

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кочнев Микола Олександрович

УДК 53.082.79

**МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ РОЗПОДІЛІВ ГАММА-
ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ
НАСЛІДКІВ РАДІАЦІЙНОЇ АВАРІЇ
(НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» ЧАЕС)**

01.04.01 - фізика приладів, елементів і систем

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків - 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті фізики високих енергій та ядерної фізики Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Хажмурадов Манап Ахмадович,
Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України,
начальник відділу математичного моделювання ядерно-фізичних процесів ННЦ ХФТІ

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук
Тарасов Володимир Олексійович,
завідувач відділу Інституту сцинтиляційних матеріалів
Національна академія наук України

кандидат фізико-математичних наук, с.н.с.
Кравченко Микола Іванович,
директор Наукового центру електромагнітних
вимірювань Національного наукового центру "Інститут
метрології" Мінекономрозвитку України

Захист відбудеться «_____»_____2015 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.04 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий «__»_____ 2015 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради

О. Г. Пащенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному світі рік від року зростає споживання електроенергії. В Україні до 50% її виробляється на атомних електростанціях. Аварійні ситуації, пов'язані з виробництвом електроенергії на атомних електростанціях, іноді мають катастрофічні наслідки для життя та здоров'я людей. Найбільшу всесвітню відомість здобула аварія на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС (1986 р.). Ліквідація наслідків аварій такого масштабу займає десятки років.

У 1986 році науковими, проектно-конструкторськими, будівельно-монтажними організаціями була проведена величезна робота по локалізації аварійного блоку, результатом якої стало створення об'єкту "Укриття" (ОУ) у рекордно короткі строки. Однак, виграш у часі та вартості будівництва спричинив й ряд істотних труднощів. Це відсутність достатньої інформації про міцність старих конструкцій, на які спиралися нові, необхідність застосовувати дистанційні методи бетонування, неможливість у ряді випадків використовувати зварювання і т.д. Всі труднощі виникали через величезні рівні радіаційних полів поблизу зруйнованого блоку.

Головною особливістю ОУ продовжує залишатися його потенційна небезпека, за оцінками фахівців більша, ніж це допускається нормами і правилами, існуючими для об'єктів, які містять ядерно-небезпечні і радіоактивні матеріали.

У 1998 році був прийнятий план здійснення заходів щодо перетворення ОУ на екологічно безпечну систему - План Здійснення Заходів. У цьому ж році почалися активні роботи з виконання двох невідкладних стабілізаційних заходів реконструкції ОУ: ремонт фундаменту і кріплень вентиляційної труби 3 і 4 блоків ЧАЕС та посилення опор балок Б1 і Б2.

Досвід проведення цих робіт показав всю важливість попередніх вимірювань кутового розподілу гамма-випромінювання для зменшення колективної дози персоналу при проведенні робіт, а також на маршрутах доступу до місць проведення робіт. В Україні була відсутня методика, яка задовольняє вимогам по роботі в польових умовах та важкодоступних місцях. Тому, необхідно було створити пристрій, який мав би наступні характеристики:

- незалежність від зовнішнього електроживлення;
- компактність;
- невелика вага (можливість ручної доставки на місце вимірювань);
- низькі витрати часу на встановлення пристрою в місці вимірювання;
- працездатність в різних погодних умовах;
- широкий динамічний діапазон вимірювань.

Також була потрібна розробка способу проведення вимірювань у складних радіаційних умовах та обробки результатів вимірювань. Вирішення цього завдання і стало основою дисертаційної роботи.

Створений пристрій активно застосовується з 2001 року по теперішній час при підготовчих роботах і передпроектних дослідженнях на ОУ.

Робота є актуальною і в теперішній час у зв'язку з проведенням робіт з будівництва Нового Безпечного Конфайнменту (НБК) над ОУ, розробкою проекту

демонтажу нестабільних конструкцій за допомогою кранів НБК, подальшою діяльністю по вилученню паливовміщуючих матеріалів з ОУ. Пристрій для вимірювання кутових розподілів та розроблений спосіб вимірювання можуть бути використані при обстеженні сховищ радіоактивних відходів на діючих АЕС, спецкомбінатах "Радон", а також в зоні відчуження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрямок досліджень пов'язаний з виконанням фундаментальних науково-дослідних робіт Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України. Наукові результати, на яких базується дисертаційна робота, здобуті при виконанні планових бюджетних програм і замовлень Національного наукового центру «Харківський Фізико-Технічний Інститут» НАН України: X-838 «Розробка методик вимірювання поверхневих бета-забруднень обладнання та конструкцій об'єктів, що знімаються з експлуатації» (№ держ. реєстр. 080999UP0009); III-6-06 «Дослідження фізичних процесів та оптимізація параметрів дослідницьких установок методами математичного моделювання» (№ держ. реєстр. 080906UP0010); III-6-11 «Дослідження фізичних процесів та оптимізація параметрів дослідницьких установок методами математичного моделювання» (№ держ. реєстр. 0111U009294); III-7-11 «Фундаментальні та прикладні дослідження з ядерної фізики для потреб медицини, народного господарства, екології та енергетики» (№ держ. реєстр. 0111U009298); 4.16-2012 «Аналіз безвідмовності та довговічності детекторів нейтронного потоку АЕС» (№ держ. реєстр. 0110U004282).

У зазначених роботах здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка методу одночасного дозиметричного вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в повному тілесному куті 4π для підвищення безпеки при ліквідації наслідків радіаційної аварії.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- Обґрунтування вибору форми корпусу пристрою, кількості детекторів та їх розміщення.
- Створення математичної моделі та перевірка адекватності фізичній реалізації пристрою.
- Створення програм відтворення вихідного кутового розподілу гамма-випромінювання.
- Створення методів розрахунку біологічного захисту персоналу на основі даних по кутовим розподілам гамма-випромінювання.
- Створення програм і методів візуалізації та проектування відтвореного кутового розподілу на навколишні об'єкти.
- Розробка методів орієнтування, позиціонування і прив'язки пристрою в просторі.

Об'єкт дослідження. Дозиметрія, прилади та техніка експерименту для задач ідентифікації джерел іонізуючого випромінювання та розрахунку радіаційного захисту від них.

Предмет дослідження. Метод вимірювання кутових розподілів гамма-полів у складних радіаційних умовах, зокрема при ліквідації наслідків радіаційних аварій і

при поводженні з відпрацьованим ядерним паливом та високоактивними відходами.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувалися методи радіаційної фізики. Проведення комп'ютерних розрахунків для розв'язання рівнянь і математичних співвідношень проводилося з використанням математичного апарату диференціального й інтегрального числення і числового моделювання. Для розрахунків кутових розподілів інтенсивностей гамма-полів використовувався метод суперпозиції. Розрахунок проходження випромінювання крізь речовину базується на випробуваних числових методах та методі Монте-Карло.

Наукова новизна одержаних результатів. При виконанні дисертаційної роботи *вперше* отримані наступні результати:

- Вперше запропоновано і реалізовано компактний автономний багатодетекторний пристрій для задач ідентифікації джерел іонізуючого гамма-випромінювання та вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання у складних радіаційних умовах післяаварійних об'єктів.
- Вперше розроблено спосіб одночасного автономного вимірювання кутових розподілів доз гамма-випромінювання в повному тілесному куті 4π з використанням багатодетекторного пристрою.
- Вперше розроблено метод розрахунку просторового розподілу гамма-випромінювання за результатами вимірювання багатодетекторним пристроєм. На основі цього методу створено комплекс програм для обробки та візуалізації результатів вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання.
- Вперше розроблено метод розрахунку біологічного захисту на основі даних з кутових розподілів гамма-випромінювання;

Отримані наукові результати мають всебічне обґрунтування. Результати числового моделювання мають експериментальне підтвердження, а деякі концепції автора роботи втілені в експериментальні зразки приладів.

Практичне значення одержаних результатів.

Виготовлено компактний автономний багатодетекторний пристрій для задач ідентифікації джерел іонізуючого гамма-випромінювання та вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання у складних радіаційних умовах післяаварійних об'єктів.

Проведені вимірювання кутових розподілів з використанням компактного автономного багатодетекторного пристрою в польових умовах (всередині, на покрівлях ОУ та поблизу нього).

Проведено розрахунок радіаційного захисту персоналу на основі отриманих експериментальних даних.

Метод вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в складних радіаційних умовах післяаварійних об'єктів успішно використовується з 2001 року і по теперішній час на ОУ, м. Чорнобиль.

Отримані результати вимірювань дозволили уточнити характеристики радіаційних полів та розташування джерел випромінювання, в тому числі локальних. Аналіз даних, отриманих за допомогою розробленого пристрою, дозволив значно зменшити колективну дозу персоналу при проведенні робіт та суттєво підвищити рівень радіаційної безпеки.

Пристрій для вимірювання кутових розподілів та спосіб вимірювання можуть бути використані при обстеженні сховищ радіоактивних відходів на діючих АЕС, спецкомбінатах "Радон", а також в зоні відчуження.

Результати дисертації впроваджено в Інституті проблем безпеки АЕС НАН України в вигляді пристрою для вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання та програм для відновлення та візуалізації просторового розподілу гамма-випромінювання.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертації, винесеної на захист, отримані автором самостійно. В наукових роботах, що опубліковані в співавторстві, здобувачеві належать:

1. у статті [1] здобувач здійснював моделювання варіантів біологічного захисту від гамма-випромінювання на місці проведення робіт, розрахунки сумарних дозових навантажень при створенні біозахисту та розробку оптимального варіанту біологічного захисту, показав необхідність вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в повному тілесному куті 4π та приймав участь у написанні статті;

2. у статті [2,27] здобувач здійснював аналіз радіаційної ситуації в зонах виконання робіт, проводив аналіз варіантів біологічного захисту місць проведення робіт та маршрутів доступу та приймав участь у написанні статті;

3. у роботах [3,14] здобувач здійснював моделювання конструкції пристрою для вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання. Проведене математичне моделювання дозволило визначити оптимальну форму та розміри детекторного блоку пристрою, кількість й розташування колімаційних поглиблень по поверхні корпусу. Калібрувальні вимірювання, проведені за участю здобувача, дозволили уточнити коефіцієнти ослаблення випромінювання в корпусі пристрою. Також здобувач приймав участь у написанні робіт;

4. у роботах [4,16] здобувач розробив метод розрахунку ефективності застосування біозахисту з використанням даних з кутових розподілів гамма-випромінювання та приймав участь у написанні робіт;

5. у статті [5] здобувач створив математичну модель пристрою КД-1, здійснив перевірку впливу відстані від джерела іонізуючого випромінювання до пристрою КД-1 на коректність вимірів та приймав участь у написанні статті;

6. у статті [6] здобувач виконав розрахунки функції відгуку багатодетекторної установки для вимірювання кутового розподілу гамма-випромінювання та приймав участь у написанні статті;

7. у роботах [7,13,15,18] здобувач розробив і виготовив модель багатодетекторної установки на основі CdZnTe детекторів, провів тестові вимірювання, здійснював дослідження чутливості моделі установки КД-3 до змінного та постійного електричного і магнітного полів і до температури в метрологічній лабораторії Інституту проблем безпеки (ІПБ) АЕС, та приймав участь у написанні статті;

8. у роботах [8,21] здобувач розробив і виготовив систему дистанційного управління і передачі даних при вимірюваннях у складних радіаційних умовах та приймав участь у написанні статті;

9. у роботах [9,26] здобувач розробив і виготовив модель для перевірки

можливості застосування комерційних PIN діодів для детектування гамма-випромінювання в багатодетекторній установці та приймав участь у написанні статті;

10. у роботах [10,11] здобувач запропонував ідею та загальний спосіб реалізації установки для вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання;

11. у статті [12] здобувач здійснював математичне моделювання процесу вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання та приймав участь у написанні статті;

12. у статті [17] здобувач приймав участь в розробці технічних вимог до обладнання, електронних схем управління, реєстрації, передачі та обробки даних при роботах в радіаційно-небезпечних умовах та приймав участь у написанні статті;

13. у роботах [19,20] здобувач здійснював розробку та виготовлення компактного спектрометричного тракту для багатодетекторної установки та приймав участь у написанні робіт;

14. у роботах [22-24] здобувач розробив систему орієнтації в просторі, прив'язки на місцевості та візуалізації при вимірюваннях кутових і енергетичних розподілів гамма-полів та приймав участь у написанні робіт;

15. у статті [25] здобувач здійснював аналіз невирішених проблем вивчення кутових розподілів гамма-випромінювання в польових умовах та приймав участь у написанні статті.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися і отримали позитивну оцінку на міжнародних конференціях: на IV та VII Міжнародних науково-практичних конференціях Об'єкта "Укриття" Чорнобильської АЕС, 2001 та 2005 р., Славутич, Україна [12, 15]; на III – X, XII конференціях з фізики високих енергій, ядерної фізики та прискорювачів, 2005 – 2012, 2014 Харків, Україна [13, 16, 17, 19-27]; на American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, 2005, Denver, USA [14]; на Waste Management Symposium Global Accomplishments in Environmental and Radioactive Waste Management: Education and Opportunity for the Next Generation of Waste Management Professionals, 2007, Tucson, USA [18].

Публікації. Основні результати, що складають зміст дисертації, опубліковано у 27 наукових працях. У тому числі у 9 статтях у фахових наукових журналах [1-9], з яких 3 статті у спеціалізованих фахових наукових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз [6-8], у 2 авторських свідоцтвах на винахід [10, 11], у 16 публікаціях у матеріалах і тезах доповідей на наукових конференціях [12-27]. Публікації [1-11] задовольняють вимогам Департаменту атестації кадрів МОН України до публікацій, на яких ґрунтується дисертація.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок і включає 141 сторінку основного тексту, 72 рисунка, 6 таблиць і 19 сторінок додатків. 9 рисунків і 1 таблиця займають окремі сторінки. Список використаних джерел містить 67 найменування на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **Вступі** обґрунтовано актуальність вибраної теми, показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами ННЦ ХФТІ НАН України, сформульовані мета та задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про можливі практичні впровадження результатів роботи, публікації та особистий внесок автора в опубліковані у співавторстві роботи.

У **першому розділі «Методи вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання»** наведені результати інформаційно-патентного пошуку з проблеми визначення розташування основних джерел випромінювання, вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання та вирішення інших завдань у складних радіаційних умовах.

Предметом пошуку були: пристрої, засоби для вимірювання гамма-випромінювання та визначення місцезнаходження радіоактивного гамма-джерела, пристрої для вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. Основні класифікаційні індекси пошуку G01T1, область досліджень 250/374,376,378,336.1. Пошук проводився по базам Європейського патентного відомства і в патентних відомствах країн: Україна, Росія (СРСР), США, Франція та ін. Були проаналізовані: способи реєстрації, обробки і передачі даних для визначення просторового положення джерел гамма-випромінювання, їх енергетичних характеристик.

Наведено огляд існуючих методів вимірювання кутових розподілів: ручні, скануючі, одночасне вимірювання (куб та інші). Показано, що на даний час не існує методу, який дозволяє проводити кутові вимірювання розподілу гамма-випромінювання в складних радіаційних умовах післяаварійних об'єктів.

Показано, що існує потреба в розробці нових установок та методик для визначення розташування основних джерел випромінювання та вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання.

У **другому розділі «Метод і пристрій вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання за допомогою багатодетекторних пристроїв»** розглянуті питання, пов'язані з розробкою та створенням пристрою.

Описано метод вимірювання кутових розподілів, що полягає в одночасному вимірюванні потужностей експозиційних або накопичених доз (в залежності від обраного типу детекторів) гамма-випромінювання певною кількістю детекторів, кожен з яких знаходиться у конусній вибірці-коліматорі.

З метою спрощення математичних розрахунків розташування коліматорів має бути максимально симетричним, що призводить до сферичної форми корпусу установки і рівномірного розподілу коліматорів по поверхні кулі (рис. 1).

Проведене математичне моделювання дозволило розробити оптимальну форму детекторного блоку пристрою, кількість і розташування по поверхні корпусу колімаційних поглиблень. На кожен з детекторів впливають випромінювання з усіх напрямків, але тільки від джерел, що знаходяться в полі зору коліматора - без ослаблення. Спеціальна програма обробляє отримані дані і видає картограму кутового розподілу гамма-випромінювання в місці вимірювання.

Для варіантів розташування детекторів у вершинах ікосаедра (12 детекторів), додекаедра (20 детекторів) і усіченого ікосаедра (32 детектора) проведено розрахунки по обчисленню залежності оптимальної глибини вибірки від маси корпусу.

Для визначення оптимальної конфігурації корпусу пристрою було розроблено комплекс програм з розрахунку геометричних параметрів корпусу. На рис. 2 показано результат розрахунку залежності товщини захисту від радіуса кулі і глибини розташування детектора. Проведені розрахунки показали, що при обмеженні маси корпусу пристрою величиною в 15 кг, оптимальна конфігурація відповідає параметрам:

- Розташування детекторів в вершинах усіченого ікосаедра (32 детектора);
- Радіус корпусу 70 мм;
- Глибина розташування детекторів 33 мм;
- Кут колімаційного поглиблення 45° .

При таких параметрах товщина захисту від фонового випромінювання становить 22 мм.

Проведене порівняння експериментальної і розрахункової залежності коефіцієнта проходження випромінювання для різних детекторів показало адекватність математичної та фізичної моделі.

За розрахованими при математичному моделюванні параметрами (радіус кулі корпусу, глибина, кут, розташування і кількість конічних коліматорів для детекторів) був виготовлений корпус пристрою, названого КД-1 ("Куля дозиметрична - 1").

Пристрій КД-1 призначено для визначення напрямку на один або кілька інтенсивних джерел гамма-випромінювання з кутовою роздільною здатністю (для джерел з приблизно однаковою інтенсивністю) близько 15° .

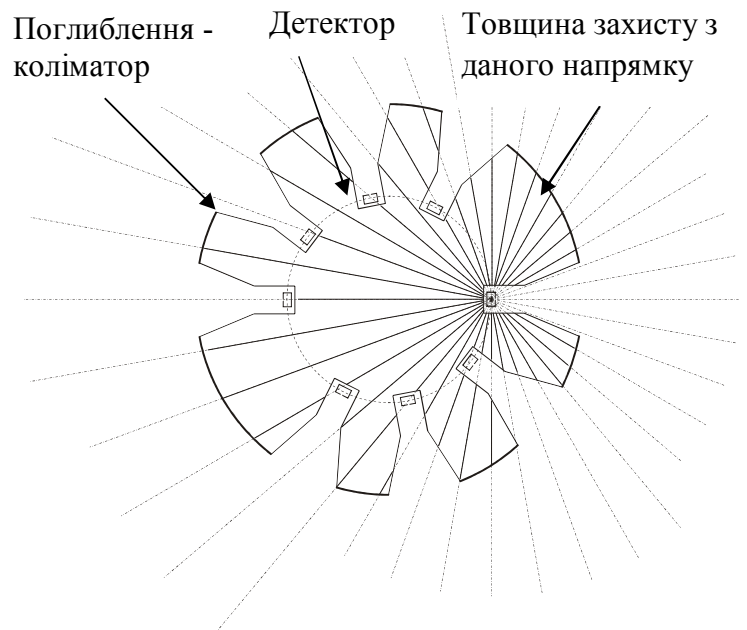


Рис. 1. Переріз корпусу пристрою

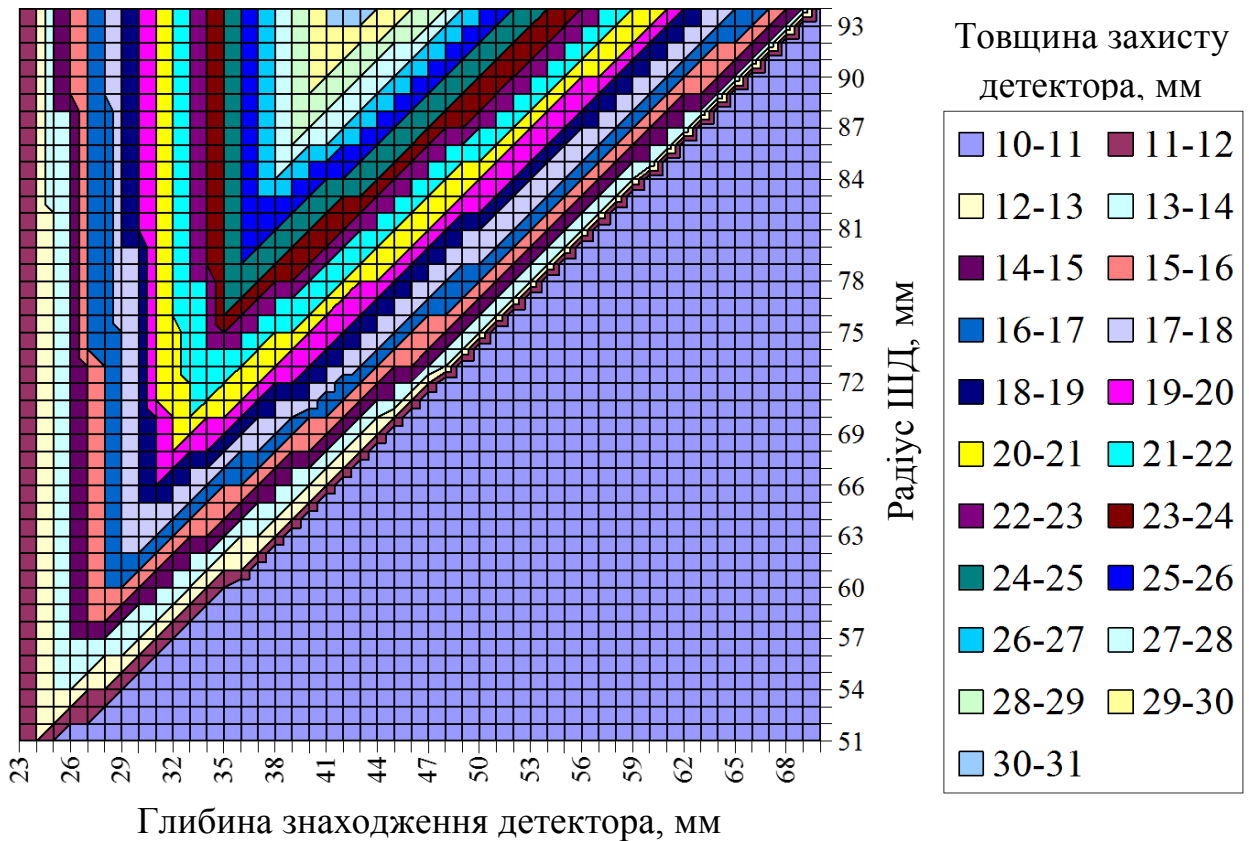


Рис. 2. Залежність товщини захисту детектора від радіуса ШД і глибини знаходження детектора для усіченого ікосаедра (32 детектора)

Пристрій КД-1 є багатодетекторним пристроєм. Він виконаний у вигляді свинцевого кулястого корпусу з 32 поглибленнями-коліматорами, які рівномірно розташовано по його поверхні. У вершинах конусів поглиблень-коліматорів знаходяться циліндричні заглиблення, в які встановлюються капсули з детекторами випромінювання. На рис. 3 показано фотографію корпусу пристрою КД-1 в процесі виготовлення.

У пристрої КД-1 використані термолюмінесцентні детектори ТЛД 500К.

На рис. 4 показаний комплект пристрою КД-1.

У точці проведення вимірювання, КД-1 може розміщуватися різними способами:

- встановлюватися на підставку;
- підвішуватися до штатива;
- встановлюватися на штатив;
- встановлюватися безпосередньо в транспортному контейнері;
- опускати в отвір за допомогою тросів-розтяжок.

З метою уточнення коефіцієнтів ослаблення випромінювання в матеріалі



Рис. 3. Корпус пристрою ШД-1 в процесі виготовлення

корпусу пристрою КД-1, було проведено ряд тестових опромінь на установці ІНТЕР в інституті проблем безпеки АЕС НАН України.

Для калібрування була розроблена програма тестових опромінь, в якій накопичувалися дані для побудови картини опромінення як одним, так і декількома джерелами. Також моделювалося опромінення пристрою КД-1 джерелами різної інтенсивності з різних напрямків. Проведений цикл тестових вимірювань дозволив уточнити коефіцієнти ослаблення випромінювання в матеріалі корпусу КД-1 і переконатися в практичній ефективності розрахованого і виготовленого пристрою КД-1.

Був розроблений метод відновлення вихідного кутового розподілу гамма-випромінювання з матриці виміряних величин, який ґрунтується на методі невід'ємних найменших квадратів.

В основі методу лежить система рівнянь, яка визначає потужність експозиційної дози (ПЕД) в кожному з детекторів

$$H_i^{\text{det}} = \sum_{k=1}^{32} A_{ik} \cdot H_k, \quad (1)$$

де H_i^{det} – ПЕД, що реєструється детектором i ;

A_{ik} - матриця коефіцієнтів послаблення гама-випромінювання, обумовлена проходженням випромінювання крізь корпус КД-1;

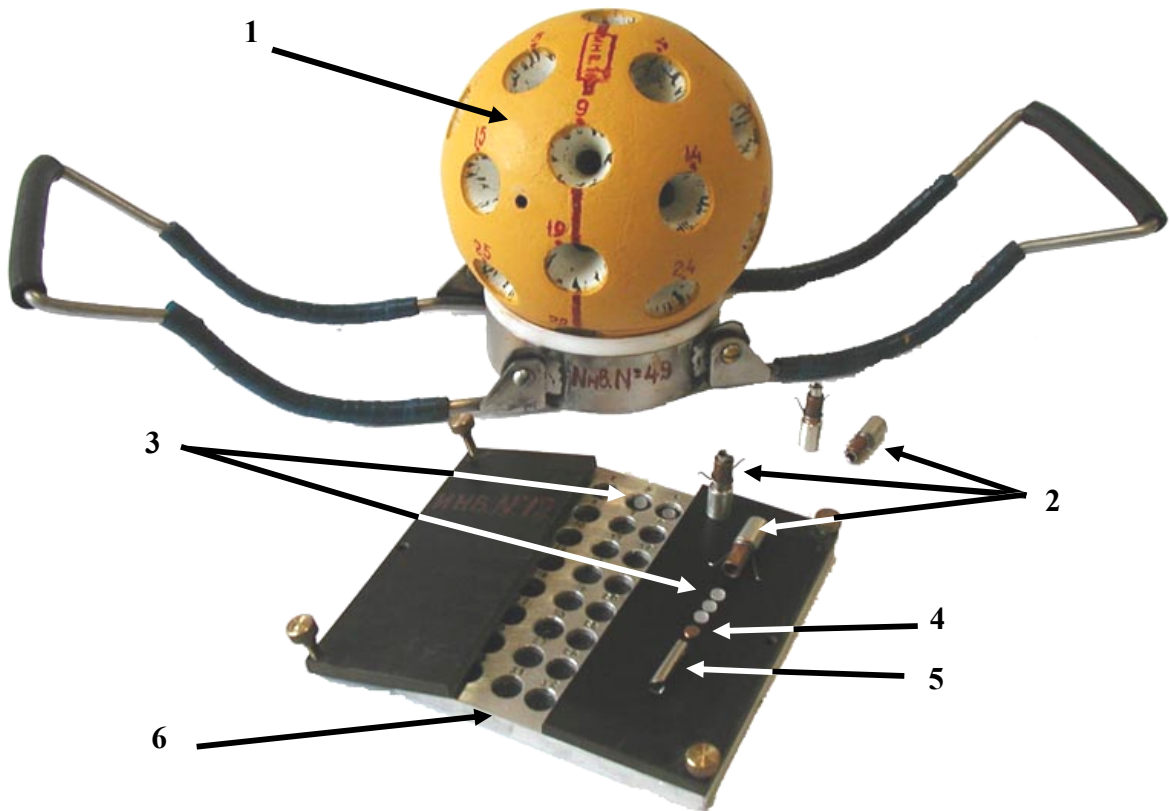


Рис.4. Пристрій Шар детектуючий 1

1 - свинцевий корпус з поглибленнями – коліматорами; 2 - капсули з детекторами; 3 - термолюмінесцентні детектори; 4 - мідні фільтри; 5 - фіксатори; 6 - пенал для транспортування детекторів

H_k – вихідна величина ПЕД.

Розв'язок системи (1) завжди існує, оскільки детермінант матриці A_{ik} не дорівнює нулю і система (1) добре визначена. Але в реальних умовах за рахунок наявності похибок вимірювання пряме розв'язання системи (1) шляхом знаходження зворотної матриці A_{ik}^{-1} може призводити до від'ємних значень ПЕД. Тому для визначення ПЕД доцільно використовувати метод не від'ємних найменших квадратів (Non Negative Least Squares – NNLS). Цей метод формулюється наступним чином.

Нехай задано матрицю $A \in R^{m \times n}$ та вектор вимірюваних параметрів $H^{\text{det}} \in R^n$. Потрібно знайти не від'ємний вектор $H \in R^n$ який мінімізує функціонал

$$f(H) = \frac{1}{2} \|AH - H^{\text{det}}\|^2$$

$$\min_H f(H) = \frac{1}{2} \|AH - H^{\text{det}}\|^2, H \geq 0 \quad (2)$$

Метод NNLS відноситься до класу методів з активною границею та є скінченим, тобто розв'язок можна одержати за скінчену кількість ітерацій.

Для інтерпретації результатів були розроблені програми візуалізації та відображення результатів вимірювання. На рис. 5 показаний приклад відображення результатів вимірювання кутового розподілу потужності експозиційної дози (ПЕД) на покрівлі ОУ.

У 2008 році в рамках виконання передпроектних досліджень проводилася серія вимірювань з прив'язкою даних кутових вимірів, отриманих за допомогою пристрою КД-1, до тривимірних моделей ОУ. Робота виконувалася з метою уточнення розташування основних джерел випромінювання, що впливають на

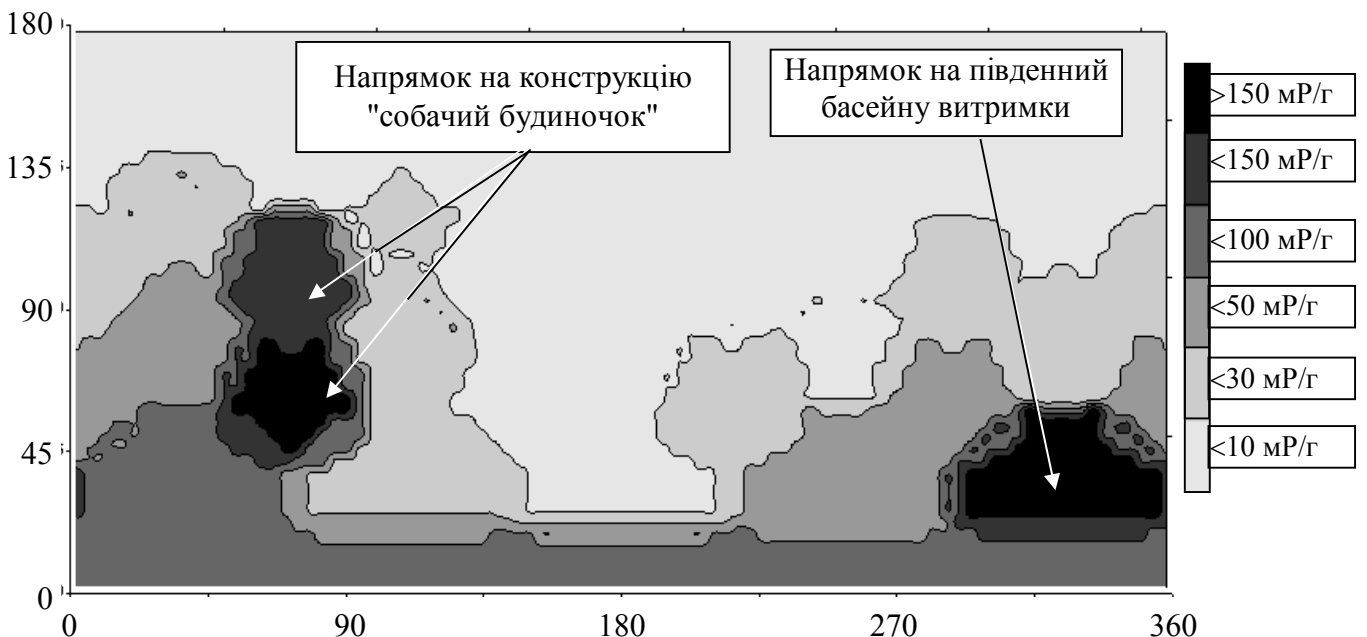


Рис. 5. Кутовий розподіл ПЕД в південно-східному куті легкої покрівлі об'єкту "Укриття". Перший вимір установкою ШД-1.

радіаційну обстановку в місцях проведення робіт в локальній зоні. Напрямок на основні зони, що випромінюють, відображений в прив'язці до реальних умов, наведено на рис. 6.

Наукові результати **другого розділу** опубліковано в роботах [1, 3, 5, 6, 10-12, 14].

У **третьому розділі «Практичне використання методу вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання на об'єкті «Укриття»** описується застосування методу вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в польових умовах і наведені деякі результати, отримані з його допомогою.

Установка КД-1 активно використовується з 2001 року по теперішній час на ОУ при передпроектних дослідженнях щодо стабілізації та плануванні робіт з монтажу НБК. Проведено сотні вимірювань в локальній зоні, на покрівлях і всередині ОУ, в стаціонарному положенні і при підвісці на гаку крана. Отримані дані дозволили:

- виявити і ізолювати локальні джерела, розташовані поблизу маршрутів доступу і місць, виробництва робіт, тим самим поліпшивши радіаційну обстановку в даних місцях;
- виробити рекомендації до плану проведення робіт з урахуванням кутових розподілів інтенсивності гамма випромінювання на місці робіт;
- здійснити обґрунтовану кількісну оптимізацію протирадіаційних заходів, що дозволило оптимізувати дозовитрати при проведенні робіт.

Проведені вимірювання в умовах ОУ показали високу ефективність використання багатодетекторних пристроїв типу КД. Проведення вимірювань кутових розподілів цими пристроями в сильних і середніх гамма-полях, наприклад, на покрівлі ОУ (рис. 7), дозволило, завдяки відсутності персоналу при опроміненні пристрою, знизити дозовитрати без зниження якості одержуваних даних. Відсутність необхідності в зовнішньому енергопостачанні і невеликі розмір і вага дозволили проводити вимірювання у внутрішніх приміщеннях, а також у важкодоступних місцях.

При проведенні передпроектних досліджень по стабілізації ОУ за допомогою установки КД-1 з детекторами ТЛД-500К встановлено, що вона дозволяє вимірювати не тільки відносні кутові розподіли ПЕД, а й абсолютні значення дози від випромінювання в певному тілесному куті. Це підтверджено тим, що практично у всіх випадках інтегрування кутового розподілу дає значення дози, яке з точністю

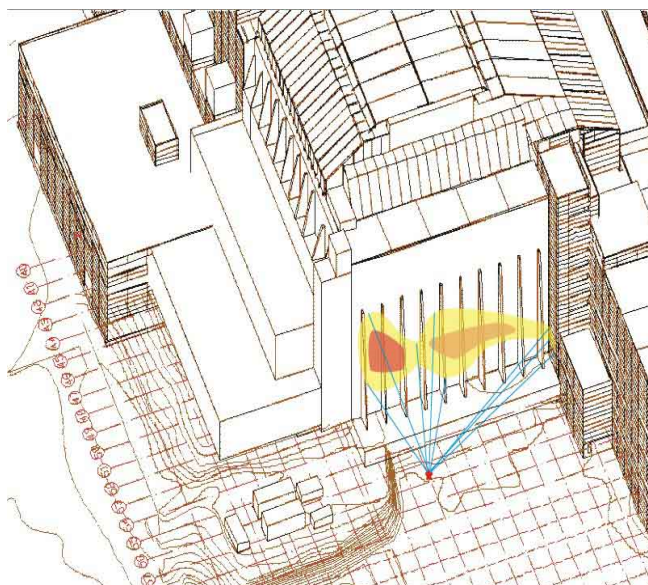


Рис.6. Напрямки на основні джерела випромінювання, що створюють ПЕД в локальній зоні в точці вимірювання.

20-30% збігається з даними по інтегральним значенням експозиційної дози, яка вимірюється за допомогою стандартних переносних дозиметрів.

Наукові результати **третього розділу** опубліковано в роботах [2, 4, 16, 27].

У **четвертому розділі «Перспективи розвитку методу вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання»** описані

можливі шляхи розвитку даного методу вимірювання кутового розподілу гамма-випромінювання.

Зокрема, можливе застосування установки з іншими типами детекторів. У 2004 році, враховуючи досвід експлуатації КД-1, було вироблено технічні пропозиції по вдосконаленню методу, що дозволяють поліпшити експлуатаційні якості пристрою КД-1, а саме:

- спрощення підготовки пристрою до вимірів;
- спрощення процесу передачі даних для подальшої обробки;
- можливість програмного керування процесом вимірювання;
- дистанційне керування процесом вимірювання;
- можливість відстежувати динаміку зміни кутового розподілу ПЕД;
- зменшення часу опромінення (при застосуванні більш чутливих детекторів).

Внаслідок того, що детекторний блок пристрою КД-1 досить добре оптимізований за різними параметрами (коефіцієнт ослаблення випромінювання, кутова роздільна здатність, маса, розташування детекторів), в якості корпусу експериментального зразку був застосований її кулястий корпус, а змінився лише тип детекторів.

Експериментальний пристрій КД-3 було створено на основі корпусу КД-1 та п'яти CdZnTe-детекторів. Розмір кристала детектора був обраний 6×6×3 мм, при цьому капсула з детектором розмістилася в отворі корпусу пристрою КД-1.

Для перевірки працездатності методу в різних умовах були розроблені електронні схеми, програми для мікроконтролерів і програми для інтерпретації даних.

На рис. 8 наведена фотографія експериментального зразка пристрою КД-3.

В сертифікованій вимірювальній лабораторії ІНТЕР ІПБ АЕС було проведено тестові вимірювання чутливості до постійного і змінного магнітних полів, електричного поля, температури. В усіх проведених вимірах порушення працездатності та зміни характеристик пристрою не сталося.

Проведені дослідження підтвердили перспективність використання пристрою

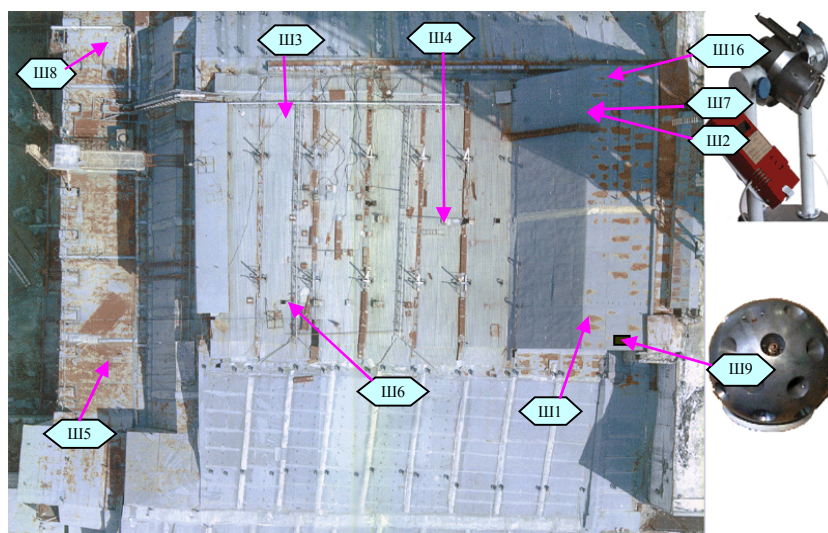


Рис.7. Точки вимірювання кутових розподілів на покрівлі ОУ



Рис.8. Експериментальний стенд для проведення вимірювань за допомогою КД-3.

КД-3 на основі CdZnTe-детекторів для вирішення широкого кола завдань, пов'язаних з вимірюванням радіаційної обстановки в найскладніших умовах, пошуку джерел гамма- випромінювання, контролю за їх переміщенням (наприклад, в установках поводження з радіоактивними відходами) та ін.

Необхідно відзначити, що за оцінками чутливість CdZnTe-детекторів приблизно на 3 порядки вища, ніж чутливість ТЛД-500К. Тому установка може бути використана в автоматизованих вимірювальних системах не тільки на ОУ, але й на діючих ядерно-радіаційних об'єктах.

З багаторічного досвіду використання пристрою КД-1 для вимірювання кутового розподілу гамма-випромінювання стало зрозуміло, що значна частина часу, що витрачається при обслуговуванні пристрою в місцях проведення вимірювань, пов'язана з прив'язкою пристрою до координат на місцевості, встановленням рівня горизонту і напрямку по сторонах світу, або іншим орієнтирам, що необхідно для подальшої прив'язки результатів вимірювання до реальних об'єктів. Для підвищення ефективності використання пристрою, точності й надійності одержуваних результатів вимірювань і зменшення дозовитрат при проведенні вимірювань виникла необхідність створення супутніх способів кутової і координатної прив'язки на місцевості. Була проведена робота з розробки єдиної універсальної системи управління процесом проведення вимірювань в складних радіаційних умовах, що складається з модулів дистанційного керування та передачі даних, прив'язки на місцевості, орієнтування в просторі та відеоспостереження. Така

система може мати різну модульну структуру залежно від поставленого завдання, крім того, модулі можна застосовувати з різними пристроями, в різних типах досліджень, на різних радіаційно- небезпечних об'єктах.

Наукові результати **четвертого розділу** опубліковано в роботах [7-9, 13, 15, 17-26].

У додатку А наведено властивості детекторів ТЛД-500К.

У додатку Б наведено картограми кутових розподілів, зняті в зонах виконання робіт з будівництва НБК та аналіз отриманих даних.

У додатку В наведено документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі методами математичного та фізичного моделювання розв'язано важливе наукове завдання - проблема одночасного дозиметричного вимірювання кутових характеристик гамма-випромінювання в польових умовах. Це дозволило розробити оригінальний метод розрахунку захисту від іонізуючого випромінювання при наявності великої кількості джерел та вирішити важливу задачу підвищення рівня радіаційної безпеки при проведенні робіт в складних радіаційних і технологічних умовах післяаварійних об'єктів.

Узагальнення результатів, отриманих при вирішенні завдань спрямованих на досягнення мети, дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. Вперше запропоновано метод вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в тілесному куті 4π компактним автономним багатодетекторним пристроєм, що дозволяє вирішити проблему ідентифікації джерел іонізуючого гамма-випромінювання в складних радіаційних і технологічних умовах післяаварійних об'єктів з мінімальним опроміненням персоналу.

2. Вперше запропоновано новий метод підвищення радіаційної безпеки проведення робіт в радіаційно-небезпечних умовах за наявності великої кількості джерел іонізуючого випромінювання шляхом вимірювання та використання кутових розподілів потужності доз гамма- випромінювання в місцях проведення робіт. Для його реалізації розроблено оригінальний метод розрахунку захисту від іонізуючого випромінювання в умовах післяаварійних об'єктів, коли дані про розташування та кількість джерел випромінювання відсутні або їх недостатньо. Він полягає в математичному моделюванні конфігурації та товщини біологічного захисту з використанням даних по кутовим розподілам потужності дози гамма-випромінювання.

3. Набув подальший розвиток метод розрахунку та комплексного математичного моделювання процесів взаємодії гамма-випромінювання з багатодетекторними пристроями. Проведене математичне моделювання дозволило розробити оптимальну форму детекторного блоку пристрою, кількість і розташування по поверхні корпусу колімаційних поглиблень. Отримано залежність оптимального кута отвору колімаційних поглиблень для покриття повного тілесного кута 4π з мінімальним перекриттям від їх кількості та розташування. Отримано взаємозв'язок маси кулястого корпусу, його розмірів, глибини розташування

детекторів в колімаційних отворах і мінімальної товщини екранування детекторів від фонового випромінювання. З міркувань обмеження ваги в 15 кг (для можливості перенесення та встановлення пристрою вручну) отримані наступні оптимальні параметри: радіус кулястого детекторного блоку – 70 мм, глибина розташування детекторів – 33 мм, розташування колімаційних отворів з кутом отвору 45° у вершинах вписаного усіченого ікосаедра, мінімальна товщина екранування – 22 мм.

4. Вперше розроблено математичну і фізичну моделі компактного пристрою для проведення вимірювань кутових розподілів гамма-випромінюванні в польових умовах. З метою перевірки адекватності математичної моделі і фізичної реалізації проведено цикл тестових опромінь виготовленого пристрою в Інституті ядерних досліджень, м. Київ, з використанням джерела Cs137 з активністю 75 Кі. Результати опромінь показали задовільну відповідність експериментальних функцій відгуку детекторів до результатів математичного моделювання. Проведені при математичному моделюванні розрахунки функцій відгуку дозволили виробити рекомендації з оптимального використання пристрою КД-1 («Куля дозиметрична») при вимірюваннях в польових умовах.

5. Розроблено та виготовлено компактний автономний багатодетекторний прилад КД-1 для задач ідентифікації джерел іонізуючого гамма-випромінювання та вимірювання кутових розподілів доз гамма-випромінювання у складних радіаційних умовах післяаварійних об'єктів. На основі аналізу різних типів детекторів запропоновано використати у цьому пристрої поширені малогабаритні тканееквівалентні термолюмінесцентні детектори типу ТЛД-500К.

6. Вперше розроблено метод розрахунку та комплексного математичного моделювання просторового розподілу гамма-випромінювання за результатами вимірювання багатодетекторним пристроєм КД-1. На основі цього методу створено комплекс програм для обробки та візуалізації результатів вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання. Це дозволило вирішити проблему ідентифікації джерел іонізуючого гамма-випромінювання в польових умовах при наявності великої кількості точкових джерел та/або наявності просторово розподілених джерел.

7. Вперше проведені вимірювання кутових розподілів потужності дози гамма-випромінювання з використанням компактного автономного багатодетекторного пристрою КД-1 в польових умовах (всередині, на покрівлях ОУ та поблизу нього). Отримані результати вимірювань дозволили уточнити характеристики радіаційних полів і розташування джерел випромінювання, в тому числі локальних. Розрахунок радіаційного захисту на основі результатів вимірювань дозволив розробити та виготовити ефективний біозахист, що суттєво знизив дози персоналу, задіяного в роботах. Крім того, дані з кутових розподілів були використані для підвищення точності розрахунку дози та розробки рекомендацій з її зниження за рахунок орієнтації працівника відносно напрямку на основні джерела гамма-випромінювання. Застосування розробленого багатодетекторного пристрою дозволило також значно скоротити дози персоналу, що проводив вимірювання.

8. Набув подальший розвиток аналіз можливості застосування компактних детекторів з електронним способом зняття інформації. Проведено математичне

моделювання для CdZnTe детекторів і PIN-фотодіодів. Розроблено схемотехнічні рішення для можливості встановлення даних детекторів в корпус пристрою. Розроблено та виготовлено фізичну модель такого приладу (КД-3). Проведено лабораторні дослідження чутливості пристрою до змін температури, електричного та магнітного полів. Показано, що застосування даних детекторів можливе в складних польових умовах і дозволяє додати до функціональних можливостей пристрою режими відстеження в реальному часі та/або періодичного за часом запису радіаційної обстановки. Підтверджено перспективність подальшого розвитку запропонованого способу вимірювання кутових розподілів потужностей доз гамма-випромінювання з використанням інших типів детекторів. Показано, що для багатьох типів детекторів можна використовувати той самий детекторний блок, що й в КД-1. Це дозволить спростити впровадження нових моделей багатодетекторної установки та верифікувати результати вимірювань.

9. Запропонований метод вимірювання кутових розподілів потужності доз та використання результатів для розрахунку радіаційного захисту і підвищення рівня радіаційної безпеки доцільно розвивати в подальшому і використовувати як на ОУ, зокрема, в процесі планування подальшого вилучення паливовміщуючих матеріалів, так і при обстеженні сховищ радіоактивних відходів на діючих АЕС, спецкомбінатах "Радон" і в зоні відчуження, пошуку загублених джерел іонізуючого випромінювання, протидії радіаційному тероризму, тощо.

Створені метод та пристрої для вимірювання кутових розподілів та спосіб вимірювання можуть бути використані на післяаварійних об'єктах ядерної енергетики, при обстеженні сховищ радіоактивних відходів на діючих АЕС, спецкомбінатах "Радон", а також в зоні відчуження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Оптимизация разовой дозы и толщины биозащиты при проведении работ на объекте "Укрытие" / В. Г. Батий, В. В. Деренговский, **Н. А. Кочнев**, В. А. Кузьменко, Л. И. Павловский, В. М. Рудько, А. А. Сизов, А. И. Стоянов // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. збірник. – 2000. - № 6. - С. 44-53.
2. Анализ радиационной безопасности при проведении стабилизационных мероприятий на объекте "Укрытие" / А. М. Алешин, В. Г. Батий, В. В. Деренговский, В. В. Егоров, **Н. А. Кочнев**, В. А. Кузьменко, Л. И. Павловский, Ю. И. Рубежанский, В. М. Рудько, А. А. Сизов, А. И. Стоянов // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. збірник. – 2001. - № 7. - С. 65-71.
3. Методика оценки угловых распределений мощности дозы гамма-излучения в зонах производства работ на объекте "Укрытие" / В. Г. Батий, В. В. Егоров, **Н. А. Кочнев**, В. А. Кузьменко, Ю. И. Рубежанский, В. М. Рудько, А. А. Сизов, В. Н. Щербин // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. збірник. – 2002. - № 9. - С. 47-52.
4. Оптимизация биозащиты с использованием экспериментальных данных об угловых распределениях интенсивности гамма-излучения / В. Г. Батий, В. В. Егоров, Ю. А. Закревский, **Н. А. Кочнев**, В. А. Кузьменко, Л. И. Павловский, В. М. Рудько, В. Н. Щербин // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. збірник. – 2002. - № 9. - С. 53-55.

5. Математическое моделирование процесса измерения угловых распределений гамма-излучения / В. Г. Батий, В. В. Егоров, В. А. Кузьменко, **Н. А. Кочнев**, И. М. Прохорец, С. И. Прохорец, М. А. Хажмуратов // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. збірник. – 2004. - № 15. - С. 55-61.
6. Computation of response function of multi-detector device for gamma radiation angular distribution measuring / V. G. Batiy, **N. A. Kochnev**, V. A. Kuzmenko, I. M. Prokhorets, S. I. Prokhorets, M. A. Khazhmuradov, V. V. Yegorov // Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear physics investigations (44). – 2004 - № 5. - p. 78-81.
7. Experimental model of multidetector device based on CdZnTe detectors / V. G. Batiy, A. N. Nenakhov, A. A. Pravdiviy, **N. A. Kochnev**, V. V. Selukova, M. A. Khazhmuradov, // Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear physics investigations (45). – 2005 - № 6. - p. 66-69.
8. Remote control and data transmission system for measurements in sever radiation environment / V. G. Batiy, **N. A. Kochnev**, V. V. Selyukova, D. V. Fedorchenko, M. A. Khazhmuradov, // Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear physics investigations (55). – 2011 - № 3. - p. 96-98.
9. Khazhmuradov M.A. PIN Photodiodes For Gamma Radiation Measurements. / M. A. Khazhmuradov, **N. A. Kochnev**, D. V. Fedorchenko // Radioelectronics & informatics. – 2012 - № 4. – p. 74 – 77.
10. Спосіб вимірювання Кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання захищений патентом МПК 7 G01T 1 / 28. Патент на Винахід № 51989 від 15.07.2004 р., Бюлетень "Промислова власність", № 7, 15.07.04.
11. Пристрій для вимірювання Кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання захищено патентом МПК 7 G01T 1 / 28. Патент на Винахід № 51987 від 15.07.2004 р., Бюлетень "Промислова власність", № 7, 15.07.04.
12. Математическое моделирование в задачах по ликвидации последствий Чернобыльской аварии / В. Г. Батий, **Н. А. Кочнев**, В. А. Кузьменко, В. М. Рудько // Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції Об'єкта "Укриття" Чернобыльської АЕС. – Славутич. - листопад 2001. – ч.1. - С.59.
13. Экспериментальный образец многодетекторной установки на основе CdZnTe-детекторов / В. Г. Батий, А. Н. Ненахов, А. А. Правдивый, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, М. А. Хажмуратов // Тезисы докладов III конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (28 февраля - 4 марта 2005). - Харьков. - НИЦ ХФТИ. – 2005. - С.57.
14. A Device for Search of Gamma-Radiation Intensive Sources at the Radiation Accident Conditions / V. Batiy, A. Klyuchnykov, **N. Kochnev**, V. Rud'ko, V. Shcherbin, V. Yegorov, E. Schmieman // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7-11, 2005, p. 228- 232.
15. Модернизация многодетекторного устройства для измерения угловых распределений гамма- излучения / В. Г. Батий, А. Н. Ненахов, А. А. Правдивый,

- В. М. Рудько, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова // Тезисы докладов 7 научно-практической конференции "Ядерные объекты: надежность и безопасность", Славутич, 20-23 сентября 2005, С. 86-87.
16. Батий В.Г. Методика оптимизации биозащиты от гамма-облучения / В. Г. Батий, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова // Тезисы докладов IV конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (27 февраля - 3 марта 2006). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2006. - С.54.
17. Методика оптимизации исследований угловых и энергетических распределений гамма-излучения / В. Г. Батий, В. В. Егоров, В. М. Рудько, А. А. Правдивый, **Н. А. Кочнев**, И. М. Прохорец, Э. Шмиман // Тезисы докладов V конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (26 февраля - 2 марта 2007). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2007. - С.65-66.
18. A Practical Method for Measuring Angular Distribution of Radiation from Multiple Gamma Sources / V. Batiy, O. Pravdivyj, O. Stoyanov, **N. Kochnev**, V. Selukova, E. Schmieman // 2007 Waste Management Symposium Global Accomplishments in Environmental and Radioactive Waste Management: Education and Opportunity for the Next Generation of Waste Management Professionals, CD, 2007, #7160. Режим доступа:
<http://www.wmsym.org/archives/2007/pdfs/7160.pdf>
19. Компактный спектрометрический тракт для многодетекторной установки / В. Г. Батий, **Н. А. Кочнев**, И. М. Прохорец, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов VI конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (25 февраля - 29 февраля 2008). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2008. - С.76-77.
20. Установка для исследования угловых и энергетических характеристик гамма-полей в полевых условиях / В. Г. Батий, И. М. Копанец, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов VII конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (23 - 27 февраля 2009). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2009. - С.64-65.
21. Разработка системы дистанционного управления и передачи данных для проведения измерений в сложных радиационных условиях / В. Г. Батий, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов VIII конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (22 - 26 февраля 2010). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2010. - С.75-76.
22. Система ориентации в пространстве при измерениях угловых и энергетических распределений гамма-полей. / В. Г. Батий, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов IX конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (21 - 25 февраля 2011). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2011. - С.61-62.
23. Методика привязки на местности при проведении радиоэкологических исследований. / В. Г. Батий, Ю. А. Кафтанатина, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов IX конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (21 - 25 февраля 2011). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2011. - С.62.
24. Система визуализации при полевых исследованиях характеристик гамма-полей. /

- В. Г. Батий, И. М. Копанец, **Н. А. Кочнев**, В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов IX конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (21 - 25 февраля 2011). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2011. - С.62.
25. Аналіз невирішених проблем вивчення кутових розподілів гамма-випромінювання в польових умовах. / В. Г. Батій, І. М. Копанець, **М. О. Кочнев**, С. І. Прохорець, Є. В. Рудичев, В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов X конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (27 февраля – 2 марта 2012). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2012. – С.58.
26. **Кочнев Н. А.** Применение инфракрасных PIN-фотодиодов в качестве детекторов гамма-излучения. / **Н. А. Кочнев**, Д. В. Федорченко, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов XI конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (11-15 марта 2013).). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2012. – С.68-69.
27. Измерение угловых распределений гамма-излучения в зонах строительства ограждающего контура НБК с помощью установки ШД-1. / В.Г. Батий, В.В. Егоров, **Н.А. Кочнев**, М. А. Хажмурадов // Тезисы докладов XII конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (17 – 21 марта 2014). - Харьков. - ННЦ ХФТИ. – 2014. – С.65.

АНОТАЦІЯ

Кочнев М.О. Метод вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання для підвищення безпеки при ліквідації наслідків радіаційної аварії (на прикладі об'єкта «Укриття» ЧАЕС). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико -математичних наук за спеціальністю 01.04.01 - фізика приладів, елементів і систем. - Національний науковий центр «Харківський фізико -технічний інститут», Харків, 2015.

Дисертація присвячена розробці і використанню пристрою з вимірювання гамма-випромінювання в повному тілесному куті 4π у складних радіаційних умовах і забезпечення радіаційної безпеки при проведенні робіт у радіаційно-небезпечних місцях. Розроблено метод вимірювання кутових розподілів гамма-полів у повному тілесному куті 4π у складних радіаційних умовах, що не мав на той момент аналогів у світі, і отримано патент на спосіб. Розроблено та виготовлено багатодетекторний пристрій для вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в польових умовах і отримано патент на пристрій. Розроблено комплекс програм для обробки та візуалізації результатів вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання в повному тілесному куті. Проведено вимірювання кутових розподілів в польових умовах (в об'єкті "Укриття" та поблизу нього). Проведена оптимізація біозахисту в зонах виконання робіт у складних радіаційних умовах. Застосування пристрою дозволило значно скоротити колективну дозу персоналу, який проводить вимірювання.

Ключові слова: гамма-випромінювання, радіаційна безпека, потужність дози, кутовий розподіл, біологічний захист, математичне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Кочнев Н.А. Метод измерения угловых распределений гамма-излучения для повышения безопасности при ликвидации последствий радиационной аварии (на примере объекта «Укрытие» ЧАЭС). - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - физика приборов, элементов и систем. - Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, 2015.

Диссертация посвящена изучению методами математического и физического моделирования угловых и пространственных распределений гамма-излучения в сложных радиационных и технологических условиях послеаварийных объектов.

Для реализации принципа оптимизации рисков радиационного облучения необходима детальная информация о характеристиках источников излучения, на основании которых возможно определить характер и меру воздействия радиационных полей на биологические объекты. Возможности аналитических методов расчета характеристик излучения в условиях послеаварийных объектов ограничены в связи с недостатком информации о расположении, активности и составе излучающих источников, а также сложностью конфигурации экранирующих и переизлучающих объектов. Экспериментальные исследования, проводимые существующими методиками, требуют продолжительного времени, материального и финансового обеспечения и, что более важно, значительных дозозатрат на их проведение.

В диссертационной работе методами математического и физического моделирования решена проблема одновременного автономного измерения угловых характеристик гамма-излучения. Это позволило решить важную научную задачу измерения углового распределения гамма-излучения в полном телесном угле 4π в сложных радиационных и технологических условиях послеаварийных объектов с минимальным облучением персонала.

Показано, что наиболее важными для обоснованной разработки и оптимизации мероприятий противорадиационной защиты являются данные о угловом распределении гамма-излучения в местах проведения работ. В условиях послеаварийных объектов данные о расположении и количестве источников излучения отсутствуют или их недостаточно, что не позволяет количественно рассчитать угловое распределение излучения аналитическими методами. Показано, что существующие методы измерения угловых распределений не позволяют решить эту задачу без значительных дозовых нагрузок на персонал. Предложен способ измерения угловых распределений гамма-излучения в телесном угле 4π компактным автономным многодетекторным устройством, позволяющим решить проблему измерения угловых распределений гамма-излучения в сложных радиационных и технологических условиях послеаварийных объектов с минимальным облучением персонала.

Проведенное математическое моделирование позволило разработать оптимальную форму корпуса устройства, количество и расположение по поверхности корпуса отверстий-коллиматоров. Для возможности переноса и

установки устройства вручную было принято ограничить корпус массой 15 кг. При этом получены следующие оптимальные параметры: радиус корпуса – 70 мм, глубина расположения детекторов - 33 мм, минимальная толщина экранирование - 22 мм, 32 коллимационных отверстия с раствором 45° расположены в вершинах вписанного усеченного икосаэдра.

По рассчитанным оптимальным параметрам изготовлено многодетекторное устройство для измерения угловых распределений гамма-излучения в полевых условиях и получен патент на устройство. Для проверки адекватности математической модели и физической реализации проведен цикл тестовых облучений изготовленного устройства в Институте ядерных исследований, г. Киев, на источнике Cs137 активностью 75 Ки. Результаты облучений показали хорошее соответствие с рассчитанной при математическом моделировании матрицей коэффициентов ослабления излучения в корпусе устройства.

Разработан программный комплекс для восстановления исходного углового распределения гамма-излучения, визуализации и интерпретации полученных результатов измерений.

Многочисленные измерения в зонах проведения работ на ОУ позволили оптимизировать дозозатраты персонала при проведении работ в сложных радиационных условиях. Применение устройства позволило значительно сократить дозовые нагрузки на персонал, проводящий измерения.

Проведен анализ возможности применения компактных детекторов с электронным способом снятия информации. Проведено математическое моделирование для CdZnTe детекторов и PIN-фотодиодов. Разработаны схемотехнические решения для возможности установки данных детекторов в корпус устройства. Проведены тестовые облучения и показано, что применение данных детекторов позволяет добавить к функциям устройства режимы отслеживания в реальном масштабе времени и / или периодической по времени записи радиационной обстановки.

Ключевые слова: гамма-излучение, радиационная безопасность, мощность дозы, угловое распределение, биологическая защита, математическое моделирование.

ABSTRACT

Kochnev N.A. The method of measuring the angular distributions of gamma radiation to improve security in the aftermath of a radiological emergency (for example, the object "Shelter" CNPP) - Manuscript.

Thesis for a degree of Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) in specialty 01.04.01 - physics of devices, components and systems. - National Scientific Center "Kharkiv Institute of Physics & Technology", Kharkiv, 2015.

The thesis is devoted to the study of angular and spatial distributions of gamma-radiation in harsh radiation environment and radiation safety at work in radiation-hazardous locations. A method of measuring angular distributions of gamma fields in spatial angle 4π under difficult radiation conditions is developed. It had no analogue in the world. A patent for method was obtained. Multidetector device for measuring angular

distributions of gamma radiation in the field was developed and manufactured. A patent for device was obtained. A set of programs for results processing and visualization was developed. Angular distributions were measured in field (in the "Shelter" and near it). An optimization of shielding in in harsh radiation environment was performed. Using of the device significantly reduced radiation doses to personnel carrying out the measurements.

Key words: gamma-rays, radiation safety, dose rate, angular distribution, biological defense, mathematical modeling.