

# ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ В ЕНЕРГЕТИЦІ

## ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN ENERGY

УДК621.039.7

DOI 10.20535/1813-5420.2.2023.279717

І.А. Остапенко<sup>1</sup>, асистент, ORCID 0000-0003-3980-1609

Д.О. Лейченко<sup>1</sup>, магістр, ORCID 0000-0002-5164-1081

<sup>1</sup>Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### СИСТЕМА ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПЕРШОЇ КАТЕГОРІЇ

*Відкриття радіоактивності Антуаном Анрі Беккерелем у 1896 році було великим досягненням. Сьогодні радіоактивні речовини використовуються в медицині, сільському господарстві, важкій промисловості, електроенергетиці. Але хоча радіоактивність має широкий спектр корисних застосувань, це відкриття також має протилежний бік – неправильне використання іонізуючого випромінювання, яке може призвести до опіків, променевої хвороби, смерті, раку, пухлин і генетичних мутацій. Джерелом іонізуючого випромінювання (ДІВ) – це фізичний об'єкт, що містить радіоактивний матеріал, або технічну установку, яка генерує або здатна генерувати іонізуюче випромінювання за певних умов. З метою забезпечення дотримання допустимих меж радіаційного опромінення людей, населення та навколишнього природного середовища, як зазначено в кодексах, правилах і стандартах безпеки, існує національний регулюючий орган. В Україні з 2007 року державна реєстрація джерел іонізуючого випромінювання є частиною ліцензійної діяльності у сфері використання ядерної енергії. Ті радіоактивні джерела, які не перебувають або ніколи не перебували під регулятивним контролем, або залишені без нагляду, втрачені, неправильно розміщені, перенаправлені без належного дозволу уряду або викрадені, називаються «покинутими джерелами». Проблема з "покинутих джерелами" полягає в їх потенційній небезпеці для здоров'я населення та труднощах виявлення. Як правило, джерела іонізуючого випромінювання розташовані в металевих контейнерах з товстими стінками, що ускладнює ідентифікацію наявності радіоактивного джерела всередині за допомогою відповідного обладнання. Крім того, вони являють собою об'єкти різних форм і розмірів, і як такі вони часто є об'єктами інтересу для різних груп людей з різними цілями. Потрапляння «покинутого джерела» у руки простих громадян може мати катастрофічні наслідки. Прикладом подібної ситуації є радіоактивне забруднення бразильського міста Гоянія в 1987 році. Після крадіжки зловмисники викинули на смітник компоненти обладнання для променевої терапії, що містять радіоактивний ізотоп цезію-137. Згодом дане джерело виявив місцевий житель, дії якого, необережне поводження призвели до поширення радіоактивного забруднення, внаслідок чого від радіоактивного забруднення загинули чотири людини, а територія, на якій знаходиться це джерело, не придатна для життя наступні 300 років.*

**Ключові слова:** джерело іонізуючого випромінювання, система фізичного захисту, мобільна модульна захисна камера, комплект пакувальний транспортний.

**Вступ.** Щороку в енергетичних реакторах у світі виробляється понад 10 000 тонн високоактивних ядерних відходів, ядерних матеріалів і радіоактивних матеріалів, і в більшості країн проводяться операції з транспортування цих матеріалів, які пов'язані з використанням надійного обладнання. Перевезення, як правило, здійснюються всередині країни та за кордоном. Здійснення на дорогах, у надзвичайних ситуаціях, може завдати шкоди населенню та навколишньому середовищу; тому, з точки зору локалізації радіоактивних компонентів, питання безпеки транспортування, забезпечення належного захисту людей і населення є актуальним. Як окремий процес транспортування матеріалів – це завантаження залізничним, водним або автомобільним транспортом і розвантаження транспортних контейнерів у місці призначення. Багато людей мають сильне упередження проти носіння такого матеріалу. Іноді це спричинено браком інформації або нерозумінням причини та характеру таких відправлень.

Атомна галузь повинна серйозно поставитися до своїх обов'язків у зв'язках з громадськістю та забезпечити правильний баланс між відкритістю транспорту та вимогами фізичної безпеки відповідно до міжнародних угод. Інформація про безпеку ядерних перевезень повинна бути доступною для широкої аудиторії, оскільки тиск громадської думки на транспортні операції може призвести до тяжких наслідків, затримок і, в деяких випадках, скасування. Складні маршрути та нецільове використання дорожчих транспортних засобів збільшують транспортні витрати та знижують ефективність через додаткові витрати. Ставлення суспільства до проблеми залежить не лише від конкретної інформації, а й

від складних переконань і почуттів, тому навіть маючи незаперечні докази, змінити це ставлення важко.

**Мета та задачі. Метою** дослідження є дослідження чи дійсно система відповідає тим критеріям які зазначені в законодавстві та розробити заходи модернізації даної системи фізичного захисту.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні **задачі дослідження**:

- зробити огляд літератури та вивчити вимоги до системи фізичного захисту при перевезеннях ДІВ;
- розробити СФЗ для гіпотетичного перевезення ДІВ;

–виконати оцінку ефективності та вразливості створеної СФЗ конкретного гіпотетичного перевезення ДІВ.

**Матеріал і результати досліджень. Об'єкт дослідження** – захищеність джерел іонізуючого випромінювання першої категорії під час перевезення.

Нині в Україні використовується багато джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) у медичній, науковій та різних галузях промисловості. Використані радіоактивні відходи – це радіоактивні відходи, які переробляються спеціалізованим підприємством Національної компанії «Українське національне об'єднання «Радон» («УкрДО «Радон»)). Нормативні акти дозволяють здійснювати діяльність на території відповідних зон обслуговування. ДМСК здійснює збирання, транспортування та приймання твердих радіоактивних відходів (РАВ), у тому числі РАВ у вигляді відпрацьованих радіоактивних відходів, розміщення РАВ у спеціальних сховищах на промислових майданчиках ДМСК, безпечно зберігання та збереження РАВ має забезпечувати використання використаних РАВ.

Безпека перевезення радіоактивних матеріалів забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів. Основним фактором забезпечення безпеки перевезення радіоактивних матеріалів є використання комплектів транспортної тари, які відповідають нормам ядерної та радіаційної безпеки.

Пакувально-транспортний комплект ПКТІВ-120Н призначений для тимчасового зберігання та транспортування використаних високоактивних джерел іонізуючого випромінювання. Комплект являє собою виріб з підвищеною механічною міцністю, термостійкістю та захисними властивостями, що виключає втрату або витік радіоактивного матеріалу та забезпечує ефективний захист від дії іонізуючого випромінювання.

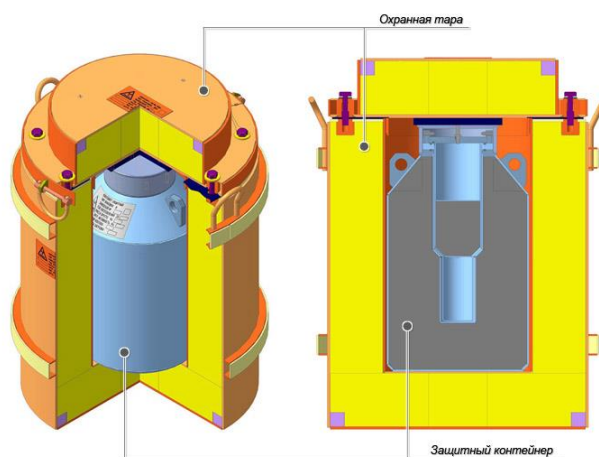


Рисунок 1 – Комплект пакувальний транспортний ПКТІВ-120Н в розрізі

Комплект може бути використаний на підприємствах, де необхідно вилучення з обігу відпрацьовали високоактивні джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) з зазначеними ізотопами і транспортування цих ДІВ до сховища для постійного зберігання.

Комплект зберігає необхідні властивості під впливом наступних кліматичних факторів:

- температура середовища навколо: від 213 до 343 ° K (від -60 до +70 ° C);
- тиск навколишнього середовища до 25 кПа (0,25 кгс /см<sup>2</sup>);
- відносна вологість повітря – 98% при 308 ° K (35 ° C);
- зовнішній гідравлічний тиск 150 кПа (1,5 кгс /см<sup>2</sup>) [1].

– **Модульна мобільна захисна камера.** Мобільна модульна захисна камера – це інтегрований технологічний підхід для безпечного поводження з джерелами іонізуючого випромінювання з високою іонізуючою здатністю. ММЗК дозволяє безпечно витягувати ДІВ з біозахисних блоків і заправляти їх у спеціальні захисні контейнери з максимальною сумарною активністю  $5,2 \cdot 10^{14}$  Бк. Такий перевантаженням досягається компактність розміщення у захисних контейнерах і мала загальна маса ДІВ в захисному контейнері, що дозволяє в подальшому забезпечити безпечно зберігання контейнерів з ДІВ на спеціалізованих сховищах або їх безпечно транспортування в спеціальних транспортних пакувальних комплектах.



Рисунок 2 – Складові елементи захисного контейнера

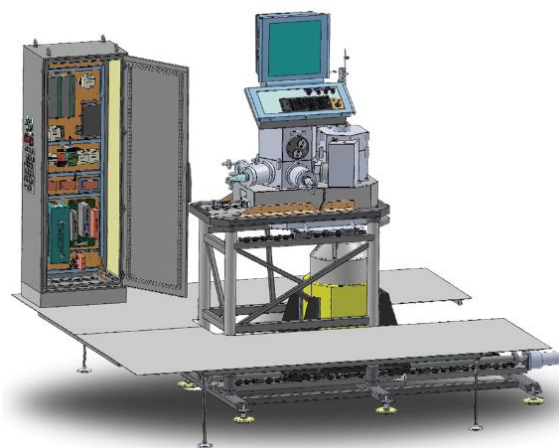


Рисунок 3 – Мобільна модульна захисна камера (Загальний вигляд)

Особливості:

- вилучення ДІВ з блоків здійснюється за допомогою спеціальних маніпуляторів;
- візуалізація процесу виписки та зовнішній огляд видаленого ДІВ здійснюється системою камер високої роздільної здатності (стандартний режим) або ендоскопом, який входить в комплект поставки;
- наявність систем управління процесами, систем захисту та блокування, систем контролю дозування;
- ММЗК являє собою модульну конструкцію, що забезпечує можливість багаторазового монтажу та демонтажу, пакування в спеціальну транспортну тару та транспортування будь-якими видами транспорту;
- ММЗК призначений для захисту персоналу від іонізуючого випромінювання від джерела  $^{137}\text{Cs}$  з активністю до 10 Ки або джерела  $^{60}\text{Co}$  з активністю до 0,037 Ки, розташованого всередині ММЗК, або від захисного контейнера для джерела  $^{137}\text{Cs}$  з щільність 14 000 Ки або джерело  $^{60}\text{Co}$  з максимальною активністю 1,8 Ки;

–до складу ММЗК входить штатний підйомний механізм, що дозволяє з точно встановлювати блок джерела на стіл для розрядки джерела;

–штатний підйомний механізм може бути використаний в процесі зборки / розбирання ММЗК.

**Мобільне приміщення.** Мобільне приміщення (МП) призначено для установки в ньому Мобільної модульної захисної камери (ММЗК) на різних майданчиках ГК “УкрДО” Радон “і виконання в ній операцій з вилучення та підготовки до транспортування високоактивних джерел іонізуючого випромінювання.

Можливості:

- розміщення в ньому ММЗК;
- забезпечити нормальні умови праці з ММЗК;
- транспортування мобільної камери в складі МП;
- підготовка до демонтажу та виведення з експлуатації блок- джерел;
- встановити контейнер захисту (ПКТИВ-120Н) і блок джерела в ММЗК;
- проведення робіт з безпечної розрядки ДІВ [3].

Конструктивно Мобільне приміщення є модулем для установки в ньому ММЗК і додаткового обладнання:

- механізм вантажопідйомний;
- кондиціонування повітря з фільтрами;
- вентиляція;
- система пожежної сигналізації;
- система обігріву модуля;
- система освітлення;
- система підключення і розподілу електроживлення.

Конструкція Мобільного приміщення забезпечує:

- зручність і надійність в експлуатації;
- вологостійкість, стійкість до атмосферних опадів, дезактивуючі та миючі речовин;
- збереження вантажу при транспортуванні, зберіганні і перевантаженні контейнера;
- зручність технічного огляду та виконання ремонту ;
- транспортування автомобілем без спеціального дозволу (завдяки компактным розмірам МП);
- захист від корозії елементів конструкції контейнера, які можуть бути схильних до її впливу [3].



Рисунок 4 – Мобільне приміщення у транспортному положенні

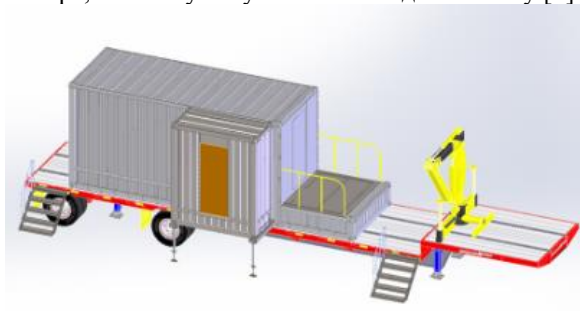


Рисунок 5 – Мобільне приміщення у робочому положенні

### Центр управління перевезеннями радіоактивних матеріалів.

Пропоную створити на території України Центр управління автомобільним транспортом радіоактивних матеріалів (ЦУП РМ). Кінцевим споживачем ЦУП в Республіці Молдова є державна компанія «Українське національне об'єднання «Радон» (ГК «УкрДО «Радон»), у тому числі 6 національних міжрегіональних спеціалізованих зернозбиральних комбайнів (ДМСК), які здійснюють практичну діяльність у транспорті радіоактивних на території України речовин [4].

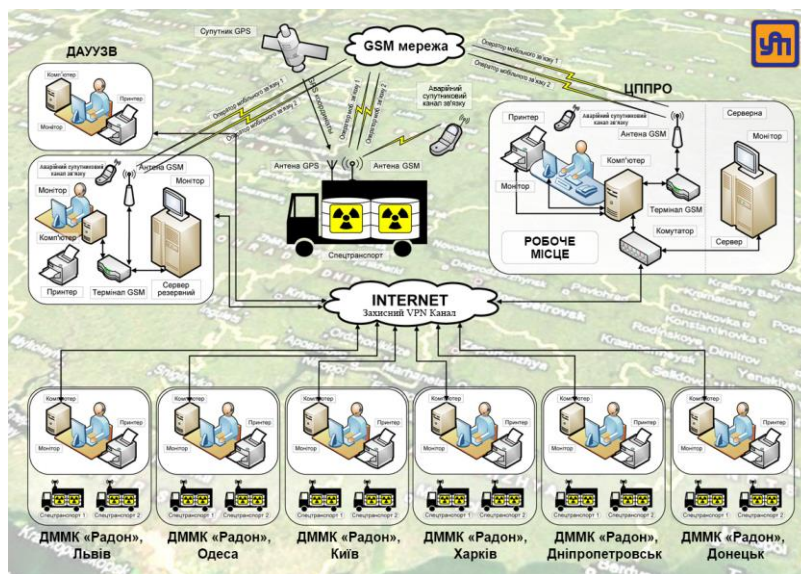


Рисунок 6 – Схема Центру управління перевезеннями радіоактивних матеріалів

Метою створення центру управління автомобільними перевезеннями радіоактивних матеріалів в Україні є створення та підтримання належного рівня безпеки при здійсненні такої практичної діяльності у сфері використання ядерної енергії.

Спецтранспорт складається з:

- «Тривожна» кнопка;
- антена GSM/GPS
- датчик диму;
- блок детектування МЕД;
- блок відкриття контейнера (двері) ;
- блок ідентифікації водія;
- терминал GSM/GPS;
- система контролю втомленості водія;
- HUB Ajax для фіксації руху в контейнері.

–**Система "Menatir"**. Дана система буде використовуватися для спостереження за мобільною камерою та спеціальним транспортом який транспортує ДІВ першої категорії. На відміну від більшості

безпілотників, дрон «Менатир» є повністю автономним, оскільки він може злітати та приземлятися вертикально в заданій точці. Система, яка допоможе отримати точні дані якомога швидше. Наші системи дозволяють знімати фотографії та відео на великих площах майже цілодобово, вдень і вночі. Завдяки точній навігації RTK і камерам високої роздільної здатності дрони мережі можна використовувати для фотозйомки; відеозйомки; тепловізійної зйомки; геодезії; картографування великих територій;



Рисунок 6 – Спецтранспорт

Групу з 6 дронів розміщують на платформі в контейнері, де вони зберігаються та автоматично перезаряджаються. За сигналом про початок польоту літак підняли на платформу, перемістили маніпулятором на злітно-посадкову смугу та злетіли вертикально. Після виконання завдання дрон повертається в контейнер, вертикально паркується на платформі, переміщує руку робота на платформу і опускається в контейнер [5].

Кожен контейнер системи MENATIR може бути оснащений безпілотниками з різними типами модулів корисного навантаження для виконання широкого спектру завдань. У контейнері також може перебувати кілька літальних апаратів, які перевозять один і той же тип вантажного модуля, і вони можуть виконувати завдання одного типу в різних точках одночасно. Кількість і тип модулів корисного навантаження в системі оптимізовано відповідно до потреб замовника. Від отримання завдання до зльоту дрона пройшло 3 хвилини. Через перекриття районів середній час польоту до місця місії становить 10 хвилин.



Рисунок 7 – Загальний вид системи

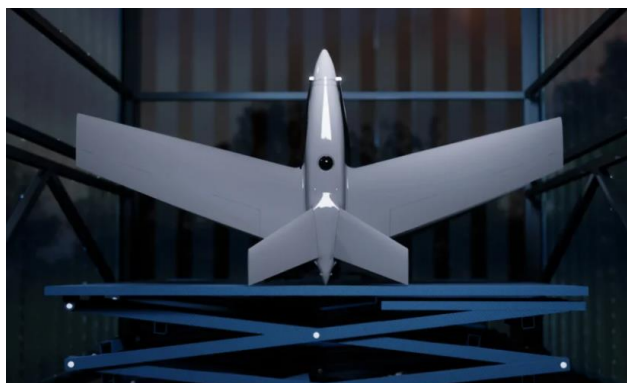


Рисунок 8 – Вид зсередини системи

**Висновки.** Проаналізувавши законодавчу базу України, можна зробити висновок, що існуюча система фізичного захисту (а особливо її комплекс інженерно-технічних засобів), повністю задовольняє усім вимогам до даної системи. Проте система фізичного захисту в тому вигляді, якою вона є сьогодні, не

дозволяє забезпечити протидію та контроль проникнення від зовнішніх та внутрішніх правопорушників. А в реаліях поточної нестабільності у політиці та напруженій фінансовій ситуації в світі, постає великий ризик здійснення злочину правопорушником.

Тому в наступних розділах була проведена розробка консервативної системи фізичного захисту при перевезенні джерела іонізуючого випромінювання першої категорії. Було проаналізовано рекомендації як світові, так і українські, проаналізовано законодавство та створена власна консервативна система з максимальним використанням українських компонентів та систем. Для транспортування був вибраний транспортувальний комплект з додатковим фізичним захистом, щоб зменшити до мінімуму можливість викрадення ДІВ. Була замінена платформа для транспортування ДІВ на українську, щоб унеможливити шпіонаж за переміщенням джерел. Мобільна камера та транспорт для транспортування були додаткові оснащенні системами фізичного захисту українського виробництва, для контролю за персоналом та за обстановкою навколо камери. Для охорони конвою була додана група швидкого реагування.

Вся система розроблялася без економічних аспектів з вимогою забезпечити безпеку гіпотетичного об'єкту.

#### **Список використаної літератури**

1. Комплект пакувальний транспортний ПКТІВ-120Н для тимчасового зберігання та транспортування відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання. URL: <https://uap.kiev.ua/archives/projects/комплект-пакувальний-транспортний>
2. Модульна мобільна камера. URL: <https://uap.kiev.ua/archives/projects/модульна-мобільний-захисна-камера-мм>.
3. <https://menatir.com/uk/networkIAEA-TECDOC-749> : Generic initiating events for PSA for WWER reactors.
4. IAEA RER/9/005 2/93 : Working material – Defining Initiating events for PSA's for WWER reactors.
5. ДНАОП-97. НРБУ-97/Д 2000 (ДНАОП 0.03-3.24-97 (ДГН 6.6.1-6.5.061-98)): Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) / Міністерство охорони здоров'я України, 2000.
6. НП 306.2.141-2008 : Загальні положення безпеки атомних станцій, затверджені наказом Держатомрегулювання від 19.11.2007 №162 (зарєєстровані Мін'юстом 25.01.2008 за №56/14747) / Міністерство юстиції України, 2008.
7. НП 306.1.02/1.034-2000 : Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій / Міністерство юстиції України, 2008.
8. ДНАОП 0.04-1.06-90. (ПБЯ РУ АС-89) ПНАЭГ-1-024-90: Правила ядерної безпеки реакторних установок атомних станцій.
9. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України від 23.05.2017.
10. НПАОП 40.1-1.21-98 : Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів / Міністерство юстиції України, 1998.
11. ДБН В.1.1.7-2002 : Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Держбуд України, Київ, 2003.
12. НАПБ В.01.34-2005/111 : Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України / Державний науково-дослідний проектно-вишукувальний технологічний інститут з перспектив розвитку енергетики «Енергоперспектива», 2005.
13. НАПБ В.01.046-2004/111 : Правила пожежної безпеки при експлуатації атомних станцій / Міністерство юстиції України, 2007.
14. ДСТУ 3675-98 : Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань / Український науково-дослідницький інститут пожежної безпеки МНС України, 1999.
15. ДБН В.2.5-56-2014 : Системи протипожежної безпеки / Міністерство юстиції України, 2014.

**I. Ostapenko**<sup>1</sup>, assistant, ORCID 0000-0003-3980-1609

**D. Leichenko**<sup>1</sup>, master, ORCID 0000-0002-5164-1081

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

#### **SYSTEM OF PHYSICAL PROTECTION DURING TRANSPORTATION OF SOURCES OF IONIZING RADIATION OF THE FIRST CATEGORY**

The discovery of radioactivity by Antoine Henri Becquerel in 1896 was a major achievement. Today, radioactive substances are used in medicine, agriculture, heavy industry, and power generation. But while radioactivity has a wide range of useful applications, this discovery also has a flip side - the misuse of ionizing radiation that can lead to burns, radiation sickness, death, cancer, tumors and genetic mutations. A source of ionizing radiation (IRS) is a physical object containing radioactive material or a technical installation that generates or is capable of generating ionizing radiation under certain conditions. In order to ensure compliance with the permissible limits of radiation exposure of people, the population and the natural environment, as specified in codes, rules and safety standards, there is a national regulatory body. In Ukraine, since 2007, state registration of sources of ionizing radiation has been a part of licensing activities in the field of nuclear energy use. Those radioactive sources that are not or have never been under regulatory control, or are left unattended, lost, misplaced, diverted without proper government authorization, or stolen, are called "abandoned sources." The problem with

"abandoned sources" is their potential danger to public health and the difficulty of detection. As a rule, sources of ionizing radiation are located in metal containers with thick walls, which makes it difficult to identify the presence of a radioactive source inside with the help of appropriate equipment. Furthermore, they are objects of different shapes and sizes, and as such they are often objects of interest to different groups of people with different purposes. Getting an "abandoned source" into the hands of ordinary citizens can have catastrophic consequences. An example of a similar situation is the radioactive contamination of the Brazilian city of Goiânia in 1987. After the theft, the perpetrators dumped radiation therapy equipment components containing the radioactive isotope cesium-137 into the trash. Later, this source was discovered by a local resident, whose actions and careless handling led to the spread of radioactive contamination, as a result of which four people died from radioactive contamination, and the area where this source is located is not suitable for life. the next 300 years.

**Keywords:** *source of ionizing radiation, physical protection system, mobile modular security camera, packaging transport kit.*

#### References

1. Transport packing set PKTIV-120N for temporary storage and transportation of spent sources of ionizing radiation. URL: <https://uap.kiev.ua/archives/projects/komplekt-pakuvalnyi-transportnyi->
2. Modular mobile camera. URL: <https://uap.kiev.ua/archives/projects/modulna-mobilnyi-sakshina-kamera-mm>.
3. <https://menatir.com/uk/networkIAEA-TECDOC-749> : Generic initiating events for PSA for WWER reactors.
4. IAEA RER/9/005 2/93 : Working material – Defining Initiating events for PSA's for WWER reactors.
5. DNAOP-97. NRBU-97/D 2000 (DNAOP 0.03-3.24-97 (DGN 6.6.1-6.5.061-98)): Radiation Safety Standards of Ukraine (NRBU-97) / Ministry of Health of Ukraine, 2000.
6. NP 306.2.141-2008: General regulations for the safety of nuclear power plants, approved by the order of the State Nuclear Regulatory Commission No. 162 dated 19.11.2007 (registered by the Ministry of Justice on 25.01.2008 under No. 56/14747) / Ministry of Justice of Ukraine, 2008.
7. NP 306.1.02/1.034-2000: General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants / Ministry of Justice of Ukraine, 2008.
8. DNAOP 0.04-1.06-90. (PBYA RU AS-89) PNAEG-1-024-90: Rules of nuclear safety of reactor installations of nuclear power plants.
9. On the use of nuclear energy and radiation safety: Law of Ukraine dated May 23, 2017.
10. NPAOP 40.1-1.21-98: Rules for safe operation of consumer electrical installations / Ministry of Justice of Ukraine, 1998.
11. DBN V.1.1.7-2002: Fire protection. Fire safety of construction objects / State Building of Ukraine, Kyiv, 2003.
12. NAPB B.01.34-2005/111: Rules of fire safety in companies, enterprises and organizations of the energy industry of Ukraine / State Scientific Research Design Research Technological Institute for Energy Development Prospects "Energoperspectiva", 2005.
13. NAPB V.01.046-2004/111: Rules of fire safety during operation of nuclear power plants / Ministry of Justice of Ukraine, 2007.
14. DSTU 3675-98: Fire engineering. Fire extinguishers are portable. General technical requirements and test methods / Ukrainian Scientific and Research Institute of Fire Safety of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine, 1999.
15. DBN V.2.5-56-2014: Fire safety systems / Ministry of Justice of Ukraine, 2014.

Надійшла: 18.01.2023

Received: 18.01.2023