

**В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, О. І. Стоянов, Д. В. Федорченко**

*Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна*

## **ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ В ДОСЛІДЖЕННІ РАДІАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ НА ОБ'ЄКТІ «УКРИТТЯ» ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ЇХ**

Розглянуто проблемні питання відповідності перед проектних вимірювань потужності дози до реальних показників при здійсненні проектів на об'єкті «Укриття». Запропоновано комплексно-методичний підхід для підвищення точності досліджень радіаційної обстановки на радіаційно-небезпечних об'єктах із сильною анізотропією гамма-випромінювання.

*Ключові слова:* об'єкт «Укриття», план здійснення заходів, потужність дози, радіаційно-небезпечний об'єкт.

### **Актуальність проблеми**

Фахівці ПБ АЕС НАН України накопичили значний досвід виконання робіт із дослідження радіаційних умов у рамках реалізації проектів Плану здійснення заходів (ПЗЗ).

Аналіз результатів досліджень показав, що величини потужності дози (ПД) у зонах виконання робіт, які були виміряні перед початком діяльності по проектах (передпроектні дослідження), відрізнялись від реальних значень під час виконання робіт. Ця відмінність, як правило, була обумовлена зміною конфігурації масивних конструкцій у зоні виконання робіт та пов'язаною з нею суттєвою анізотропією гамма-випромінювання.

У цілому невідповідність даних із радіаційної обстановки до початку робіт і під час виконання робіт приводила до додаткових дозових навантажень персоналу й інших проектних витрат включно з підвищенням кошторису проекту.

Значно зменшити відмінність показників радіаційної обстановки під час проведення передпроектних досліджень від реальних значень допоможе комплексний підхід вимірювання параметрів радіаційної обстановки (застосування різноманітного радіометричного обладнання, що включає комбінації декількох методик вимірювання, які доповнюють недостатні дані для комплексного аналізу), а також використання просторової моделі розподілу гамма-випромінювання для моделювання радіаційних умов під час виконання робіт. Такий підхід із дослідження радіаційної обстановки раніше не застосовувався.

### **Короткі відомості з досвіду дослідження радіаційної обстановки в об'єкті «Укриття»**

При проектуванні об'єктів, що розташовані в радіаційно-небезпечних умовах із великою анізотропією гамма-випромінювання (до яких належить об'єкт «Укриття»), для вибору оптимальних технічних рішень і заходів із радіаційної безпеки одним з основних та обов'язкових факторів успішного проектування є повнота вихідних даних щодо радіаційних умов у зонах виконання робіт.

Досвід виконання робіт одного з перших проектів «Проект стабілізації опорних вузлів блоків балок Б1 і Б2» [1] у рамках перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему показав, що використання лише картограм радіаційних полів при проектуванні явно недостатньо. З цієї причини на майбутнє було прийняте рішення включати етап передпроектних радіологічних досліджень до складу проектних робіт.

Для вирішення проблеми повноти вихідних даних, які потрібні для проектування, фахівцями ПБ АЕС НАН України для виконання робіт із передпроектних досліджень було запропоновано загальні методичні підходи до вивчення радіаційних умов, а також розроблено конкретні методики та установки.

Так, для визначення просторового розподілу ПД та неоднорідності гамма-поля було розроблено й виготовлено пристрій ПД-1 [2], для моделювання біозахисту в зонах виконання робіт розроблено установку "Екран" [3]. Також для виконання інших радіологічних вимірювань запропоновано використання дозиметра-радіометра МКС-07 «Пошук» із колімованим детектором (для оперативного виявлення локальних джерел гамма-випромінювання) й установи на базі колімованого спектрометра СЕГ-04К (для визначення ефективної енергії гамма-випромінювання).

Такий підхід для проведення радіологічних вимірювань на етапі передпроектних досліджень був узгоджений у регулюючих органах України (Державної інспекції ядерного регулювання і Міністерстві охорони здоров'я).

© В. В. Єгоров, Л. І. Павловський, О. І. Стоянов, Д. В. Федорченко, 2017

На базі такого підходу з вивчення радіаційних умов на етапі передпроектних досліджень були виконані радіологічні вимірювання для таких основних проектів ПЗЗ:  
проект стабілізації будівельних конструкцій об'єкта «Укриття»;  
проект будівництва нового санпропускника СП-1430;  
проект будівництва нової вентиляційної труби (НВТ);  
проект будівництва нового безпечного конфайнмента (НБК);  
проект огорожувального контура НБК.

### **Проблемні питання в частині забезпечення радіаційної безпеки під час реалізацій проектів ПЗЗ**

При розробці проектних рішень щодо забезпечення радіаційної безпеки враховувалося, що процес виконання робіт на об'єкті «Укриття» характеризується суттєвими особливостями:

- високі значення ПД;
- значна кількість джерел іонізуючого випромінювання, що створюють складну конфігурацію радіаційних полів;
- радіонуклідний склад джерел іонізуючого випромінювання, кількісні характеристики якого відрізняються залежно від місць їхньої локалізації;
- умови проведення робіт, що пов'язані з обмеженням можливості з екранування робочих місць.

Однак незважаючи на врахування цих факторів, при виконанні проектних робіт виникали різні події. Під подією розуміються відхилення від проектних рішень, які пов'язані з виявленням додаткових джерел іонізуючого випромінювання, що призводять до додаткових дозових навантажень персоналу та інших проектних витрат включно з підвищенням кошторису проекту.

Так, наприклад, під час реалізації стабілізаційних заходів виникло близько 25 основних подій. У цілому можна вказати три основні чинники, що сприяли виникненню цих подій:

- «простріли» гамма-випромінювання від високоактивних джерел на шляхах доступу й у зонах виконання робіт;
- високоактивні джерела іонізуючого випромінювання, що приховані під завалами;
- об'ємні конструкції, що приховані під завалами, які призвели до збільшення обсягів фізичних робіт і, як наслідок, до додаткового опромінення персоналу.

Для запобігання таким подіям у майбутньому необхідно усунути перераховані фактори на етапі передпроектних досліджень.

### **Проблемні питання, пов'язані з установами арки НБК у проектне положення**

Дослідження, які були виконані фахівцями ІПБ АЕС НАН України до та після встановлення арки НБК у проектне положення [5, 6] у характерних ключових зонах на об'єкті «Укриття», виявили істотні зміни у просторовому розподілі іонізуючого гамма-випромінювання навколо об'єкта «Укриття».

Подальший аналіз результатів досліджень показав, що суттєву роль у формуванні просторового розподілу відіграють два фактори: екранування оболонкою арки розсіяного у шарі повітря випромінювання (ефект «skyshine») та відбиття випромінювання об'єкта «Укриття» від оболонки.

Багаторічні дослідження просторових розподілів гамма-випромінювання в локальній зоні та на покрівлі об'єкта «Укриття» вказують на те, що внесок від розсіяного в повітрі випромінювання є досить значним – до 25 % [2 - 4].

Випромінювання, що відбивається від оболонки арки, збільшує ПД, але внесок від цього ефекту менший, ніж від екранування розсіяного випромінювання, тому на практиці спостерігається зменшення ПД у точках на поверхні об'єкта «Укриття» після встановлення арки [6]. Однак слід врахувати, що завдяки ефективному екрануванню розсіяного в повітрі випромінювання оболонкою арки відбиття від оболонки стає другим за величиною внеском у загальну дозу випромінювання у просторі під аркою (за виключенням внутрішніх помешкань) після випромінювання власне об'єкта «Укриття». Про це свідчать результати моделювання радіаційних властивостей оболонки арки [7]. Згідно з розрахунками м'який спектр розсіяного за рахунок ефекту «skyshine» випромінювання сильно поглинається оболонкою. Крім того, враховуючи те, що цей ефект сильно послаблений за рахунок екранування в 3- 10 разів (залежно від енергії) потоку фотонів назовні НБК, можна стверджувати, що після встановлення арки розсіяне в повітрі випромінювання майже не буде давати внесок у ПД усередині НБК.

За рахунок відбиття випромінювання від оболонки арки може значно збільшитися ПД всередині НБК при проведенні робіт із демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття». Цілком зрозуміло, що елементи легкої покрівлі центрального залу та трубний накат частково екранують потужні джерела у центральному залі й після демонтажу цих елементів можна очікувати помітного зростання потоку гамма-квантів у вертикальному напрямку. До того ж зросте відбиття випромінювання від оболонки арки і, як наслідок, зросте ПД у зонах виконання робіт, які не знаходяться в зоні прямої видимості джерел випромінювання, що існують у центральному залі, наприклад для робіт на майданчику тимчасового зберігання в локальній зоні об'єкта «Укриття». Просторове розподілення відбитого випромінювання є досить складним, оскільки інтенсивність та спектр відбитого випромінювання залежать від кута відбиття. Ця обставина ускладнює організацію захисту персоналу в зонах виконання робіт.

### **Шляхи вирішення проблеми**

#### **Комплексно-методичний підхід при дослідженні радіаційної обстановки**

Для коректного прогнозування радіаційної обстановки при виконанні робіт із демонтажу конструкцій об'єкта «Укриття» необхідно дослідити радіаційні властивості арки та елементів конструкції об'єкта «Укриття», а також просторові та спектральні характеристики іонізуючого випромінювання в місцях проведення робіт, що плануються. За результатами вимірювань можливо побудувати вдосконалену розрахункову модель для оцінки дозових навантажень на персонал при виконанні робіт та визначення необхідних параметрів біологічного захисту.

Проведення таких досліджень є досить складним завданням та потребує застосування нового комплексного підходу. Дослідження радіаційної обстановки, які проводилися на попередніх етапах, здебільшого були спрямовані на визначення розподілу ПД у місцях виконання робіт та просторових розподілів випромінювання для визначення напрямків на джерела випромінювання. Як вказувалося вище, для вирішення завдання прогнозування радіаційної обстановки потрібно також дослідження випромінювання, що відбивається від оболонки арки, а також уточнення характеристик джерел, які дають основний внесок у випромінювання об'єкта «Укриття». Для цього в кожній точці вимірювання пропонується досліджувати повний набір характеристик іонізуючого випромінювання:

- вимірювання значень ПД у заданій ділянці простору (зона проведених робіт);

- вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання з метою виявлення напрямків на основні джерела;

- вимірювання енергетичних характеристик для коректної оцінки дозового навантаження на персонал;

- вимірювання, потрібні для прийняття рішення про ефективність екранування робочих місць;

- визначення енергетичних характеристик виявлених джерел (або напрямків на джерела) з метою прогнозування їхньої активності й розмірів, що приховані під завалами;

- визначення характеристик випромінювання, що відбивається від оболонки арки.

Для збільшення ефективності й точності вимірювання ПД випромінювання, що відбивається аркою, передбачається застосувати детекторні пристрої з коліматорами: дозиметр-радіометр МКС-07 «Пошук» із колімованим детектором, спектрометр СЕГ-04К із коліматором та пристрій «Екран». Використання колімованих детекторних блоків дає змогу значно послабити внесок від прямого випромінювання об'єкта «Укриття». Для більш точного визначення спектральних характеристик відбитого випромінювання доцільним є вимірювання спектра та ПД у взаємно протилежних напрямках за допомогою колімованого спектрометра, що після відповідного нормування дозволить виділити саме спектр випромінювання, що відбивається оболонкою арки. Оскільки спектр та інтенсивність випромінювання, що відбивається, залежить від кута падіння випромінювання на оболонку, то для визначення напрямків на джерела випромінювання доцільно використати багатодетекторний пристрій ШД-1.

#### **Моделювання при прогнозуванні змін радіаційних умов при виконанні робіт із демонтажу нестабільних конструкцій та поводження з паливовмісними матеріалами (ПВМ)**

Проведення вимірювань характеристик іонізуючого випромінювання дозволяє визначити точні дозові навантаження на персонал у місцях проведення робіт. Оскільки при проведенні робіт із демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта «Укриття» радіаційна обстановка буде змінюватися, то відповідні проектні рішення повинні враховувати можливе збільшення дози опромінення при плануванні захисних заходів. Для розрахунку ПД випромінювання при виконанні робіт пропонується застосувати методи математичного моделювання, зокрема метод Монте-Карло. Програмні пакети, що

використовують цей метод (MCNP, GEANT, PENELOPE), дозволяють моделювати транспорт іонізуючого випромінювання крізь елементи конструкцій об'єкта «Укриття» та НБК. При цьому моделюються усі фізичні процеси, характерні для гамма-випромінювання: фотоефект, комптонівське розсіювання та народження пар (при енергіях гамма-квантів вище 1,022 MeV). Математичне моделювання дозволяє розраховувати інтенсивність та спектр гамма-випромінювання в зонах проведення робіт, що дає змогу оптимізувати параметри біологічного захисту та оцінити дозове навантаження на персонал при проведенні робіт.

Для успішного застосування математичного моделювання необхідно виконання двох передумов. По-перше, необхідно створити просторову модель для моделювання транспорту випромінювання, яка описує геометрію задачі й матеріали, з яких складаються джерела випромінювання й елементи конструкції. По-друге, при розрахунках потрібно використовувати максимально точні та верифіковані дані стосовно потужностей та спектрів джерел випромінювання.

Розрахунки характеристик іонізуючого випромінювання методом Монте-Карло для об'єкта «Укриття» мають певні особливості. Елементи конструкції об'єкта «Укриття» та арки НБК мають значні геометричні розміри, а конструкційні матеріали мають досить велику густину – здебільшого це залізобетон та сталь. Довжина вільного пробігу гамма-квантів у таких матеріалах становить декілька сантиметрів (1,75 см для заліза та 5,65 см для бетону при енергії гамма-квантів 662 keV), що означає значне їхнє поглинання в елементах конструкції. Значне послаблення вихідного потоку гамма-квантів значно ускладнює одержання статистично значимих результатів при проведенні розрахунків методом Монте-Карло й потребує значних обчислювальних ресурсів.

Для підвищення ефективності розрахунків за наявності сильного поглинання гамма-квантів можливо використати так званий неаналоговий метод Монте-Карло (nonanalog Monte Carlo). У рамках цього методу в модель вносяться нефізичні ефекти, але таким чином, щоб середні значення обчислюваних величин залишалися незмінними. Для проблем, пов'язаних із моделюванням транспорту випромінювання в умовах об'єкта «Укриття», найбільш доцільним є застосування методу щеплення (splitting). При цьому штучно збільшується кількість гамма-квантів, що моделюються, але відповідно зменшується їхня статистична вага для збереження узгодженості кінцевих результатів.

Слід вказати, що на теперішній час існує певна невизначеність стосовно точного місцезнаходження потужних джерел випромінювання, що ускладнює одержання коректних результатів при прямому моделюванні. Тому при проведенні розрахунків ПД у зонах проведення робіт, що розташовані на зовнішніх поверхнях об'єкта «Укриття», більш прийнятними є розрахунки з використанням еквівалентного поверхневого джерела. При цьому параметри цього джерела повинні визначатися за результатами комплексних експериментальних вимірювань просторових та спектральних характеристик випромінювання об'єкта «Укриття».

Таким чином, можна сформулювати основні завдання, які будуть вирішуватися методами математичного моделювання для прогнозування змін радіаційної обстановки:

розрахунки властивостей оболонки арки, зокрема ефекту альbedo випромінювання від оболонки;

розрахунки потужності еквівалентної дози в місцях проведення робіт з урахуванням відбиття випромінювання від оболонки арки;

розрахунки ПД при демонтажі елементів легкої покрівлі центрального залу та трубного накату;

розрахунки й оптимізація параметрів біологічного захисту персоналу;

розрахунки ПД при вилученні й поводженні з ПВМ.

З огляду на особливості проведення моделювання для практичного проведення розрахунків доцільно використовувати програмні пакети MCNP [9] та GEANT4 [10]. Перший із указаних пакетів містить розв'язні засоби для проведення моделювання транспорту гамма-квантів методом Монте-Карло, зокрема й неаналогового Монте-Карло, а також забезпечує статистичний аналіз отриманих результатів. Це дає змогу контролювати достовірність отриманих результатів. До недоліків пакета можна віднести досить складний процес опису геометрії системи та обмежені засоби її візуалізації.

Пакет GEANT4 являє собою сукупність класів мови програмування C++, призначених для моделювання транспорту елементарних частинок крізь речовину. Відповідно для проведення моделювання потрібно створення програми, яка описує геометрію задачі та відповідні фізичні процеси. Разом з тим модульна структура пакета дозволяє адаптувати його до конкретної задачі. Також серед переваг можна вказати потужні засоби візуалізації геометрії та можливість відстеження траєкторій частинок.

## Висновки

Визначення радіаційних умов під час реалізації проектів вимагає комплексного підходу. Він повинен включати в себе детальні дослідження радіаційної обстановки з вимірюванням спектральних та кутових характеристик іонізуючого випромінювання. Для цього рекомендується використовувати комплексно-методичний підхід при дослідженні радіаційної обстановки (наприклад, використання колімованих детекторів, спектрометра з коліматором, багатодетекторного пристрою ШД-1 тощо). На основі експериментальних досліджень можливо розробити уточнену математичну модель та провести моделювання методом Монте-Карло для розрахунку ПД у місцях проведення робіт та оптимізації біологічного захисту. Усе це в комплексі дасть змогу провести коректне прогнозування радіаційної обстановки як при виконанні робіт із демонтажу конструкцій об'єкта «Укриття», так і в подальшій діяльності при поводженні з ПВМ.

Використання запропонованого комплексного підходу суттєво підвищить радіаційну безпеку під час практичної діяльності, а також дозволить уникнути зайвих витрат у кошторисі проекту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Анализ безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2* / А. М. Алешин, В. Г. Батий, В. Н. Глухенький и др. // Проблемы Чернобиля. – 2000. – Вып. 6. – С. 25 – 35.
2. *Измерение угловых распределений интенсивности гамма-излучения в зонах производства работ по стабилизации объекта "Укрытие"* / А. М. Алешин, В. Г. Батий, В. В. Егоров и др. - Чернобыль, 2002. - 47 с. - (Препр. / МНТЦ "Укрытие" НАН Украины; 02-1).
3. *Измерения надземных полей гамма-излучения. Фаза 2. Отчет по измерениям. План осуществления мероприятий на объекте "Укрытие". Чернобыльская атомная электростанция. – Блок 4. Отчет SIP К 01 21 310 MR2 003 02, 01.07.04. - 211 с.*
4. *Исследование угловых и энергетических характеристик гамма-поля в зоне монтажа Арки НБК* / В. Г. Батий, С. И. Глебкин, В. В. Егоров и др. // Материалы 7 науч.-практ. конф. "Ядерные объекты: надежность и безопасность", Славутич, 20 - 23 сентября 2005 г., Международный Чернобыльский центр. – 2006. CD.
5. *Исследование радиационных условий в основном объеме НБК-ОУ после установки конструкции арки в проектное положение* / В. В. Егоров, Ю. В. Морозов, Л. И. Павловский, А. О. Холодюк // Тез. докл. XV конф. по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям. 21 - 24 марта 2017 г., Харьков, с. 73.
6. *Зміна радіаційних умов на об'єкті «Укриття» після встановлення арочної конструкції у проектне положення* / В. В. Егоров, Ю. В. Морозов, Л. І. Павловський, А. О. Холодюк // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чернобиля. – 2017. – Вып. 28. – С. 75 – 81.
7. *Анализ изменения радиационной обстановки после надвигки арки НБК* / В. Г. Батий, В. М. Рудько, В. Н. Щербин, Д. В. Федорченко // Тез. докл. XV конф. по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям. 21 - 24 марта 2017 г., Харьков, с. 63.
8. *Динамика изменения радиационной обстановки вблизи объекта "Укрытие" после строительства нового конфайнмента* / В. Г. Батий, Н. А. Кочнев, В. А. Кузьменко, В. М. Рудько // Проблемы Чернобиля. – 2001. - Вып. 8. - С. 85 – 87.
9. *Initial MCNP6 release overview* / T. Goorley, M. James, T. Booth et al. // Nucl. Technol. - 2012 – Vol. 180. P. 298–315.
10. *Geant4 – a simulation toolkit* / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako et al. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 2003. Vol. 506. - P. 250–303.

**В. В. Егоров, Л. И. Павловський, А. И. Стоянов, Д. В. Федорченко**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

## **ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ИССЛЕДОВАНИИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВО ВРЕМЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ НА ОБЪЕКТЕ «УКРЫТИЕ» И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Рассмотрены проблемные вопросы соответствия предпроектных измерений мощности дозы и реальных значений при осуществлении проектов на объекте «Укрытие». Предложен комплексно-методический подход для повышения точности исследования радиационной обстановки на радиационно-опасных объектах с сильной анизотропией гамма-излучения.

*Ключевые слова:* объект «Укрытие», план осуществления мероприятий, мощность дозы, радиационно-опасный объект.

**V. V. Yehorov, L. I. Pavlovsky, A. I. Stoyanov, D. V. Fedorchenko**

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plant NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*

**PROBLEMS OF INVESTIGATION OF RADIOLOGICAL CONDITIONS IN THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS ON THE OBJECT "UKRYTTYA" AND THE WAYS OF THEIR SOLUTIONS**

The problems of the correspondence of pre-project measurements of dose rate and real values in the implementation of projects at the object "Ukryttya" are considered. The inadequacy of the dose rate data obtained during the study leads to additional doses of personnel and an increase in the cost of the project. A complex-methodical approach is proposed to improve the accuracy of the investigation of the radiological conditions at radiation-hazardous objects with strong gamma-ray anisotropy. The use of a suite of radiometric equipment and a set of methods for measuring the energy characteristics and intensity of the angular distribution of gamma radiation, as well as the use of a spatial model for modeling the change in radiation conditions during operation, will significantly reduce the difference in radiation conditions. This approach has not been used previously.

*Keywords:* object "Ukryttya", shelter implementation plan, dose rate, radiation-hazardous object.

REFERENCES

1. *Safety analysis of the implementation of the stabilization project for the support beam B1 and B2 / A. M. Alyoshin, V. G. Batiy, V. N. Gluhenskiy et al. // Problemy Chornobylya (Problems of Chornobyl). – 2000. - Iss. 6. – P. 25 – 35. (Rus)*
2. *Measurement of the angular distributions of the intensity of gamma radiation in the work zones on stabilization of the object "Shelter" / A. M. Alyoshin, V. G. Batiy, V. V. Yehorov et al. - Chornobyl, 2002. - 47 p. - (Prep. / National Academy of Sciences of Ukraine. Interdisciplinary Scientific and Technical Centre "Shelter"; 02-1). (Rus)*
3. *Measurements of the above-ground gamma-ray fields. Phase 2. Measurement report. Shelter implementation plan. Chernobyl NPP. – Unit 4. Report SIP K 01 21 310 MR2 003 02, 01.07.04. - 211 p. (Rus)*
4. *Investigation of the angular and energy characteristics of the gamma-field in the installation zone of the Arch NSC / V. G. Batiy, S. I. Glebkin, V. V. Yehorov et al. // Materials of the 7th Scientific and Practical Conference "Nuclear objects: Reliability and Security", Slavutich, 20 - 23 Sept. 2005. International Chernobyl Center, 2006. CD. (Rus)*
5. *Investigation of radiation conditions in the main space of the NSC-OU after installation of the arch structure in the design position / V. V. Yehorov, Yu. V. Morozov, L. I. Pavlovskiy, A. O. Kholodiuk // Abstracts of the XV Conference on High Energy Physics, Nuclear Physics and Accelerators. 21 - 24 March 2017. Kharkov, p. 73. (Rus)*
6. *Change of radiation conditions at the "Ukryttya" object after pitching of arch construction / V. V. Yehorov, Yu. V. Morozov, L. I. Pavlovskiy, A. O. Kholodiuk // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2017. - Iss. 28. – P. 75 – 81. (Ukr)*
7. *Analysis of changes in the radiation situation after the NSC arch slide / V. G. Batiy, V. M. Rudko, V. N. Shcherbin, D. V. Fedorchenko // Abstracts of the XV Conference on High Energy Physics, Nuclear Physics and Accelerators. 21 - 24 march 2017. Kharkov, p. 63. (Rus)*
8. *Dynamics of changes in the radiation situation near the object "Ukryttya" after the construction of a new confinement / V. G. Batiy, N. A. Kochnev, V. A. Kuzmenko, B. M. Rudko // Problems of Chornobyl. – 2001. - Iss. 8. - P. 85 – 87. (Rus)*
9. *Goorley T., James M., Booth T. et al. 2012. Initial MCNP6 release overview. Nucl. Technol. 180, 298–315.*
10. *Agostinelli S., Allison J., Amako K. et al. 2003. Geant4 – a simulation toolkit. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A: Accel. Spectrom. Detect. Assoc. Equip. 506, 250–303.*

Надійшла 12.10.2017  
Received 12.10.2017