

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**

**СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**На правах рукопису**

**ХАЙКОВ ВАДИМ ЛЕОНІДОВИЧ**

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ  
ВИСОКОТОЧНИХ РАДІАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ У  
ШИРОКОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ**

**05. 26. 04 - технічні засоби охорони навколишнього  
середовища**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук**

**СЕВАСТОПОЛЬ**

**1997**



00752401 (J)

Робота виконана у Севастопольському державному технічному університеті.

Науковий керівник: Доктор технічних наук, професор  
Сапожников Микола Євгенович.

Офіційні опоненти:  
1. Доктор технічних наук, професор  
Бржезінський Владіслав Адамович  
2. Кандидат технічних наук, доцент  
Чмовж Вадим Васильович

Провідна організація: Севастопольський інститут ядерної  
енергії і промисловості (СІЯЕіП)

Захист дисертації відбудеться “ 12 ” червня 1997 р. в аудиторії N  
316 в 14 годин на засіданні Спеціалізованої Ради Д 11. 03. 04 в  
Севастопольському Державному Технічному університеті за адресою :  
335053, м. Севастополь, вул. Гоголя 14, Севастопольський ДТУ.

З матеріалами дисертаційної роботи можна ознайомитися в бібліотеці  
університету.

Відклик у 2-х примірниках, засвідчених гербовою печаткою, направляти  
за адресою Вченої Ради.

Автореферат розісланий “ 08 ” травня 1997 р.

Учений Секретар Спеціалізованої Ради, кандидат технічних наук, доцент

“ 08 ” травня 1997 р.

/ Гутник С. А./

## Актуальність теми.

Гама-випромінювання є одним з основних радіаційних чинників, що визначає міру небезпеки несприятливих змін в стані здоров'я не тільки персоналу атомної енергетичної станції (АЕС), але і певного контингенту населення, оскільки в процесі ядерно-енергетичного циклу не виключена можливість надходження деякої кількості радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Тільки суворо технологічна дисципліна, паралельне проведення заходів ядерної, радіаційної, загальної безпеки на АЕС і радіоекологічного моніторингу природних об'єктів, в сукупності з забезпеченням ретельного контролю за умовами праці, зменшує міру впливу іонізуючого випромінювання на людину. Тому разом з удосконаленням технологічного процесу найважливішим завданням є удосконалення апаратури і засобів контролю рівнів радіації, підвищення точності і вірогідності показаників технічних засобів радіаційного контролю.

Специфікою вимірювання зовнішнього гама-випромінювання є істотна енергетична залежність чутливості (ЕЗЧ) приладів, яку називали раніше чутливістю по діапазону енергій або "ходом з жорсткістю". Якщо основна погрішність приладів, що визначається для "взірцевої" енергії, складає величину близько 20% при довірчій імовірності 0.95, то додаткова погрішність за рахунок ЕЗЧ, для певних умов, обмежується величиною 200%. Якщо ж ті, хто розробляє прилади, не можуть вкластися в обумовлені погрішності, то вони знаходять вихід в обмеженні енергетичного діапазону гама-випромінювання, який вимірюється величинами 100 -200 кеВ знизу і 3 МеВ зверху. Саме цей діапазон ( 60 кеВ - 3 МеВ ) закладений в основу існуючої державної перевірної схеми. Проте на АЕС, при працюючій ядерній енергетичній установці, суттєвий внесок в опромінювання персоналу дає "жорстке" гама-випромінювання з енергією 6-8 МеВ, а в разі аварійного

викиду радіоактивності - "м'яке" випромінювання від 20 кеВ. Таким чином, прилади, атестовані в одному енергетичному діапазоні, фактично використовуються на АЕС в більш широких діапазонах без їх додаткової метрологічної експертизи. Це призводить до помилок визначення граничного часу роботи в умовах впливу складних гамма-спектрів широкого діапазону енергій, розкиду результатів при порівнянні показань різноманітних типів приладів інколи навіть в декілька разів, помилкам при виробництві градуїрувальних та перевірних операцій.

Узагальнений аналіз технічних і метрологічних характеристик сучасних приладів показав, що монопольне положення проєктувальників і виробників, призвели до екстенсивного поширення парку приладів для виміру гама-випромінювання, що при використанні різноманітних типів детекторів і схемотехнічних рішень характеризується великим розкидом нормованих метрологічних параметрів, а по енергетичному діапазону вимірювання не охоплює дійсного спектру випромінювання АЕС. Промисловість випускала і продовжує випускати апаратуру з вищеназваними недоліками. Тому актуальність удосконалення існуючої і створення нової апаратури радіаційного контролю для високоточного автоматичного аналізу на основі впровадження засобів обчислювальної техніки не викликає сумнівів. Проте в період економічного спаду напрямки пошуку найбільш раціональних рішень завдання, що розглядалися вище, дозволять компенсувати хиби прецизійних засобів вимірювання, особливо пріоритетних. З цього виходить закономірність необхідності проведення спеціального теоретичного і експериментального дослідження можливості удосконалення методів і засобів підвищення точності апаратури радіаційного контролю на основі використання більш досконалої математичної моделі обліку ВЗЧ без корінної зміни існуючої елементної бази і принципів побудови засобів вимірювання.

Завдання, яке вирішується в цій роботі, актуальне ще і тому, що точність визначення експозиційної дози і потужності експозиційної дози при контролі радіаційної безпеки не визначені в законодавчому порядку. Загальні технічні вимоги до апаратури радіаційного контролю при значному посиленні вимог до безпеки АЕС і захисту оточуючого середовища є незадовільними, бо більше відбивають технічні можливості існуючих засобів, не враховуючи потреб користувача вимірювань, що складаються з різноманітних підходів до оцінки допустимої точності при нормальній роботі АЕС і аваріях різноманітної міри тяжкості, тобто при гострому променевому ураженні і хронічному опромінюванні малими дозами.

### Мета і завдання праці.

Метою цієї роботи є опрацювання методики і технічних засобів високоточних вимірювань гама-випромінювання в енергетичному діапазоні 20 кеВ - 8 МеВ. У відповідності з поставленою метою основними завданнями і напрямками досліджень, які з них витікають, є:

- проведення аналізу характеристик джерел гама-випромінювання на АЕС, енергетичного діапазону, діапазону доз і потужностей доз, які вимагають дозиметричного забезпечення, відповідності даних діапазонів можливостям сучасної апаратури;
- обґрунтування вимог до технічних і метрологічних характеристик засобів виміру зовнішнього гама-випромінювання;
- аналіз особливостей формування додаткової погрішності за рахунок ЕЗЧ дозиметричних детекторів;
- опрацювання розрахункового методу оцінки ЕЗЧ і додаткової погрішності, яку вона вносить при використанні різноманітних

детекторів і схем вмикання, пошук засобів максимальної компенсації ЕЗЧ на стадії проектування блоків детектування;

- опрацювання методики експериментального визначення ЕЗЧ для атестації засобів вимірювань в розширеному енергетичному діапазоні;
- обґрунтування вимог і проектування технічних засобів що забезпечують необхідну точність вимірювання експозиційної дози гама-випромінювання і її потужності в енергетичному діапазоні 20 кеВ - 8 МеВ.

### Наукова новизна праці.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень :

- виконано узагальнений аналіз існуючого технічного стану і метрологічного забезпечення засобів виміру зовнішнього гама-випромінювання, дано наукове обґрунтування вимог до їхньої точності;
- розвинута математична модель обліку впливу енергії впливаючого гама-випромінювання на вихідну інформацію первинного вимірювального перетворювача в розширеному енергетичному діапазоні;
- як енергокомпенсуючі екрани, запропоновано використати екрани, що мають різноманітні радіаційні товщини, які дозволять "спрямляти" ЕЗЧ в області аномальної чутливості детектора, не зменшуючи нормованого енергетичного діапазону вимірювання;
- розроблена і апробована методика експериментального визначення ЕЗЧ в поширеному енергетичному діапазоні 20 кеВ - 8 МеВ ;
- розроблений програмно-апаратний метод корекції ЕЗЧ на основі обробки вихідної спектрометричної інформації первинного інформаційного перетворювача.

### Практична цінність праці:

- програма " Спектр Гама ", що реалізує розрахунковий метод, дозволяє оцінювати ЕЗЧ в діапазоні від 10 кеВ до 10 МеВ з погрішністю 20%, зробити її корекцію на основі розрахунку і введення в конструкцію енергокомпенсуючих екранів різноманітних конфігурацій і оцінювати їхню ефективність;
- експериментальна методика дає можливість визначити ЕЗЧ приладу за межами нормованого енергетичного діапазону, і тим самим зробити висновок про можливості його використання при вимірюванні гама-випромінювання широкого діапазону енергій невідомого спектрального складу;
- насадки з отворами різноманітної глибини можуть використовуватися, як енергокомпенсуючі екрани, в широко розповсюджених побутових дозиметрах на основі газорозрядних лічильників у імпульсному режимі для підвищення точності показань приладів і поширення енергетичного діапазону вимірювання;
- запропоновано технічний засіб, який включає малозумлячий спектрометричний підсилювач, швидкодіючий перетворювач " амплітуда-унітарний код ";
- схема обробки вимірювальної інформації дозволяє виробляти програмно-апаратну корекцію чутливості детектора від енергії гама-випромінювання і забезпечує інструментальну погрішність засобу вимірювання - 15%.

Основні підходи в обґрунтуванні технічних і метрологічних характеристик апаратури радіаційного контролю можуть бути використані:

- при коректуванні Держстандартів і нормативних документів, які регламентують загальні технічні вимоги до засобів радіаційного контролю;

- при опрацюванні вимог необхідної точності визначення параметрів іонізуючого випромінювання, актуальність введення яких викликана посиленням вимог радіаційної безпеки і поширенням завдань радіаційного моніторингу природних об'єктів.

Результати дисертаційної роботи запроваджені в Центрі стандартизації, метрології і сертифікації ( м. Севастополь ), Санітарно-епідеміологічній станції ( м. Севастополь ), Ленінградському вищому військово-морському інженерному училищі, Севастопольському військово-морському інституті, Севастопольський інститут ядерної енергії і промисловості.

#### Апробація праці.

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на науково-практичній конференції "Екологія військової діяльності" (м. Київ, 1996 р. ), Першій загальнокримській конференції молодіжної екологічної Ліги "Крим" ( м. Сімферополь, 1996 р. ), науковій конференції " Політологічні підсумки кінця ХХ століття ", секція "Природокористування і екології " ( м. Сімферополь, 1996 р. ), науково-технічна конференція Севастопольського ВМІ ( м. Севастополь, 1995 р.).

#### Публікації.

За тематикою дисертаційної праці опубліковано 6 наукових робіт. Основний зміст дисертації відображено у двох науково-технічних звітах.

#### Структура і обсяг праці.

Дисертаційна робота складається із змісту, переліку умовних позначок, символів, одиниць і термінів, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Список

літератури включає 109 назв. Дисертація викладена на 150 сторінках машинописного тексту, містить 36 малюнків, 32 таблиці. Нумерація сторінок наскрізна, малюнків і формул в межах розділу. В додатках вміщені акти впровадження результатів дисертаційної праці, тексти програм, алгоритми, методика визначення ЕЗЧ.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показана актуальність роботи, сформульована мета і завдання досліджень, їх практична значимість, а також викладені основні положення, які винесено на захист.

У першій главі подано огляд сучасного стану питання, проведено аналіз радіаційної обстановки на АЕС при її нормальній експлуатації і аваріях різноманітної міри тяжкості, який виявив, що гама-випромінювання є чинником, який визначає радіаційний вплив, на обслуговуючий персонал АЕС. Його внесок в дозу зовнішнього опромінювання складає до 85%. Спектр зовнішнього гама-випромінювання є суцільним, безупинним з істотним внеском як низькоенергетичного (менш 0,1 МеВ), так і високоенергетичного (7-8 МеВ).

Розгляд сучасного парку приладів показав, що на даний момент завдання дозиметричного забезпечення необхідно вирішувати комплексом технічних засобів. Технічні засоби радіаційного контролю характеризуються великою варіацією технічних показників і метрологічних характеристик, як правило це вузькоспеціалізовані прилади. Тому фіксація існуючих принципів побудови, при все більш зростаючих вимогах радіаційної безпеки і радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища, призведе до ще більш екстенсивного поширення номенклатури вимірювальних засобів. Таким чином, на сьогоднішній день немає універсального приладу,

який дозволяє робити ефективне вимірювання експозиційної дози і її потужності при вирішенні всього кола завдань радіаційного контролю на АЕС і в зоні спостереження у всьому потрібному енергетичному діапазоні. При обґрунтуванні вимог до точності засобів вимірювання гама-випромінювання проведено аналіз, який складається з їхньої загальної інструментальної погрішності в реальних умовах виміру. Максимальною і найбільш важкою для усунення з них є додаткова погрішність за рахунок ВЗЧ. За даними метрологічних атестацій вона в 1,5 - 3 рази більша за основну, а при вимірюваннях сцинтиляційними і напівпровідниковими лічильниками в імпульсному режимі є домінуючою над всіма іншими складовими інструментальної погрішності і сягає 150-200%. Розгляд державних стандартів і нормативних актів з питання обґрунтування необхідної точності апаратури радіаційного контролю призвів до слідуючих висновків:

- основні документи, які регламентують радіаційний вплив іонізуючого випромінювання на людину, не трактують точності визначення експозиційної дози і її потужності на тих об'єктах, що відповідно до цих ж документів повинні піддаватися контролю. Більш того, не визначена точність основних дозових меж : гранично-допустимої дози для персоналу і межі дози для окремих осіб із населення. В наслідок цього, не встановлена точність визначення всіх інших похідних показників для категорії А і Б : допустимої потужності дози, допустимої густоти потоку часток і таке інше. У той же час в документах сформульовані суворі вимоги до процедури розрахунку дозового навантаження на всі категорії опромінюваних осіб;
- Дост 27451-87, який регламентує загальні технічні вимоги до приладів радіаційного контролю, визначає межу допустимої відносної основної погрішності 50%, а додаткової погрішності за рахунок ВЗЧ до 200%, що є незадовільним з точки зору оцінки впливу

випромінювання на людину і точніше відбиває технічну сторону питання;

- сучасна повірочна схема засобів виміру зовнішнього гама-випромінювання обмежує енергетичний діапазон, в якому повіряються прилади величинами від 10 до 500 фДж (від 0.06 до 3.0 MeV), що не охоплює діючого енергетичного діапазону гама-випромінювання АЕС.

Кількісна оцінка точності була вироблена у відповідності з принципом, згідно з яким допустима погрішність вимірювань гама-випромінювання визначається допустимою невизначеністю у величині очікуваного радіаційного ефекту. Результатом розрахунку необхідної точності в разі гострого опромінювання персоналу з'явилась погрішність 15%, а при хронічному опромінюванні малими дозами - 30%. Вище перелічене є передумовами для обґрунтування технічних і метрологічних вимог до засобів виміру зовнішнього гама-випромінювання на АЕС : діапазон виміру потужності експозиційної дози 5 мкР/г - 5000 Р/г; діапазон виміру експозиційної дози 100 мР/рік ( 2мР/тиждень ) - 5000 Р; енергетичний діапазон вимірювань 0.02-8 MeV.

Друга глава присвячена дослідженню особливостей формування додаткової погрішності за рахунок ЕЗЧ і розвитку математичної моделі, що описує даний процес в енергетичному діапазоні 10 кеВ -10 MeV.

Результатом проведених досліджень є алгоритм і програмний продукт "Спектр Гама " який дозволить :

- оцінити ЕЗЧ і додаткову погрішність первинного перетворювача, що вноситься нею, з нормуванням ЕЗЧ за обраним радіонуклідом для іонізаційної камери в струмовому режимі, газорозрядного лічильника в імпульсному режимі, сцинтиляційного і напівпровідникового детекторів в імпульсному і струмовому режимах;

- “ спрямляти “ ВЗЧ шляхом розрахунку енергокомпенсуючого екрану, який виконано у формі гільзи, всередині якої вміщено вихідний детектор;
- оцінити ефективність обраних для екрану конструкційних матеріалів.

Основою методу є розрахунок перетинів взаємодії гама-випромінювання різноманітного спектрального складу з речовиною детектору з наступним обчисленням його відносної чутливості. Внаслідок того, що коефіцієнти фотоелектронного поглинання ( $\tau$ ), комптонівського розсіяння ( $\delta$ ) і створення пар електрон-позитрон ( $\kappa$ ) мають складну залежність і напівімперичне вираження від енергії гама-квантів і хімічного складу речовини, алгоритм дозволяє розраховувати ВЗЧ в двох режимах :

- 1) на основі близьких апромаксійних залежностей;
- 2) на основі бази даних довідкових констант (при їх наявності).

Точність розрахунку за першим методом складає 20%, за другим 3-10%. Розрахунковий метод оцінки ВЗЧ дозволяє визначити дану характеристику в залежності від слідуючих факторів :

- відношення коефіцієнтів передачі енергії в речовині стінки або матеріалі сцинтиляційного детектору і в повітрі;
- відношення гальмових здібностей речовин стінки або матеріалу сцинтиляційного детектору і повітря;
- поглинення випромінювання в ефективному і неефективному шарі стінки або матеріалі сцинтиляційного детектора;
- при порушенні електронної рівноваги в блоці детектування; послаблення гама-випромінювання конструкційними матеріалами корпусу і додатковими екранами різноманітної конфігурації.

Останні два фактори відповідають критерію новизни і призвели до уточненої оцінки ВЗЧ.

Як відомо, додаткові екрани, які оточують детектор є розповсюдженим і ефективним засобом компенсації ЕЗЧ дозиметрів гама-випромінювання. Негативна сторона цього засобу проявляється у збільшенні сумарної радіаційної товщини, яка призводить до нечутливості до низькоенергетичної складової спектру впливаючого гама-випромінювання, тобто до звуження нормованого енергетичного діапазону. Тому екрани з фіксованою конфігурацією і однаковою товщиною по всій площі детектора не дозволяють радикально послабити залежність від спектрального складу гама-випромінювання. Рішення даного завдання було знайдено у виготовленні енергокомпенсуючого екрану з різноманітною радіаційною товщиною. Технічно даний екран виготовляється з циліндричними отворами різноманітної глибини. Внаслідок того, що гама-кванти малої енергії ( 20 кеВ - 100 кеВ ) за рахунок більшої ( інколи аномальної) чутливості можуть впливати на меншу площу  $S_1$  екрану, а в останній  $S_2$  поглинаються, тому гама-кванти великих енергій за рахунок меншої чутливості потрібно реєструвати більшою площею детектору. Змінюючи глибину отворів і відношення їх загальних площ враховуємо зміну чутливості по діапазону енергій гама-випромінювання. Дані теоретичні передумови були в роботі опрацьовані до розрахункових формул.

Третя глава присвячена опрацюванню експериментального методу знаходження ЕЗЧ. В главі обґрунтовано, що найбільш доцільним, з точки зору ефективності, економічності і надійності експлуатації є підхід, при якому роль еталонів експозиційної дози і потужності експозиційної дози монохроматичного пучка гама-квантів певної енергії виконують спеціально обрані радіонукліди, які стабільно випромінюють випромінювання певного типу, характеристики якого відомі з максимально можливою точністю.

Реалізація даного методу ускладнена тим, що набір, який випускає вірцевих гама-випромінювачів дозволяє визначити ЕЗЧ приладів в діапазоні від 22 кеВ до 1,25 МеВ, що не задовольняє вище висунутим в главі I вимогам в галузі короткохвильового випромінювання на порядок. Загальною тенденцією радіонуклідних гама-джерел, є відсутність задовільних "жорстких" гама-"ліній", а якщо такі і можуть бути присутніми, то характеризуються малим квантовим виходом на розпад, або коротким періодом піврозпаду ( $^{16}\text{N}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{49}\text{Ca}$ ). В главі представлені результати досліджень з опрацювання методики визначення ЕЗЧ. Проведений аналіз джерел, заснований на ядерних перетвореннях, дозволив зробити висновок про обмеженість їх застосування для визначення ЕЗЧ. При використанні реакцій ( $p, \gamma$ ) вихід реакції суворо залежить від енергії протонів, а при відхиленні енергії часток від резонансної різко зменшує ефективність реакції. Даний тип реакцій характеризується слабкою інтенсивністю, наявністю конкуруючого випромінювання з чималим квантовим виходом.

Для проведення реакції нейтронного захоплення ( $n, \gamma$ ) необхідні потужні нейтронні пучки реактору або потоки створені генераторами різноманітних типів. При роботі з даним типом гама-джерел необхідно враховувати чутливість блоків детектування вимірювальних засобів до нейтронного впливу, бо різноманітний вплив супутнього випромінювання в певних умовах може призвести до чималого розходження показань приладів різного типу. Погрішність, яка пов'язана з викривленням спектру гама-випромінювання чутливістю блоків детектування до нейтронного потоку, залежить від співвідношення потоків гама-випромінювання і нейтронів і тим більша за величиною, чим більший потік останніх. Сучасний стан технології одержання характеристичного і гальмового випромінювання не

дозволяють їх використати в цілях метрологічної атестації ВЗЧ апаратури радіаційного контролю. Основу розробленої методики складають серії вимірів потужності експозиційної дози створених взірцевими мірами гама-випромінювання у повірочних дозиметричних установках за Дост 8.087-73.

Засоби вимірювань визначаються одним із слідуєчих методів:

- методом прямого вимірювання, який проходить метрологічну атестацію приладом експозиційної дози чи її потужності, які створюються взірцевими джерелами відповідних розрядів ;
- методом безпосереднього порівняння атестованого дозиметричного приладу із взірцевим. Метод прямого вимірювання використовується для зняття ВЗЧ, засобів вимірювання, які досліджуються, від радіоізотопних джерел, крім джерела  $^{239}\text{Pu-Be}$ .

Метод безпосереднього порівняння приладу, який досліджували, із взірцевим використовується для визначення характеристики ВЗЧ від гама-випромінювання  $^{239}\text{Pu-Be}$  джерела типу ІВН, а також при використанні рентгенівських апаратів.

При виконанні вимірювань застосовують слідуєчі засоби :

- взірцеві міри експозиційної дози і потужності експозиційної дози - радіоізотопні джерела  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu-Be}$  джерело типу ІВН повірені у вигляді взірцевих II Розряду, що застосовуються із типовим коліматором за Дост 12527-67 і Дост 12526-67;
- повірочні дозиметричні установки, атестовані в якості взірцевих 1, 2 розрядів по Дост 8. 087-73;
- взірцевого дозиметричного приладу типу М2300 або подібного йому в частині метрологічної характеристики енергетичного діапазону 3, 2 фДж - 0, 8 пДж ( від 20 кеВ до 5, 0 МеВ ), атестованого органами державної метрологічної служби;

• при відсутності джерел  $^{109}\text{Cd}$  ВЗЧ в "м'якій" області спектр гама-випромінювання може визначатися за допомогою рентгенівських апаратів в поєднанні з взірцевим дозиметричним приладом.

Відсутність стабільних лабораторних джерел визначила використання у ролі джерела "жорсткого" гама-випромінювання препарату на основі  $^{239}\text{Pu-Be}$ , який випромінює гама-випромінювання з енергією 4,43 МеВ, що забезпечує на відстані 1 метр потужність експозиційної дози 1,6 мР/г при густоті потоку  $1 \cdot 10^6$  нейтрон/секунду. В главі приводяться результати досліджень складу гама-випромінювання джерела  $^{239}\text{Pu-Be}$  за кривою поглинення випромінювання в мішенях з Pb і за допомогою спектроаналізатора KC-100C /AI-256/ з детектором NaI ( Tl ) 40\*40. Дослідження підтвердили можливість використання випромінювання з енергією 4,43 МеВ в цілях визначення ВЗЧ. Експерименти показали, що супутнє нейтронне випромінювання, при існуючому співвідношенні числа гама-квантів на один нейтрон (1:1) і низьких перетинах взаємодії у конструкційних матеріалах детекторів, а також при маючих місце густотах потоку, не вносять додаткової погрішності в процедуру визначення ВЗЧ. Треба також визначити, що при реальних вимірах потужності експозиційної дози "жорсткого" гама-випромінювання на АВС конче присутнє і нейтроне випромінювання. Тому присутність нейтронної складової при атестації в якійсь мірі наближає умови вимірів до реальних. Дана методика пройшла метрологічну експертизу і апробацію на базі Севастопольського центру стандартизації, метрології і сертифікації, довівши ефективність при рішенні завдань визначення ВЗЧ.

Четверта глава присвячена опрацюванню методу, обґрунтуванню вимог і проектуванню технічного засобу що реалізує програмно-апаратурну корекцію ВЗЧ, яка може підвищити точність

показань засобів виміру зовнішнього гама-випромінювання в енергетичному діапазоні 20 кеВ - 8 МеВ . Сутність визначення потужності експозиційної дози з одночасним проведенням корекції полягає у слідуєчому. Чутливим елементом приладу є первинний інформаційний перетворювач, який дозволяє на виході одержати енергетичний розподіл впливаючого гама-випромінювання. Система обробки, реєструючи вихідний сигнал детектору на протязі часу виміру, формує вихідний амплітудний розподіл, в якому енергія гама-кванта ставиться у відповідність з амплітудою імпульсу і відповідним осередком пристрою накопичування інформації. В модулі перерахунку в даний амплітудний розподіл вносяться поправки з урахуванням ЕЗЧ даного детектору, визначені за методикою представленою в главі 2.

Обчислення потужності експозиційної дози ( мР/г ) проводиться при наступній обробці скоректованої інформації згідно з залежністю (1) :

$$P = 1 / (15 * S_{\text{сц}} * T) * \sum_{i=1}^m \{ N^*_i / [(1 - (N^* t_{\text{mi}})) * \eta_i] \} \quad (1)$$

де  $S_{\text{сц}}$  - площа сцинтиляційного кристалу, см<sup>2</sup>;  $T$  - час виміру, ч;  $N^*_i$  - кількість імпульсів в  $i$ -му каналі системи обробки;  $t_{\text{mi}}$  - "мертвий" час  $i$ -го каналу системи обробки;  $N^*$  - загальна кількість імпульсів в  $m$  каналах системи обробки;  $\eta_i$  - значення ЕЗЧ  $\eta(E_\gamma)$  для  $i$ -го каналу обробки, визначається із формули :

$$\Pi_i = (\Pi_{\text{maxi}} + \Pi_{\text{mini}}) / 2,$$

де  $\Pi_{\text{maxi}}$ ,  $\Pi_{\text{mini}}$  - максимальне і мінімальне значення  $\eta(E_\gamma)$  в межах  $i$ -го каналу обробки.

В приведених дослідженнях у вигляді первинного інформаційного перетворювача використовувалася схема "сцинтилятор-ФЕУ" в імпульсному режимі (NaI (Tl) 40\*40, ФЕУ-82), а системою обробки є амплітудний аналізатор КС-100С/АІ-256/. Проведене моделювання роботи приладу, а також відпрацювання його функціонування окремими блоками, показали, що відносна погрішність ЕЗЧ визначається за формулою:

$$\delta_{\text{ЕЗЧ}} = \sqrt{\delta_{\text{виз}}^2 + \delta_{\text{ап}}^2 + \delta_{\text{кор}}^2}$$

де  $\delta_{\text{виз}}$  - відносна погрішність лабораторного визначення ЕЗЧ для даного блоку детектування;  $\delta_{\text{ап}}$  - погрішність апроксимації ЕЗЧ за експериментальним даним (3-5%);  $\delta_{\text{кор}}$  - погрішність знаходження  $\eta_i$  в інтервалі ( $\eta_{\text{міні}}$ ,  $\eta_{\text{макс}}$ ).

Так для  $E_\gamma=1,25$  MeV чутливість при потужності експозиційної дози 5 мР/г склала 7000 імпл/с, а  $\delta_{\text{ЕЗЧ}}=11\%$ . Однак відзначена нелінійність у коректуючому перетворенні окремих каналів, яка пов'язана із рівномірним розподілом енергетичної шкали спектроаналізатора і надлінійністю функціональної залежності ЕЗЧ  $\eta(E_\gamma)$ . До того ж використання спектроаналізатора з його чималими масогабаритними характеристиками і жорсткими експлуатаційними умовами звужує можливість застосування даного методу до рамок лабораторії. Тому було поставлене завдання за заданим алгоритмом функціонування розробити вимоги і спроектувати основні модулі автономного приладу.

Результатами даного пошуку є наступні рішення.

1. Відмова від лінійного рівномірного масштабу на користь нелінійного, при якому ширина каналу квантування за рівнем ( $\Delta E$ )

визначається як частка від ділення  $\Delta E = \Delta\eta/\eta' (E_\gamma)$ , де  $\Delta\eta$  - прирощення  $\eta (E_\gamma)$  на  $\Delta E$ ;  $\eta' (E_\gamma)$  - перша похідна функції  $\eta (E_\gamma)$ . Даний підхід реалізує рівність коректуючого перетворення в кожному із  $m$  каналів обробки. При  $\delta_{\text{кор}} = |\Delta\eta| = 7\%$  кількість каналів обробки в енергетичному інтервалі 20 кеВ-8 МеВ дорівнюється 32.

2. Оцінка "дозової ціни" імпульсів, що реєструються в кожному із 32-х каналів обробки, вихідного сигналу детектору дозволила перетворити залежність (1) з урахуванням несуттєвості прорахунків до виду (2):

$$P = 1/T * \sum_{i=1}^{32} [k_i * N_i] \quad (2)$$

де  $k_i = 3600 * 6,17 * 10^{-6} (\eta_i / S_{\text{см}})$ , [ мР/ч ], що дозволило спростити програму обробки радіометричної інформації і тим самим підвищило швидкодію системи в цілому.

3. Створення автономного приладу, що повторює алгоритм дії стаціонарного, призвів до необхідності опрацювання пристрою, який здійснює перетворення амплітуди вхідного імпульсу в паралельний унітарний код, позиція логічної одиниці в якому відповідає діючій амплітуді. Швидкодіючий перетворювач "амплітуда-унітарний код", з 32-ма рівнями квантування вхідного сигналу є оптимальним по своїй структурі, швидкодії і апаратурним витратам.

4. Розроблений модуль виконання арифметичних операцій, у якій амплітудна селекція вхідних сигналів здійснюється через перетворення «амплітуда - унітарний код». Компенсація ВЗЧ проводиться в межах рішення полінома першого ступеня за формулою (2). Кожному імпульсу  $N$ , який появився на вході модуля виконання арифметичних операцій ставіться у відповідності «пачка» ( послідовательность імпульсів пропорційна «дозовій вартості» вхідного імпульсу в данному каналі). Кількість імпульсів у «пачці» розраховано виходячи із умов:

- максимальне наближення до «дозовій вартості»;
- оптимальне збільшення частоти ходу імпульсів.

Натурне моделювання показало, що для  $E_{\gamma} = 1,25$  MeV діапазон вимірів складає 5 мкР/г-50 мР/г при максимальній інтенсивності  $5 \cdot 10^4$  імп/с.

Погрішність корекції ЕЗЧ буде визначатися формулою:

$$\delta_{\text{ЕЗЧ}} = \sqrt{\delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}}^2 + \delta_{\text{из}}^2}$$

де  $\delta_{\text{из}}$  - відносна погрішність лабораторного визначення ЕЗЧ для даного блоку детектування;  $\delta_{\text{вл}}$  - погрішність апроксимації ЕЗЧ за експериментальними даним ( 3-5% );  $\delta_{\text{лн}}$  - відносна погрішність кусочно-лінійної апроксимації в діапазоні (  $E_{\text{min}}$ ,  $E_{\text{max}}$  ) -5%;  $\delta_{\text{кор}}$  - погрішність знаходження  $\eta$  в інтервалі (  $\eta_{\text{min}}$ ,  $\eta_{\text{max}}$  ). Підставляючи значення перемінних у наведену вище формулу одержимо  $\delta_{\text{ЕЗЧ}} = 14\%$ . Таким чином, для кристалу NaI ( Tl ), який має значну ЕЗЧ, помилка корекції не перевищить 15%, в той час як без корекції максимальна помилка досягає 200%. Описаний метод розширює застосування високочутливих неорганічних кристалів в дозиметрії. Треба відзначити, можливість його використання в дозиметричних системах з напівпровідниковими детекторами і системами " сцинтилятор-фотодіод ". В роботі наведені розрахунки основних параметрів приладів з використанням перспективних датчиків на основі напівпровідникових матеріалів з великою шириною забороненої зони і високим атомним номером CdTe, GaAs, а також сцинтиляційних високочутливих матеріалів на основі  $A^{IV}B^{VI}$  - ZnSe і вольфрамату кадмія.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблені метрологічні і технічні вимоги для вимірювачів експозиційної дози і потужності експозиційної дози, що використовуються на АЕС на підставі уточненого аналізу можливих потужностей і дійсного енергетичного діапазону при нормальній експлуатації АЕС і аваріях різноманітної міри тяжкості.

Діапазон виміру потужності експозиційної дози 5 мкР/г - 5000 Р/г; діапазон виміру експозиційної дози 100 мР/рік ( 2мР/тиждень ) - 5000 Р; енергетичний діапазон вимірювань 0.02-8 МеВ. Необхідна точність в разі гострого опромінювання - 15%, а при хронічному опромінюванні малими дозами - 30%.

2. Розвинута математична модель і алгоритм її реалізації для розрахунку ЕЗЧ апаратури радіаційного контролю в діапазоні 10 кеВ - 10 МеВ.

3. Розвинуті методи компенсації додаткової погрішності за рахунок ЕЗЧ за допомогою додаткових енергокомпенсуючих екранів з різноманітною радіаційною товщиною и конфігурацією по всій площі детектора .

4. Розроблена і апробована методика експериментального визначення даної характеристики і додаткової погрішності, яка нею вноситься. Розроблений програмно-апаратний метод компенсації ЕЗЧ і технічний засіб його реалізації. Вимірювач потужності експозиційної дози з автоматичною корекцією ЕЗЧ дозволяє вимірювати дану характеристику із хибкою не перебільшуючи 15% у енергетичному діапазоні 20 кеВ - 8 МеВ.

Таким чином, у дисертаційної роботи рішена актуальне наукове завдання:

- дослідження впливу ВЗЧ на точність і вірогідність показників апаратури радіаційного контролю у широкому енергетичному діапазоні;

- підвищення точності і вірогідності показників засобів вимірювання зовнішніх гама-випромінювань за рахунок компенсації ВЗЧ.

Основні положення дисертаційної роботи розроблені і опубліковані в наступуючих працях.

1. Алексеенко А.Ф., Ковалев Н.И., Хайков В.Л. Коррекция энергетической зависимости чувствительности дозиметрических приборов. Журнал ядерного общества Украины. N3, 1996.

2. Алексеенко А.Ф., ., Хайков В.Л. Влияние параметра радиационной толщины на показания дозиметров гамма-излучения. Журнал ядерного общества Украины. N3, 1996.

3. Сапожникова А.В., Хайков В.Л. Имитационное моделирование энергетической зависимости чувствительности дозиметрического детектора. Деп. в УкрИНТЭИ, 02.12.96, N 239, Уч. 96.

4. Сапожникова А.В., Хайков В.Л. К вопросу использования энергокомпенсирующих экранов в целях компенсации энергетической зависимости чувствительности. Деп. в УкрИНТЭИ, 02.12.96, N 242, Уч. 96.

5. Сапожникова А.В., Хайков В.Л. Программно-аппаратный метод компенсации энергетической зависимости чувствительности. Деп. в УкрИНТЭИ, 02.12.96, N 240, Уч. 96.

6. Сапожникова А.В., Хайков В.Л. Широкодиапазонный радиометр гамма-излучения. Деп. в УкрИНТЭИ, 02.12.96, N 241, Уч. 96.

7. Афанасьев А.В., Хайков В.Л. Анализ и разработка методики оценки "хода с жесткостью" аппаратуры радиационного контроля на

атомных станциях. Отчет по НИР: "Гамма". Севастопольский ВМИ. Севастополь 1995.

8. Афанасьев А.В., Ковалев Н. И., Хайков В. Л. Разработка приборов радиационного контроля газоаэрозольных выбросов атомных станций с параметрами измерения радиоактивности на уровне фактически достигнутых величин выбросов. Отчет по НИОКР: "Выброс". Севастопольский ВМИ. Севастополь 1995.

## АННОТАЦИЯ

Хайков В.Л. Разработка методики и технических средств высокоточных радиационных измерений в широком энергетическом диапазоне. Севастопольский Государственный Технический Университет, Севастополь, 1997.

Разработаны метрологические и технические требования для измерителей экспозиционной дозы и мощности экспозиционной дозы. Развита математическая модель описывающая энергетическую зависимость чувствительности (ЭЗЧ) в диапазоне 10 кэВ - 10 МэВ. Усовершенствован метод компенсации ошибок измерения за счет использования энергокомпенсирующих фильтров с различными радиационными толщинами. Разработана и опробирована методика экспериментального определения данной характеристики и вносимой ею дополнительной погрешности 20 кэВ - 5 МэВ. Предложен программно-аппаратный метод компенсации энергетической зависимости чувствительности с относительной погрешностью не более 15% в энергетическом диапазоне 20 кэВ - 8 МэВ.

## THE SUMMARY

Haikov V.L. The working up of the method and technical means of precise radioactive measurements at the large energy range. Sevastopol State Technical University, Sevastopol, 1996.

The metrological and technical requirements for the exposition dose and power exposition dose instruments have been worked up. The mathematical model which describes energetic dependence of sensitivity (EDS) has been developed at the range 10 KeV - 10 MeV. A method of the compensation EDS measurement mistakes has been perfected with help of special protection screens which have different thickness. Method of experimental measurement EDS mistake has been worked up and tried at the range 20 KeV - 5 MeV. Programm and apparatus method of the compensation EDS mistake has been offered. Their precision is 15% at the range 20 KeV - 8 MeV.

Ключові слова: гама-випромінювання; дозиметрія; погрішність; енергетична залежність чутливості; засоби радіаційного контролю; дозиметр.

Здобувач:

" 31 " березня 1997 р.



/ В. Хайков /