УДК 614.841.45 **DOI: 10.33042/2522-1809-2023-6-180-168-175**

С.Е. Трошкін

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна

ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНОГО ВОГНЕВОГО ВИПРОБУВАННЯ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАБЕЛЬНОМУ ТУНЕЛІ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

В роботі описується проведення натурного вогневого випробування у вертикальному кабельному тунелі. Описано алгоритм проведення натурних випробувань у тунелі. Отримані дані температури натурного вогневого випробування в порівнянні до стандартного температурного режиму значно розходяться. Випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість за стандартним температурним режимом пожежі не можуть гарантувати відповідності пожежної безпеки тунелів.

Ключові слова: *пожежа, натурні вогневі випробування, атомна електрична станція, вертикальний кабельний тунель.*

Постановка проблеми

На атомних електричних станціях знаходиться велика кількість різних спеціальних приміщень, коридорів та камер з відмінними температурними режимами та тиском, що зумовлює необхідність прокладки кабельних ліній в кабельних тунелях, каналах, кабельних напівповерхах, подвійних підлогах, шахтах, відкрито розташованих коробах. Для забезпечення безпеки можливих аварійних режимів кабелів кожної системи безпеки прокладаються незалежними кабельними трасами, розділеними вогнестійкими перегородками.

Вертикальний кабельний тунель знаходиться в облаштуванні реакторного відділення та з'єднує важливі комунікаційні елементи реакторної установки з контайментом по всій його висоті, кабельний тунель розділений на протипожежні відсіки висотою не більше ніж 6 метрів, протяжність кабельного тунелю становить 25 метрів, починаючи з відмітки 20,000 метрів реакторного відділення блоку ВВЕР. Конструкції вертикального кабельного тунелю повинні мати відповідні ступені вогнестійкості: несучі стіни вертикального кабельного тунелю повинні мати ступінь вогнестійкості не менше ніж 90 хвилин, ступінь вогнестійкої залізобетонних плит покриття вертикального кабельного тунелю повинна становити EI45 [1, 2]. Кабелі, які проходять від контайменту в корпусі вертикального кабельного тунелю, прокладають у трубах, виводять кабелі до кабельного тунелю та в приміщення на різних відмітках, починаючи з 20,000 метрів навколо контайменту.

Дослідження температурного режиму пожежі є актуальним питанням, оскільки вертикальні 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 ГБН В.2.2-34620942-002:2015 «Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування», НАПБ 03.005-2002 «Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами», ДСТУ Б В.1.1-4 «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги» та [1–3]. У цьому випадку може істотно знизитися безпека людей і матеріальних цінностей під час пожеж у вертикальних кабельних тунелях АЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [4] були представлені результати досліджень, що стосувалися температурного впливу пожежі у тунелі Рунехамр в Норвегії. Зазначено, що дослідження TNO підтвердили попередні результати, отримані в 1979 році в Нідерландах. Роботи розділу VII.4 «Вогнева реакція матеріалів» звіту 1999 р. 05.05.Б «Контроль вогню та диму в тунелях» обговорюють характеристики скельних тунельних облицювань порівняно із залізобетонними. Інтенсивність тепла, що виділяється під час великої пожежі, може призвести до того, що огороджувальна конструкція тунелю втратить свою несучу функцію. Але при порівнянні температурно-часових залежностей пожеж виникають об'єктивні труднощі, пов'язані з визначенням вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій кабельних тунелів атомних електричних станцій, оскільки основним методом визначення вогнестійкості будівельних конструкцій є метод випробувань за стандартним температурним режимом пожежі (1).

 © Трошкін С.Е.

$$\theta_g = T_0 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1), \quad (1)$$

де t – час, хв; T_0 – початкова температура середовища, °С.

У роботах [5, 6] вирішувалися питання стосовно динаміки розвитку пожеж у кабельних спорудах та динаміки температури в зоні горіння з та без подачі інертних газів. Ці дослідження важливі для розуміння процесів пожежі. У роботі [7] встановлено, що ширина тунелю мало впливає на швидкість вигоряння пожежного навантаження, і вимірювалися розподіли температури в тунелях з різними умовами вентиляції. Це важливі відомості для проєктування тунелів. Незважаючи на практичну значущість таких результатів, не розглянуто в достатній мірі методи укладки кабелів у тунелях прямокутного перерізу. Експериментальні дослідження часто проводять у зменшених масштабах модельних тунелів, які були виготовлені з вогнетривкого скла [8] або оцинкованої сталі [9]. Горіння електричних кабелів супроводжується виділенням значної кількості тепла, яке визначається питомою теплотою згоряння матеріалів ізоляції, захисних оболонок кабелів і масою цих матеріалів, що містяться в одиниці довжини кабелю, а також залежить від геометричних, технічних та аеродинамічних параметрів.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути проведення натурного вогневого випробування щодо визначення температурного режиму пожежі на повномасштабних моделях. Однак на даний час є питання відповідності вогнестійкості випробовуваних конструкцій вертикальних кабельних тунелів із відмінними характеристиками до стандартного температурного режиму пожежі від геометричних, аеродинамічних параметрів та пожежного навантаження. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого визначенню температурного режиму при пожежі у вертикальних кабельних тунелях атомних електростанцій.

Формулювання мети статті

Метою роботи є проведення натурних експериментальних досліджень для отримання якісних експериментальних даних, які залежать від технічно-геометричних параметрів вертикального кабельного тунелю атомної електричної станції.

В роботі використано метод аналізу властивостей матеріалів, що застосовуються для виготовлення огороджувальних конструкцій, а також методи експериментального дослідження, який включав організацію проведення випробувань, збір та аналіз результатів дослідження науково-технічних досягнень з питань проведення натурних випробувань на повномасштабному об’єкті дослідження.

Об’єктом роботи є натурні експериментальні дослідження на повномасштабній конструкції вертикального кабельного тунелю атомної електричної станції (рис. 1).

Рис. 1. Повномасштабна конструкція вертикального кабельного тунелю атомної електростанції

Предмет роботи – створення послідовності експериментальних дій натурних вогневих випробувань у вертикальному кабельному тунелі атомних електричних станцій та отримання індивідуального температурного режиму пожежі у вертикальному кабельному тунелі з відмінними аеродинамічними, геометричними параметрами та пожежним навантаженням.

Виклад основного матеріалу

Фізико-хімічні властивості матеріалів зразків пожежного навантаження вертикального кабельного тунелю для проведення обчислювального експерименту задавались відповідно до характеристик кабелю та аналоговому розміщенню кабелів на АЕС. Запропоновані параметри пожежного навантаження, що складається з ізоляції електричних кабелів різного діаметру, починаючи з 20 мм та закінчуючи 65 мм, з оболонкою полівінілхлоридною ізоляцією у вертикальному кабельному тунелі (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри кабелів для пожежного навантаження вертикального кабельного тунелю АЕС

з/п	Неметалевий матеріал	Діаметр кабелю, мм	Довжина кабелю, мм	Маса, кг	Густина, г/см^3	Об'єм неметалевого матеріалу в 1 м кабелю, кг
1	Зовнішня оболонка кабелю	75	18000	13,985	1,43	3,3331
2		60	6000	6,7122		1,5997
3		30	48000	5,9683		1,4224
4		25	12000	1,2434		0,2963
5		20	24000	0,9946		0,2370
6	Ізоляція жил	10	42000	0,8698		0,2072
7		10	3000	0,0620		0,0148
Загальний об'єм неметалевих матеріалів у 1 м кабелю						7,1000
Пожежне навантаження, МДж/м^2						3 266,00

На рис. 2 наведений вигляд кабелів у відповідній секції вертикального кабельного тунелю для формування пожежного навантаження максимально допустимого згідно норм проведення досліджень ДСТУ Б В.1.1-4-98. «Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги», ДСТУ Б В.1.1-18 «Споруди та фрагменти будівель. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги» та [1, 2].

Рис. 2. Вигляд вертикально встановлених кабелів, зафіксованих у спеціальних кабельних кронштейнах для формування наявного пожежного навантаження

Розглядається кабельний поверх реакторного відділення головного корпусу АЕС, висотою 6 метрів, на відмітці 33,200 м облаштування реактору ВВЕР. Горючим матеріалом електричного кабелю є полівінілхлорид (далі – ПВХ), матеріал який знаходиться в зоні теплового впливу – сталеві кронштейни та металеві дроти кріплення з маркою сталі якості Ст3сп.

Для проведення експериментальних випробувань у вертикальному кабельному тунелі АЕС обирається існуюча повномасштабна конструкція вертикального кабельного тунелю із внутрішнім простором розмірами 2600×1800×6000 мм. Товщина огородження кабельного тунелю складає: бокових стінок – 200 мм; плит перекриття – 200 мм. У секції вертикального кабельного тунелю АЕС розташовані через кожний метр кронштейни для встановлення на них пожежного навантаження, вертикально зафіксовані на них кабелі відповідно до умов ДСТУ Б В.1.1-18 та ДСТУ Б В.1.1-4-98. З одного боку вертикальний кабельний тунель АЕС закритий торцевою залізобетонною стіною довжиною 2200 мм. З іншого боку у вертикальному кабельному тунелі АЕС є проріз розмірами 900×2000 мм. З боку закритого торця у лівому нижньому куті є спеціальний отвір, куди має нагнітатись повітря для створення підпору (рис. 3).

Рис. 3. Фото вентиляційних отворів вертикального кабельного тунелю перед початком випробування

На рис. 4 наведена схема розташування кабелів на кронштейнах, які використовуються у якості пожежного навантаження.

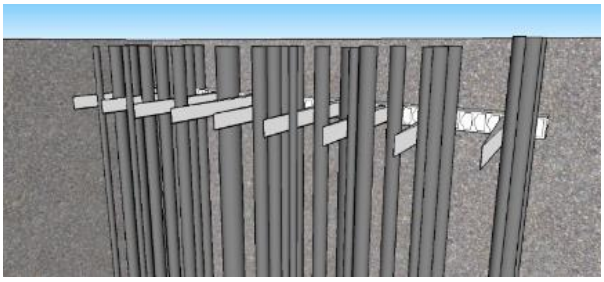

Рис. 4. Схема розташування кабелів на кронштейнах за умов 3D-моделювання

На рис. 5 зображена змодельована конструктивна схема секції вертикального кабельного тунелю АЕС.

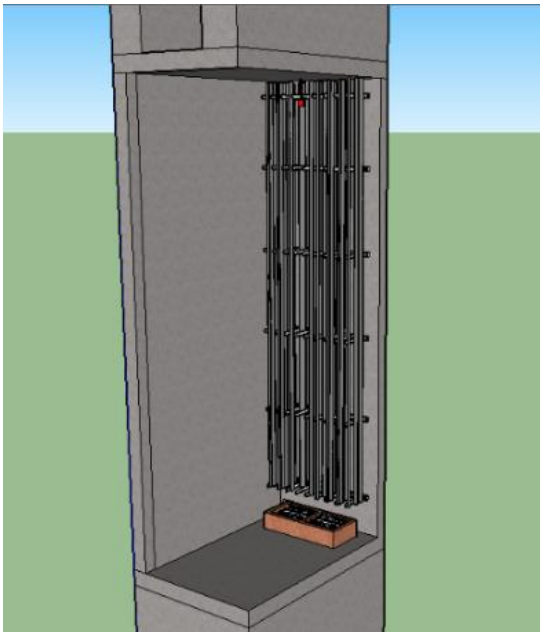

Рис. 5. Модель секції поверху вертикального кабельного тунелю АЕС

Згідно зі схемою на рис. 4, кабелі розташовані у вертикальному положенні зафіксованими металевими дротами 1,5 мм діаметру до кронштейнів.

У якості джерела запалювання кабелів використовується модельне вогнище класу пожежі 32В у вигляді піддону. На рис. 6 показана схема розташування джерела запалювання на нижній точці поверхні секції поверху вертикального кабельного тунелю АЕС.

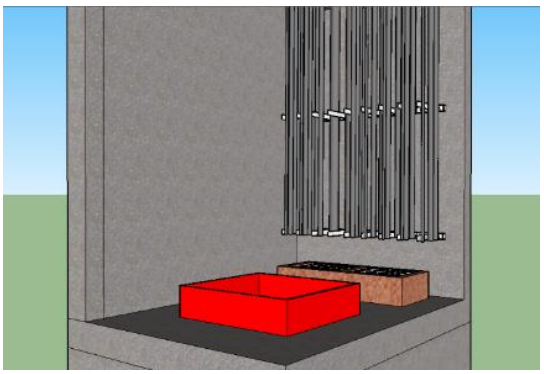

Рис. 6. Схема розташування джерела запалювання поряд з кабелями. Червоним кольором позначено піддон модельного вогнища класу «В» відповідно до ДСТУ 3675

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

Таблиця 2

Основні технічні параметри джерела запалювання

Ранг	Об'єм використаної рідини, л	Маса використаних горючих матеріалів, л		Площа горіння (наближена), м^2
		Дизельне пальне	Бензин	
32В	32	30	2	1,0

Як горюча рідина використовується дизельне паливо марки ДП-3-Євро5-ВО, бензин марки А-92-Євро5-Е0.

Розташування контрольно-вимірювальної арматури у вигляді температурних датчиків обиралось з урахувань геометричних параметрів (рис. 7).

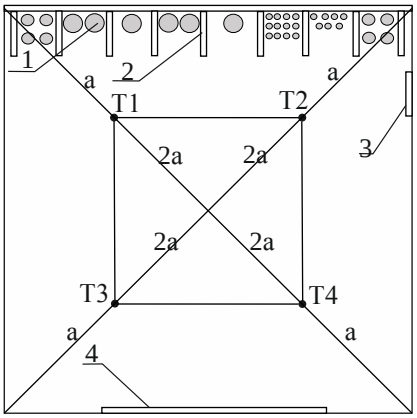

Рис. 7. Схема розташування місць контролю температури у геометричному перерізі кабельного тунелю: 1 – кабелі; 2 – кронштейни; 3 – технологічний отвір виводу кабелів з секції; 4 – технологічний оглядовий прохід; Т1–Т5 – місця контролю температури; а – параметр геометричного розміру в залежності від поздовжнього перерізу тунелю

Фото-фіксація пожежного навантаження та розміщення осередку пожежі перед початком випробування представлена на рис. 8.

Рис. 8. Фото простору вертикального кабельного тунелю перед початком експерименту

У якості температурних датчиків застосовуються хромель-алюмелеві термопари типу ТХА в комплекті з контрольною інфраструктурою для ідентифікації температурних даних з температурних датчиків. Похибка вимірювання термопар складає ±1 °С. Схему розташування термопар у вертикальному кабельному тунелі АЕС показано на рис. 9.

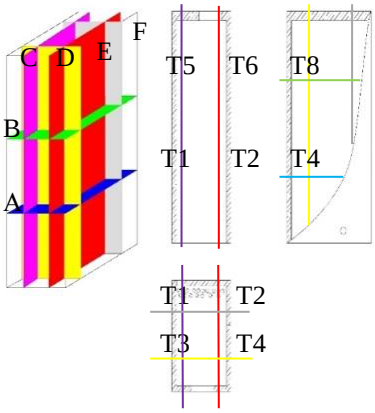

Рис. 9. Схема розташування термопар у вимірювальних площинах на поверсі вертикального кабельного тунелю АЕС (відмітка 33,200 м)

На рис. 9 представлено наступне: вимірювальна площина А, яка розміщена на висоті 2,0 м від рівня підлоги (Т01–Т04); вимірювальна площина В, яка розміщена на висоті 4,0 м від рівня підлоги (Т05–Т08); вимірювальна площина С, яка розміщена на відстані 0,3 м від стіни (Т01, Т03, Т05, Т07); вимірювальна площина D, яка розміщена на відстані 0,3 м від стіни (Т02, Т04, Т06, Т08); вимірювальна площина Е, яка розміщена на відстані 0,68 м від стіни (Т03, Т04, Т07, Т08); вимірювальна площина F, яка розміщена на відстані 0,68 м від стіни (Т01, Т02, Т05, Т06).

Отже, експериментальне обладнання включає в себе: натурний фрагмент секцій у натуральну величину вертикального кабельного тунелю АЕС (рис. 1, 5, 6, 7), вентиляційне обладнання для створення підпору повітря у внутрішньому просторі (рис. 3), пожежне навантаження у вигляді полімерних горючих матеріалів кабелів, закріплених у кронштейнах відповідно до аналогового розміщення кабелів на ВП «Запорізька АЕС» (рис. 2, табл. 1), джерело запалювання кабелів у вигляді модельного факелу класу пожежі «В» (рис. 6, табл. 2), 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 фрагмента вертикального кабельного тунелю (рис. 7, 9).

Ініціація горіння у джерелі запалювання та початок експерименту з проведенням відеофіксації та контролю температур проводилось через кожну хвилину відповідно до умов експериментальних досліджень, описаних у ДСТУ Б В.1.1-18 та ДСТУ Б В.1.1-4-98. Швидкість потоку повітря на початок натурного експерименту складає: в площині X дорівнює 0,52 м/с; в площині Y дорівнює 0,16 м/с; в площині Z дорівнює 0,04 м/с.

Для кореляції результатів було проведено 3 експерименти на секціях вертикального кабельного тунелю АЕС аналогу проєктованих будівельних конструкцій Запорізької АЕС на різних відмітках вертикального кабельного тунелю. Тривалість кожного з них склала 90 хв. Випробування проведено за температури 15 °С та відносної вологості повітря 48%.

На рис. 10 показано вигляд вертикального кабельного тунелю у процесі експериментальних досліджень.

Рис. 10. Фото простору вертикального кабельного тунелю перед початком експерименту

На рис. 11 показано процес закінчення експериментальних досліджень із застосуванням первинних засобів пожежогасіння за виконанням умов безпеки охорони праці при проведенні досліджень.

Рис. 11. Фото на час закінчення експерименту

Результати по кожній з 8 встановлених термопар показано на рис. 12, із проведенням трьох експериментальних натурних випробувань.

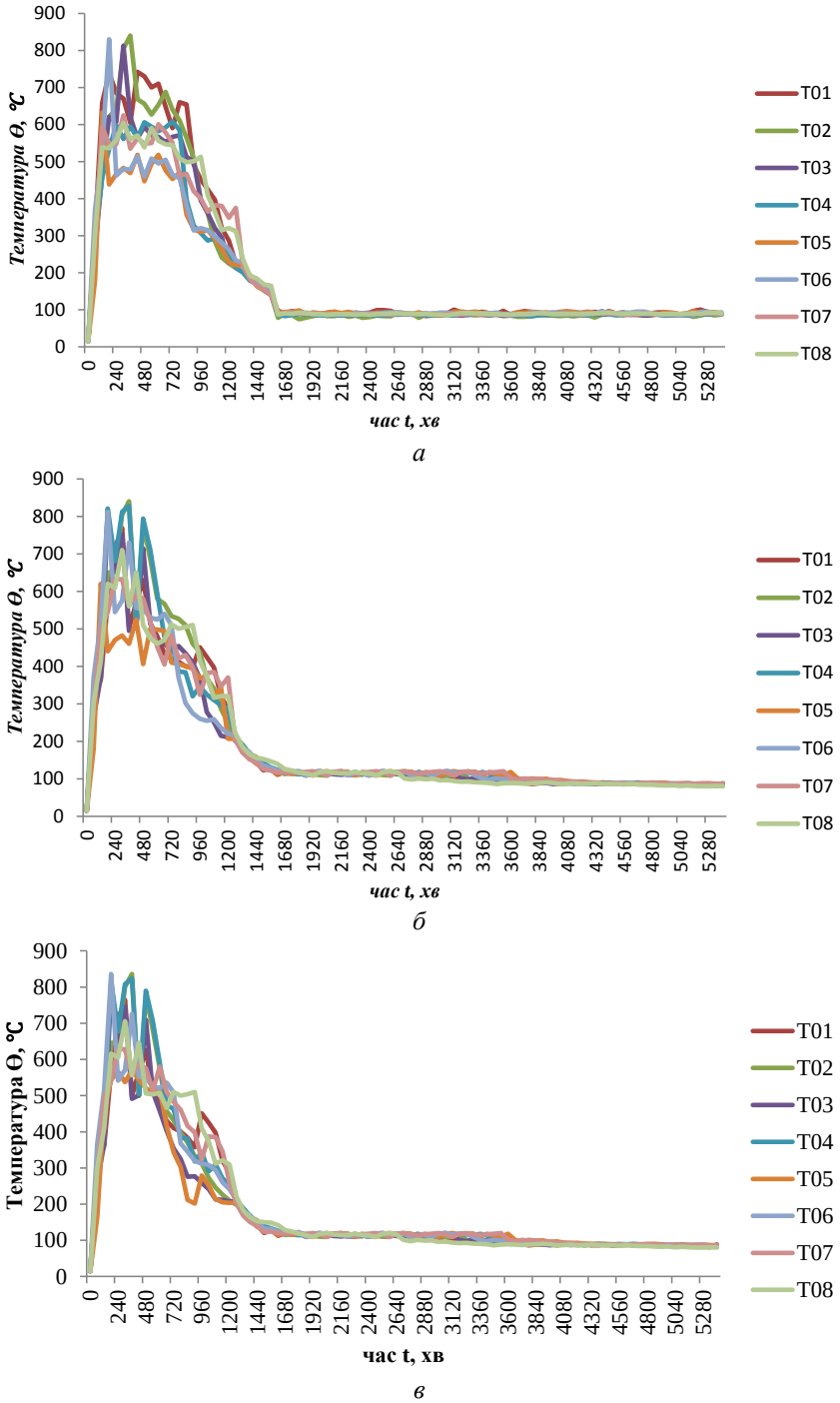

Рис. 12. Температурно-часова залежність у вертикальному кабельному тунелі АЕС за результатами трьох *(а, б, в)* експериментальних досліджень по кожній з 8 встановлених термопар (рис. 7, 8)

Аналізуючи температурно-часові залежності за результатами трьох експериментальних досліджень у вертикальному кабельному тунелі (рис. 12), можна констатувати, що найвища температура спостерігається в зоні площини D в межах 800–900 °C. Теплова енергія розповсюджується інтенсивніше в бік заповнення простору протилежному до заповнення отвору виходу продуктів горіння та отворів вентиляції. Температура у зоні площини C знаходиться в межах 500–800 °C.

На рис. 13 показано стан огороджувальних конструкцій після впливу на них небезпечних чинників пожежі.

Рис. 13. Фото стану огороджувальних конструкцій після впливу на них небезпечних чинників пожежі

Висновки і перспективи подальших досліджень

Теплова енергія розповсюджується інтенсивніше в бік заповнення простору протилежному до заповнення отвору виходу продуктів горіння та отворів вентиляції. Температура у зоні площини С знаходиться в межах 500–800 °С. Найбільш інтенсивно теплова енергія розповсюджується в сторону заповнення до отвору виходу продуктів горіння (рис. 10).

Таким чином, для випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість необхідно обирати найжорсткіший температурний режим. Максимальна температура у зоні горіння досягається на четвертій хвилині натурного експерименту. Дана температура відповідно до стандартного температурного режиму пожежі (1) досягається не раніше ніж через 40 хвилин. Можна констатувати, що стандартний температурний режим пожежі не є адекватним для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій вертикальних кабельних тунелів АЕС. Це не розходиться з практичними даними, відомими з робіт [4–11].

Перспективи даного дослідження полягають у тому, що отримані дані є основою для верифікації комп'ютерних моделей пожеж у вертикальних кабельних тунелях АЕС та визначення температурного режиму пожежі для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій вертикальних кабельних тунелів АЕС за різними геометричними характеристиками та пожежним навантаженням. 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 верифікації стане можливим дослідити температурні режими пожеж у вертикальних кабельних тунелях різного розміру та з різним пожежним навантаженням.

Подальша робота може бути направлена на створення математичної моделі вертикального кабельного тунелю.

Література

1. *EN 1991-1-2:2010. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. – Effective as of 2010–12–01. – Brussels (Belgium) : European Committee for Standardization (CEN), 2010. – 65 p.*
2. *EN 1992-1-2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1–2: General rules – Structural fire design. – Effective as of 2004–07–08. – Brussels (Belgium) : European Committee for Standardization (CEN), 2004. – 97 p.*
3. *Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants : safety guide / International Atomic Energy Agency. – Vienna (Austria) : IAEA, 2000. – No. NS-G-2.1. – 34 p. – (IAEA Safety Standards Series). – Regime of access: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1091_web.pdf, free (date of the application: 05.12.2023).*
4. *Fire resistance of structures / PIARC Committee on Road Tunnels (C5) // Fire and Smoke Control in Road Tunnels : technical report / PIARC Committee on Road Tunnels (C5). – La Défense (France) : PIARC, 1999. – No. 05.05.B. – Ch. VII.4. – P. 259–268. – Regime of access: https://tunnelsmanual.piarc.org/sites/tunnels-manual/files/public/wysiwyg/import/Chapters%20PIARC%20reports/1999%2005.05.B%20Chap%207.4%20EN.pdf, free (date of the application: 05.12.2023).*
5. *Ковалишин В. В. Перевірка на адекватність моделювання процесів розвитку і гасіння пожеж в кабельних тунелях (в обмежених об'ємах) / В. В. Ковалишин // Науковий вісник УкрНДІПБ / Укр. н.-д. ін-т пожеж. безпеки. – Київ : УкрНДІПБ, 2013. – № 2 (28). – С. 147–152. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2013_2_25, вільний (дата звернення: 05.12.2023).*
6. *Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source / J. Ji, Y. Bi, K. Venkatasubbaiah, K. Li // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 106. – P. 1094–1102. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.06.086.*
7. *Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends / X. Tian, M. Zhong, C. Shi, P. Zhang, C. Liu // Applied Thermal Engineering. – 2017. – Vol. 116. – P. 233–243. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.01.099.*
8. *Experimental study of the effectiveness of a water system in blocking fire-induced smoke and heat in reduced-scale tunnel tests / J. Sun, Z. Fang, Z. Tang, T. Beji, B. Merci // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2016. – Vol. 56. – P. 34–44. – DOI: 10.1016/j.tust.2016.02.005.*
9. *Experimental study on the interaction between fire and water mist in long and narrow spaces / P. Zhang, X. Tang, X. Tian, C. Liu, M. Zhong // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 94. – P. 706–714. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.110.*
10. *Дослідження адекватності результатів математичного*

моделювання динаміки пожежі в приміщенні за допомогою програмного комплексу FDS / С. Е. Трошкін, С. О. Сідней, Є. О. Тищенко, О. В. Некора // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. пр. / Академ. пожеж. безпеки ім. Героїв Чорнобиля. – Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2015. – № 20. – С. 104–109. – Режим доступу: https://edu-mns.org.ua/nmc/523/Pozhezhna_bezpeka__20-2015.pdf#page=104, вільний (дата звернення: 05.12.2023).

11. Modic J. Fire simulation in road tunnels / J. Modic // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2003. – Vol. 18, Issue 5. – P. 525–530. – DOI: 10.1016/S0886-7798(03)00069-5.

References

1. European Committee for Standardization (CEN). (2010). *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire* (EN 1991-1-2:2010).
2. European Committee for Standardization (CEN). (2004). *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1–2: General rules – Structural fire design* (EN 1992-1-2:2004).
3. International Atomic Energy Agency. (2000). *Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants: Safety Guide* (IAEA Safety Standards Series, no. NS-G-2.1). Retrieved from https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1091_web.pdf
4. PIARC Committee on Road Tunnels (C5). (1999). Fire resistance of structures. *Fire and Smoke Control in Road Tunnels: technical report* (no. 05.05.B, ch. VII.4, pp. 259–268). PIARC. Retrieved from https://tunnelsmanual.piarc.org/sites/tunnels-manual/files/public/wysiwyg/import/Chapters%20PIARC%20reports/1999%2005.05.B%20Chap%207.4%20EN.pdf
5. Kovalyshyn, V. (2013). Check the adequacy modeling of development and extinguishing fires in cable tunnels (in a limited volume). *Naukovyi Visnyk UkrNDIPB*, 2(28), 147–152. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2013_2_25 [in Ukrainian]
6. Ji, J., Bi, Y., Venkatasubbaiah, K., & Li, K. (2016). Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source. *Applied Thermal Engineering*, 106, 1094–1102. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.06.086
7. Tian, X., Zhong, M., Shi, C., Zhang, P., & Liu, C. (2017). Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends. *Applied Thermal Engineering*, 116, 233–243. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.01.099
8. Sun, J., Fang, Z., Tang, Z., Beji, T., & Merci, B. (2016). Experimental study of the effectiveness of a water system in blocking fire-induced smoke and heat in reduced-scale tunnel tests. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 56, 34–44. DOI: 10.1016/j.tust.2016.02.005
9. Zhang, P., Tang, X., Tian, X., Liu, C., & Zhong, M. (2016). Experimental study on the interaction between fire and water mist in long and narrow spaces. *Applied Thermal Engineering*, 94, 706–714. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.10.110
10. Troshkin, S. E., Sidnei, S. O., Tyshchenko, Ye. O., & Nekora, O. V. (2015). Study of the adequacy of the results of mathematical modelling of fire dynamics in a compartment using the FDS software suite. *Fire Safety: Theory and Practice*, (20), 104–109. Retrieved from https://edu-mns.org.ua/nmc/523/Pozhezhna_bezpeka__20-2015.pdf#page=104
11. Modic, J. (2003). Fire simulation in road tunnels. Tunneling and Underground Space Technology, 18(5), 525–530. DOI: 10.1016/S0886-7798(03)00069-5

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Мирошник, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Україна.

Автор: ТРОШКІН Сергій Едуардович
ад'юнкт кафедри фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України
E-mail – sergeytroshkin455@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3795-2000

CONDUCTING A NATURAL FIRE TEST IN THE VERTICAL CABLE TUNNEL OF A NUCLEAR POWER PLANT

S. Troshkin
Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chornobyl of the National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

The article discusses conducting a full-scale fire test in the vertical cable tunnel of a nuclear power plant (NPP). Vertical cable tunnels in NPPs are used for laying cable lines, wires, safety system lines, connecting the equipment room, and the containment of the nuclear power plant block. The paper analyses research methods and selects options that will be effectively used to determine the temperature regime in the vertical cable tunnel of NPPs with known aerodynamic, technical, and geometric parameters and fire loads. The algorithm for conducting full-scale tests in the vertical cable tunnel of an NPP is described. Based on the research, the maximum temperature in the combustion zone is reached on the fourth minute of the full-scale tests in the vertical cable tunnels of nuclear power plants. By obtaining temperature graphs in the vertical cable tunnel of the NPP, it can be observed that the highest temperature is in plane D (800–900 °C), and it depends on the location of the control point. Thermal energy propagates more intensively in the direction opposite to the filling of the space, which is opposite to the exit of combustion products and ventilation openings. The temperature in plane C is in the range of 500–800 °C. Thermal energy propagates most intensively towards the filling to the exit of combustion products. This temperature significantly deviates from the standard temperature regime, which differs greatly from the full-scale experimental study of fires in the vertical cable tunnels of nuclear power plants. It can be concluded that the standard temperature regime of a fire is not adequate for testing the fire resistance of the structural elements of vertical cable tunnels in nuclear power plants. An important conclusion of these studies is the possibility of determining the fire resistance of building structures of vertical cable tunnels of NPPs with the selection of the most severe temperature regime, according to the conducted field test. It means that research results can be used in practice in designing and evaluating the safety of such objects.

Keywords: *fire, natural fire tests, nuclear power plant, vertical cable tunnel.*