

УДК 681.3:681.5.017

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.290426.103.1230

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА МАЙДАНЧИКАХ АЕС

СЄДІН В. Л.¹, *докт. техн. наук, проф.*,

УЛЬЯНОВ В. Ю.^{2*}, *ас.*,

КОВБА В. В.^{3*} *канд. техн. наук, доц.*,

ЗАГІЛЬСЬКИЙ В. А.⁴, *канд. техн. наук, доц.*,

БЕКІРОВ В. О.⁵, *асп.*,

ЛАПКО Р. В.⁶, *асп.*

¹ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sedin.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: uljanovvu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*} Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: kovba.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: zahilskiy.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

⁵ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: bekirov.veli@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-6123-5943

⁶ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: lapko.roman@365.pdaba.edu.ua, ORCID 0009-0009-4899-6090

Анотація. Постановка проблеми. У статті обґрунтовується необхідність доповнення існуючих систем пасивної безпеки на атомних електростанціях новою системою пасивного пожежогасіння. Новою системою пасивного пожежогасіння можуть бути обладнані як АЕС, що розташовані в рівнинній зоні, так і АЕС, які розташовані у гірських умовах. Особливістю запропонованої системи є можливість самоплинного характеру подачі води на майданчик АЕС. Запропонована пасивна система протипожежної безпеки (ПСПБ АЕС) може стати ще одним додатковим захисним бар'єром, який підвищує експлуатаційну надійність АЕС, що може бути особливо актуальним у світлі поточної політичної, економічної та військової ситуації. **Мета статті.** Мета роботи полягає у обґрунтуванні необхідності доповнення існуючих пасивних систем безпеки АЕС новою автономною системою пасивного пожежогасіння, здатною підвищити рівень протипожежного захисту майданчика. Також передбачається визначення технічних рішень щодо розміщення, конструкції та принципів функціонування такої системи з урахуванням геоморфологічних та інженерно-геологічних умов майданчиків АЕС. **Висновки.** Особливістю запропонованої системи є можливість самоплинного характеру подачі води на майданчик АЕС шляхом ручного відкриття засувок на пожежних трубопроводах. Приклади розміщення самоплинних систем подачі води для гасіння пожеж на майданчиках АЕС авторам цієї статті невідомі. Таким чином, запропонована пасивна система протипожежної безпеки (ПСПБ АЕС) може стати ще одним додатковим захисним бар'єром, який підвищує експлуатаційну надійність АЕС, що може бути особливо актуальним у світі поточної політичної, економічної та військової ситуації. В умовах перехідного між рівнинним та гірським рельєфом, розміщення такої системи економічно доцільніше, хоча й вимагатиме проведення додаткових розрахунків, у т.ч. як стійкості ґрунтів самого майданчика під резервуар, так і стійкості схилів. Самі елементи системи пасивного пожежогасіння, в т.ч. естакади під трубопроводи, як і їх фундаменти, є переважно типовими і не становитимуть жодних складнощів при проектуванні та зведенні.

Ключові слова: АЕС; експлуатація; пасивні системи безпеки; системи пожежогасіння

ON THE NEED TO IMPLEMENT PASSIVE FIRE SUPPRESSION SYSTEMS AT NUCLEAR POWER PLANT SITES

SEDIN V.L.¹ *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
ULYANOV V.Yu.^{2*} *Ass.*,
KOVBA V.V.^{3*} *Ph. D., Assoc. Prof.*,
ZAHILSKYI V.A.⁴ *Ph. D., Assoc. Prof.*,
BEKIROV V.O.⁵ *Postgrad. Stud.*,
LAPKO R.V.⁶ *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: sedin.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

^{2*} Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: ulanovvu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*} Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: kovba.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: zahilskiy.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

⁵ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: bekirow.veli@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-6123-5943

⁶ Department of Engineering Geology and Geotechnics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: lapko.roman@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-4899-6090

Abstract. Problem statement. The article justifies the need to supplement existing passive safety systems at nuclear power plants with a new passive fire extinguishing system. Both NPPs located in the plain zone and NPPs located in mountainous conditions can be equipped with a new passive fire extinguishing system. A feature of the proposed system is the possibility of self-flowing water supply to the NPP site. The proposed passive fire safety system (PSPB NPP) can become another additional protective barrier that increases the operational reliability of the NPP, which may be especially relevant in light of the current political, economic and military situation. **The purpose of article.** The purpose of the work is to justify the need to supplement the existing passive safety systems of NPPs with a new autonomous passive fire extinguishing system capable of increasing the level of fire protection of the site. It is also planned to determine technical solutions for the location, design and principles of operation of such a system, taking into account the geomorphological and engineering-geological conditions of the NPP sites. **Conclusions.** A feature of the proposed system is the possibility of self-flowing water supply to the NPP site by manually opening the valves on the fire pipelines. The authors of this article are not aware of examples of placement of self-flowing water supply systems for extinguishing fires at NPP sites. Thus, the proposed passive fire safety system (PPFS NPP) can become another additional protective barrier that increases the operational reliability of the NPP, which may be especially relevant in the current political, economic and military situation. In conditions of transition between flat and mountainous terrain, placement of such a system is economically more expedient, although it will require additional calculations, including both the stability of the soil of the site itself under the tank and the stability of the slopes. The elements of the passive fire extinguishing system themselves, including the overpasses for pipelines, as well as their foundations, are mostly typical and will not pose any difficulties in design and construction.

Keywords: *NPP; operation; passive safety systems; fire extinguishing systems*

Постановка проблеми. За умови нормальної експлуатації атомні електричні станції не становлять небезпеки для персоналу, населення та навколишнього середовища, проте, як джерело небезпеки АЕС розглядаються лише в аварійних ситуаціях. Тому, при проектуванні завчасно

визначаються технічні заходи, створені для запобігання чи обмеження наслідків аварій. Для цього використовуються спеціальні системи безпеки.

Положення сучасної концепції безпеки АЕС відображені у документах МАГАТЕ та передбачаються до реалізації національними

нормативно-законодавчими та нормативно-технічними документами [1–5].

Одним із факторів небезпеки є промислові пожежі, тому в даній роботі обґрунтовується необхідність доповнення існуючих систем пасивної безпеки на АЕС новою системою пасивного пожежогасіння. Пасивна система протипожежної безпеки (ПСПБ АЕС) може стати ще одним додатковим захисним бар'єром, який підвищує експлуатаційну надійність АЕС [6–11].

Мета статті. Мета роботи полягає у обґрунтуванні необхідності доповнення існуючих пасивних систем безпеки АЕС новою автономною системою пасивного пожежогасіння, здатною підвищити рівень протипожежного захисту майданчика. Також передбачається визначення технічних рішень щодо розміщення, конструкції та принципів функціонування такої системи з урахуванням геоморфологічних та інженерно-геологічних умов майданчиків АЕС.

Матеріали та методи. Для забезпечення багаторівневого захисту передбачаються системи активної та пасивної безпеки. Активні системи безпеки залежать від джерел енергії. Пасивні системи безпеки працюють за допомогою природних процесів без участі персоналу. Серед пасивних систем безпеки АЕС широко відомі:

- система пасивного відведення тепла від захисної оболонки;
- система пасивного відведення тепла через парогенератори;
- система швидкого введення бору.

Крім перерахованих вище систем пасивної безпеки, важлива роль на майданчиках АЕС відводиться і протипожежним системам. Крім систем внутрішнього протипожежного захисту енергоблоків використовуються і системи зовнішнього протипожежного захисту. Традиційно для гасіння пожеж, особливо зовнішніх, на території АЕС чинним нормативами передбачено окремий протипожежний водопровід тиску, на зовнішніх мережах якого встановлено пожежні гідранти.

Гасіння зовнішніх пожеж передбачено також шляхом подачі води від пересувної пожежної техніки. Забір води пожежними автомобілями передбачений від джерел водопостачання, що є на майданчику, для чого до них передбачені під'їзні шляхи та розворотні майданчики. Однак у певних умовах існуючих систем може виявитися недостатньо. А доступ пересувних пожежних автомобілів до місць загоряння чи забору води обмежений. Також при пошкодженні енергопостачання можуть вийти з ладу системи створення та підтримання тиску у протипожежному трубопроводі.

Для підвищення безпеки стандартна система пожежогасіння на АЕС може і має бути додатково доповнена системою пасивного типу (умовна назва – ПСПБ АЕС). Звичайно, якщо це дозволяють геоморфологічні та гідрогеологічні умови майданчика АЕС [10; 11].

Результати досліджень. Система пасивного типу може функціонувати автономно і бути резервною для підживлення стаціонарної системи пожежогасіння у разі масштабних пожеж на АЕС.

До складу обладнання запропонованої системи пасивного пожежогасіння повинні входити ємності для води або спеціальної рідини разом з трубопроводами. Ємності для води, за типом нафтових резервуарів, розташовуються значно вище майданчиків АЕС і пов'язані з ними трубопроводами на естакадах (по одному на кожен енергоблок або через проміжний пункт загальностанційного перенаправлення потоків). Перепад висот повинен забезпечувати самоплинну подачу води до об'єктів на майданчику АЕС з необхідним тиском та можливістю ручного відкриття всіх засувок.

Живлення електричною енергією необхідного насосного обладнання призначене лише для поповнення ємностей. Джерелами води можуть бути водоймища (в окремих випадках, і морські акваторії) та свердловини. Об'єм в баках ПСПБ АЕС повинен забезпечувати подачу необхідної кількості води при масштабних загораннях

одночасно у кількох точках майданчика. Орієнтовно на один енергоблок об'єм такого резервуара може становити не менше 1 200–1 500 м³, тобто максимальний обсяг резервуару для АЕС із 6 енергоблоків буде не менш 10 000 м³.



Рис. 1. Зведення резервуарів на ДСП «Чорнобильська АЕС»

Так, у 2016 р. на майданчику об'єкту «Укриття» ДСП «Чорнобильська АЕС» чеською фірмою «Kohimex, spol. s r.o.» було споруджено два сталеві пожежні резервуари об'ємом 1 648 м³ кожен (корисний об'єм 1 530 м³) (рис. 1.).

При розташуванні АЕС у районах з помірним кліматом необхідно передбачити обігрів трубопроводів та ємностей. В аридних регіонах – уповільнювати або запобігати випаровуванню рідини з ємностей (на кшталт термоізоляції морських суден-газовозів ЗПП).

Особлива увага стосовно вимоги якості металу приділяється ємностям та трубопроводам.

Технології спорудження таких резервуарів добре відпрацьовані. Як правило, ємності об'ємом до 10 000 м³ виготовляються «рулонним» способом. Для

цього металеві листи зварюють в одне велике полотно, згортають у рулон і везуть на будмайданчик. Там його встановлюють на підготовлений фундамент, розгортають і з'єднують за допомогою зварювання. Позитивний ефект такого методу – скорочення обсягу зварювальних робіт на майданчику до 80 %. Трубопроводи виконуються із вуглецевої сталі. Арматура – загальнопромислова фланцева, також виготовлена з вуглецевої сталі.

Елементи системи вбудовуються в систему пожежогасіння, проте енергозабезпечення та управління повністю автономні від станційних джерел.

Ідеальний варіант, виходячи з рельєфу місцевості, де це можливо здійснити – АЕС «Фламанвіль» у Франції (рис. 2). Подібні сприятливі умови мають АЕС (рис. 3) «Ембальсе» (Аргентина), АЕС ім. адмірала Алваро Алберто (Бразилія), АЕС «Тяньвань» (Китай) та інші.



Рис. 2. Рельєф майданчика АЕС «Фламанвіль»



Рис. 3. Рельєф АЕС «Ембальсе» (Аргентина)

Багато АЕС, що розташовані в подібних геоморфологічних умовах, також можуть бути обладнані такою системою. У рівнинних умовах, у яких переважно розташовані АЕС України, це зробити набагато складніше, проте цілком можливо.

Для цього необхідний хоч і відносно невеликий, але все ж таки перепад висот поблизу майданчиків АЕС. Саме такий перепад висот є на майданчику Запорізької АЕС, для якої ще до військових дій Придніпровською державною академією будівництва та архітектури (ПДАБА), а нині навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технології (ННІ ПДАБА УДУНТ), у ініціативному порядку, було виконано попереднє концептуальне рішення принципової можливості розміщення зазначеної системи.

Важливим питанням є вибір та підготовка основи для розміщення споруди. Для скельних основ (враховуючи рельєф місцевості) треба звертати особливу увагу на фізичний склад скельних ґрунтів та тектонічні особливості майданчика. Також, повинні бути (за можливості) виключені будь-які блокові зрушення у зонах виявлених тектонічних порушень. З цією метою мають бути проведені стандартні і спеціальні дослідження скельних та умовно пухких дисперсних ґрунтів.

Окремим питанням є вибір типу фундаменту для даної споруди, розташувати яку необхідно на максимально високих позначках рельєфу. Якщо на скельних ґрунтах завдання значно спрощується, то на пухких ґрунтах фундаменти ємностей великого об'єму конструктивно складніші та досить дорогі. Самі ж естакади під трубопроводи, як і їхні фундаменти, є переважно типовими та не будуть представляти жодних складнощів при проєктуванні та зведенні.

Розміщення резервуарів системи пасивного пожежогасіння може бути в комплексі з баштовими градирнями. Баштові градирні використовуються в системі оборотного водопостачання АЕС України,

зокрема на Рівненській і Запорізькій АЕС. Також баштовими градирнями планувалося обладнати Чорнобильську АЕС при своєму розширенні до шести блоків (що не відбулося).

Нагріта вода через водорозподільну систему градирні надходить на зрошувальний пристрій. Градирня є необслуговуваним приміщенням та постійних робочих місць на градирнях немає.

Розробка системи оповіщення та управління евакуацією людей під час пожежі для градирні не потрібна. Захищати градирню автоматичними установками пожежної сигналізації або автоматичними установками пожежогасіння раніше не вимагалось. Однак, як з'ясувалося під час ведення бойових дій, градирні все ж таки схильні до пожеж, особливо в період тривалих перерв в роботі (рис. 4). З цієї причини градирні також потребують протипожежного захисту.



Рис. 4. Пожежа на баштовій градирні Запорізької АЕС

Баштові градирні АЕС необхідно обладнати автоматичними установками пожежної сигналізації та автоматичними установками пожежогасіння. Резервною ємністю для води може служити басейн у нижній частині градирні.

Висновки

Особливістю запропонованої системи є можливість самоплинного характеру подачі води на майданчик АЕС шляхом ручного відкриття засувки на пожежних трубопроводах. Приклади розміщення самоплинних систем подачі води для гасіння

пожеж на майданчиках АЕС авторам цієї статті невідомі.

Таким чином, запропонована пасивна система протипожежної безпеки (ПСПБ АЕС) може стати ще одним додатковим захисним бар'єром, який підвищує експлуатаційну надійність АЕС, що може бути особливо актуальним у світі поточної політичної, економічної та військової ситуації. В умовах перехідного між рівнинним та гірським рельєфом,

розміщення такої системи економічно доцільніше, хоча й вимагатиме проведення додаткових розрахунків, у т.ч. як стійкості ґрунтів самого майданчика під резервуар, так і стійкості схилів. Самі елементи системи пасивного пожежогасіння, в т.ч. естакади під трубопроводи, як і їх фундаменти, є переважно типовими і не становитимуть жодних складнощів при проектуванні та зведенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.1. Specific Safety Guides. Vienna, 2000. 43 p.
2. Safety of Nuclear Power Plants : Commissioning and Operation. IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/2 (Rev. 1). Specific Safety Requirements. Vienna, 2016. 47 p.
3. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ : Український науково-дослідний інститут цивільного захисту УкрНДІЦЗ, 2017. 41 с.
4. ВБН В.1.1-034-2003 (НАПБ 03.005-2002, ГНД 34.03.307-2004, ВБН В.1.1-034-03.307-2003). Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами. [Чинний від 2003-12-25]. Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», 2023.
5. Protection against internal fires and explosions in the design of nuclear power plants. No. SSG-46. IAEA Guidelines. Vienna, 2008. 85 p.
6. Хвалін Д. І. Підвищення безпеки атомних електростанцій шляхом запобігання пожегам і вибухам у машинному залі. *Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику : зб. тез VI Міжнар. конф.* (26–27 вересня 2024 року, м. Київ). Під заг. ред. К. В. Сімейка, А. Н. Носовського, Д. А. Лавренова. Київ, 225 с.
7. Monideep Dey Assuring fire safety in nuclear plants with international standards. *Nuclear Engineering and Design*. November 2024. Vol. 428.
8. Bertrand R., Bonneval F., Mattéi J.M. Fire probability safety analysis in France for 900 MWe nuclear power plants. *Kerntechnik*. 2000. № 65 (2). Pp. 111–114.
9. Zuo Jiaxua, Shi Qiangb, Li Juana, Fu Zhiweia, Song Weia, Chen Jiayunc, Zhang Chunminga, Chai Jianshea. The Performance-Based Fire Protection in the Nuclear Power Plant Design. *Procedia Engineering*. 2012. № 43. Pp. 318–323.
10. Седін В. Л., Ульянов В. Ю., Ковба В. В. Про необхідність впровадження пасивних систем пожежогасіння на АЕС. *Перспективи впровадження інновацій у атомну енергетику : зб. тез VI Міжнар. конф.* (26–27 вересня 2024 року, м. Київ). Київ, 2024. 225 с.
11. Bekirov V., Ulyanov V., Kovba V. The use of sites of coal-fired thermal power plants in Ukraine for the placement of nuclear power plants of various capacities. *Безпека жттедіяльності в XXI столітті : XIX Всеукр. студ. наук.-практ. конф.*(м. Дніпро, 27–28 квітня 2023 р.). Дніпро : ПДАБА, 2023. С. 9–10.

REFERENCES

1. Fire Safety in the Operation of Nuclear Power Plants. IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.1. Specific Safety Guides. Vienna, 2000, 43 p.
2. Safety of Nuclear Power Plants : Commissioning and Operation. IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/2 (Rev. 1). Specific Safety Requirements. Vienna, 2016, 47 p.
3. *DBN V.1.1-7:2016. Pozhezhna bezpeka ob`yektiv budivnictva. Zagalni vimogi. Chinnij vid 2017-06-01. Vid. ofic.* [DBN V.1.1-7:2016. Fire safety of construction sites. General requirements. Effective from 2017-06-01. Official edition]. Kiyiv : Ukrayinskij naukovo-doslidnij institut civilnogo zahistu UkrNDICZ, 2017, 41 p. (in Ukrainian).
4. *VBN V.1.1-034-2003 (NAPB 03.005-2002, GND 34.03.307-2004, VBN V.1.1-034-03.307-2003). Protipozhezhni normi proektuvannya atomnih elektrostancij z vodo-vodyanimi energetichnimi reaktorami. Chinnij vid 2003-12-25 [VBN V.1.1-034-2003 (NAPB 03.005-2002, MND 34.03.307-2004, VBN V.1.1-034-03.307-2003). Fire safety standards for the design of nuclear power plants with water-water power reactors. Effective from 2003-12-25]. Kiyivskij naukovo-doslidnij ta proektно-konstruktorskij institut "Energoprojekt", 2023. (in Ukrainian).*
5. Protection against internal fires and explosions in the design of nuclear power plants. No. SSG-46. IAEA Guidelines. Vienna, 2008, 85 p.
6. Hvalin D.I. *Pidvishennya bezpeki atomnih elektrostancij shlyahom zapobigannya pozhezham i vibuham u mashinnomu zali. Perspektivi vprovadzheniya innovacij u atomnu energetiku : zbirnik tez VI Mizhnarodnoyi konferenciyi*

(26–27 veresnya 2024 roku, m. Kiyiv). *Pid zagalnoyu redakciyeyu K.V. Simejka, A.N. Nosovskogo, D.A. Lavrenova* [Improving the safety of nuclear power plants by preventing fires and explosions in the engine room. Prospects for the Introduction of Innovations in Nuclear Power : collection of abstracts of the VI International conference (September 26–27, 2024, Kyiv). Under the general editorship of K.V. Simeiko, A.N. Nosovsky, D.A. Lavrenova]. Kyiv, 225 p. (in Ukrainian).

7. Monideep Dey Assuring fire safety in nuclear plants with international standards. *Nuclear Engineering and Design*. November 2024, vol. 428.

8. Bertrand R., Bonneval F. and Mattéi J.M. Fire probability safety analysis in France for 900 MWe nuclear power plants. *Kerntechnik*, 2000, no. 65 (2), pp. 111–114.

9. Zuo Jiaxua, Shi Qiangb, Li Juana, Fu Zhiweia, Song Weia, Chen Jiayunc, Zhang Chunminga and Chai Jianshea. The Performance-Based Fire Protection in the Nuclear Power Plant Design. *Procedia Engineering*. 2012, no. 43, pp. 318–323.

10. Syedin V.L., Ulyanov V.Yu. and Kovba V.V. *Pro neobhidnist vprovadzhennya pasivnih sistem pozhezhogasinnya na AES. Perspektivi vprovadzhennya innovacij u atomnu energetiku : zbirnik tez VI Mizhnarodnoyi konferenciyi (26–27 veresnya 2024 roku, m. Kiyiv)* [On the need to implement passive fire extinguishing systems at nuclear power plants. Prospects for the Introduction of Innovations in Nuclear Power : collection of abstracts of the VI International conference (September 26–27, 2024, Kyiv)]. Kyiv, 225 p. (in Ukrainian).

11. Bekirov V., Ulyanov V. and Kovba V. The use of sites of coal-fired thermal power plants in Ukraine for the placement of nuclear power plants of various capacities. *Bezpeka zhttyediyalnosti v HHI stolitti : XIX Vseukrayinska studentska naukovo-praktichna konferenciya* [Life Safety in the 21st century : XIX All-Ukrainian student scientific and practical conference]. 2023, Dnipro : PSACEA, pp. 9–10. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.02.2026.