів.

4. Ковалишин В. В. Перевірка на адекватність моделювання процесів розвитку і гасіння пожеж в кабельних тунелях (в обмежених об'ємах) // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ: УкрНДЦЗ, 2013. – № 1 (27). – С. 238 – 44.
5. ГБН В. 2.2-34620942-002:2015. Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування.
6. П.П. Клюс, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой, Ю.М. Сенчихін, В.В.Сировой Пожежна тактика. – Х.: Основа, 1998.
7. ДСТУ EN 60332-3-22:2013 Вогневі випробування електричних та волоконно-оптичних кабелів. Частина 3-22. Випробування вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках, на вертикальне поширення полум'я. Категорія А (EN 60332-3-22:2009, IDT).
8. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.

STUDY OF FIRE LOUD EFFECT ON TEMPERATURE MODE IN THE CABLE TUNNEL

S. Pozdieiev¹, Doct. of Sc. (Eng.), prof., Y. Sheveriev², T. Samchenko², O. Nuianzin¹, Cand. of Sc. (Eng.)

¹*Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine*

²*The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

KEYWORDS

cable tunnel, experiment methodology, temperature mode of fire, thermocouple, fire load.

ANNOTATION

In this paper the methodology for carrying out an experiment on simulation of a fire in a cable tunnel, which was developed on the basis of normative documents, was substantiated. The process of conducting is described and the results of the experiment on determining the temperature regime of a fire in a cable tunnel according to the developed methodology are presented. The obtained data are the basis for verification of computer models of fires in cable tunnels and determination of the temperature regime of the fire for testing fire resistance of building structures of cable tunnels.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЖАРА В КАБЕЛЬНОМ ТОННЕЛЕ

С. В. Поздеев¹, д-р. техн. наук, проф., Е.Ю.Шевверев², Т.В. Самченко², А.М. Нуянзин, канд. техн. наук

¹*Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, НУГЗ Украины*

²*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кабельный тоннель, методика эксперимента, температурный режим пожара, термомпара, пожарная нагрузка.

АННОТАЦИЯ

В данной работе обоснована методика проведения эксперимента по моделированию пожара в кабельном тоннеле, которая была разработана на основе нормативных документов. Описан процесс проведения и представлены результаты эксперимента по определению температурного режима пожара в кабельном тоннеле согласно разработанной методики. Полученные данные являются основой для верификации компьютерных моделей пожаров в кабельных тоннелях и определения температурного режима пожара для испытания на огнестойкость строительных конструкций кабельных тоннелей.