

УДК 621.384.6+539.1.05
PACS 29.20.-с
DOI 10.24144/2415-8038.2019.45.61-72

І.А. Хомич, Т.В. Ковалінська, В.І. Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

РАДІАЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ОБЛАДНАННЯ АЕС НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІЙ УСТАНОВЦІ ІЯД НАН УКРАЇНИ

Обговорюються методика і програма заходів, розроблена для вимірювань інтенсивності радіаційних полів в приміщеннях експериментальної установки ІЯД та на прилеглий території в режимах генерації інтенсивних потоків електронів, гальмівного гама-випромінювання, та змішаних гама-електронних радіаційних полів, відповідних умовам гермозони ядерних реакторів.

Ключові слова: кваліфікація обладнання АЕС, радіаційні поля, гальмівне випромінювання, радіаційний моніторинг, радіаційний захист.

Вступ

Актуальність проблеми визначається вимогами підвищення експлуатаційної надійності критичних об'єктів сучасної економіки. Значною мірою це стосується ядерної енергетики, експлуатація якої є вкрай необхідною але і найбільш складною задачею енергетичного сектору економіки України. Особливо з урахування довгострокових планів подальшого розвитку цієї галузі та програми продовження терміну експлуатації ядерних енергоблоків на період до 2035-го року [1]. Найважливішим завданням є забезпечення максимально високого рівня безпеки експлуатації ядерних об'єктів [2].

Метою даних досліджень є створення в ІЯД НАН України імітатора, радіаційних полів в герметичних зонах реакторів для сертифікації і кваліфікації критичного обладнання АЕС на предмет придатності використання на ядерних енергетичних об'єктах, як це вказано в нормативних документах і стандартах України та міжнародних рекомендаціях МАГАТЕ [3, 4].

Аналіз поточного стану проблеми

Випробування і кваліфікація критичного обладнання енергетичних об'єктів є важливою частиною технологічних заходів обслуговування об'єктів в ядерній енергетиці, визначає їх експлуатаційну надійність, радіаційну і екологічну безпеку, собівартість виробленої енергії [5]. Удосконалення вказаних технологій є актуальною науково-технічною проблемою.

В ІЯД НАН України такі дослідження проводяться з 90-х років минулого століття. Розроблено нову комплексну технологію випробувань критичного обладнання, яка ґрунтується на одночасному (комплексному) відтворенні (імітації) на спеціалізованих стендах максимального об'єму експлуатаційних і несприятливих факторів [6], в тому числі і кризових ситуаціях. Запропонована методика залучення до створення стендів-імітаторів прискорювачів заряджених частинок, при умові доукомплектування їх спеціалізованими пристроями. Доведено, що першочерговим завданням для такого імітатора є радіаційні функціональні випробування електро-технічного устаткування в гермозонах з си-

стем водообороту в реакторі (кабелі, електроприводи, ізолятори, прохідні ізолюючі муфти та інше, з переліку, затвердженого НАЕК). Об'єктивно, такий стенд можна в короткий термін створити на базі радіаційної установки ІЯД НАН України.

Технічна база для створення імітатора

Радіаційна установка ІЯД для радіаційних досліджень побудована на потужному електронному прискорювачі, параметри якого наведено в таблиці 1.

Табл. 1: Параметри радіаційної установки ІЯД.

№	Характеристики прискорювача	Значення
1	Середня енергія електронів, МеВ	4
2	Ширина енергетичного діапазону, МеВ	1 ÷ 5
3	Струм пучка в імпульсі 4 мкс, (А)	1
4	Мінімальний переріз пучка, мм	5
5	Максимальний переріз пучка (см)	100×100
6	Максимальна потужність, пучка, кВт	5
7	Імпульсна потужність, МВт	5
8	Потужність дози, кГр/с (макс)	20

Табл. 2: Нормативні вимоги до умов кваліфікації електротехнічного обладнання для використання в гермозоні ядерного реактора ВВЕР-1000.

Критичний параметр	Значення критичного параметру (макс.)	Термін роботи в критичних умовах, годин (мінімальний)	Примітки
Потужність дози (для гамма-опромінення), максимальна, Гр/сек	$1,25 \times 10^{-2}$	16	
Хімічний склад середовища:			
Пароводяна суміш (макс.)		1	
Паро газова суміш з борною кислотою (макс.), г/дм ³	160	16	
Гідразин, (макс.) г/дм ³	10	16	
Іони калію, (макс.) г/дм ³	100	16	
Температура, (макс.), °C	147	16	
Тиск, (макс.), МПа	0,43	16	
Вологість, (макс.), %	100	16	

Установка [7] забезпечує виконання різноманітних наукових досліджень, технологічних розробок та реальних промислових радіаційних технологій. Вона відрізняється великим об'ємом реакційної камери (64 м³), де можна встановлювати об'єкти великих розмірів і обробляти їх стаціонарним радіаційним полем великого перерізу (до 1 м²). Поки що за цими показниками установки

аналогів в Україні немає. А постійне удосконалення вузлів установки впритул наблизило її до можливості створення стенду-імітатора для випробування обладнання АЕС в умовах, наближених до реальних [8, 9]. В даний час роботи по створенню імітатора вступають в стадію завершення.

Для такого імітатора фахівцями ІЯД розроблена комплексна технологія атестації і

кваліфікації обладнання шляхом радіаційних випробувань стійкості його функціональних характеристики в робочому режимі. Перелік цих факторів було встановлено аналізом діючих нормативних документів для експлуатації вітчизняних АЕС [10]. Вони узагальнені в таблиці 2.

Табл. 3: Порівняння технічних параметрів установки ІЯД з нормативними вимогами до кваліфікаційних випробувань.

Технологічні показники	Нормативні вимоги	Параметри установки
Об'єм реакційної камери	Близько 10 м ³	Понад 20 м ³
Інтенсивність радіаційного навантаження	До 1 × 10 ³ Гр/год	від 0,1 Гр/год до 14,4 × 10 ⁶ Гр/год
Параметри радіаційних полів	змішані (наявні β -, γ-, та нейтронна компоненти)	регулювання співвідношень чинників радіації
Переріз радіаційного поля	до 1 м ²	до 80 × 80 × 120 см ³
Опромінюваний об'єм	1 – 1,5 м ³	до 2 м ³
Контроль процесів опромінювання	До 8%	датчик струму пучка: 25%
Дозиметрія опромінення	До 8%	індикатори поглинутої дози термолюмінесцентні: 15%
Час опромінення	Від 16 до 1000 годин	до 8 годин безпервно
Нестабільність радіаційного поля	До 8%	дрейф параметрів прискорювача: до 20% за добу

Як видно з таблиці 3, вирішена основна проблема застосування установки ІЯД для випробування обладнання АЕС – формування радіаційних полів великих об'ємів (до 2 м³) з глибоким регулюванням їх інтенсивності і складу – у відповідності з очікуваними габаритами обладнання. Аналоги такої техніки в Україні відсутні.

Проблеми введення імітатора в експлуатацію

Для того, щоб скористатися вказаними можливостями експериментальної бази ІЯД, необхідно вирішити останнє з обов'язкових заходів створення імітатора – забезпечити надійний радіаційний захист персоналу і довкілля при імітації в реакційній камері установки потужних радіаційних полів. Але поки що радіаційні проблеми здійснення функціональних випробувань обладнан-

ня АЕС на установці ІЯД досліджені менше проблем технічних. В результаті глибокої модернізації отримано необхідні значення фізичних параметрів установки, що в значній мірі відповідають нормативним вимогам для проведення нових технологій кваліфікації обладнання АЕС (таблиця 3).

Технологіями комплексних методів кваліфікації передбачається конверсія потужних потоків електронів 4 – 5 MeV в енергію фотонів пікометрового (іонізуючого) діапазону електромагнітних коливань. На такі умови експлуатації прискорювача існуючий радіаційний захист не розраховувався. Стоїть завдання вирішити його на етапі завершення технічних заходів утворення імітатора, шляхом вимірювання деформації радіаційних полів в технологічному боксі прискорювача та на прилеглий території.

Програма вимірювань охоплює контроль за динамікою розподілу супутніх випромінювань в усіх режимах експлуатації радіаційної установки – опромінення легких матеріалів (традиційна), опромінення електронами крупних об'єктів з важких металів, деформація конфігурації побічних випромінювань в боксі прискорювача при роботі з

напівпрозорими гальмівними мішенями, та опромінення крупних об'єктів з важких металів електронами через «товсту» гальмівну мішень.

За вихідний розподіл радіаційного поля в боксі прискорювача прийнято розподіл

при опроміненні об'єктів з легких матеріалів (не вище заліза). На рис. 1 наведена ілюстрація розподілу побічних гальмівних випромінювань в боксі прискорювача при опроміненні великогабаритних промислових виробів з органічних матеріалів.

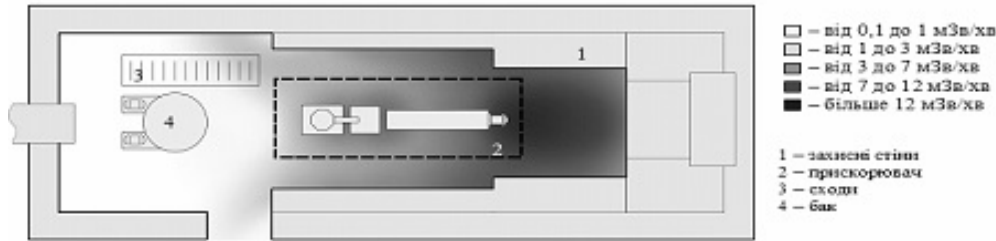


Рис. 1: Вимірний розподіл радіаційного поля в приміщенні боксу прискорювача.

Для цих режимів радіаційний захист корпусу повністю відповідає ОСП для прискорювачів електронів до 100 MeV [11].

Згідно з теоретичними положеннями взаємодії іонізуючих випромінювань з важкими матеріалами та можливі шляхи деформації існуючої на установці радіаційної обстановки. Очікується суттєва деформація наведеного розподілу радіації в приміщеннях установок, та, можливо, і на прилеглий території. Через наявність цілої низки супутніх ефектів взаємодії електронів з речовиною та неоднозначність визначення параметрів супутнього гальмівного випромінювання для розрахунків нового радіаційного захисту, необхідні додаткові дослідження і розробки з метою створення економічно привабливих конструкцій біологічного захисту [12, 13]. При їх проектуванні доцільно виходити з реального розподілу гальмівного випромінювання при повному поглинанні електронного пучка в мішені, виготовленій з самого важкого матеріалу, що може входити до складу конструкцій піддослідного обладнання АЕС. Слід зазначити, що вже при потужності пучка електронів більше ніж 1 кВт, навіть при енергії 1 MeV, проектування захисту є складною технічною проблемою.

Теоретичний аналіз процесів виникнення і поширення вторинних фотонів при опроміненні електронами критичного обладнання АЕС

При проектуванні нового радіаційного захисту можна було б скористатися спрощеними емпіричними формулами, що зв'язують альbedo енергії розсіяного випромінювання з енергією первинних гама-квантів E_0 , кутом падіння первинного вузького пучка θ_0 , атомним номером Z і щільністю ρ речовини розсіювача. Шляхом розрахунків коефіцієнтів поглинання для вибраного матеріалу, що дає можливість оптимізувати геометрію додаткових засобів радіаційного захисту в будь-якому перерізі боксу. Для цього зазвичай використовують таблиці експериментальних даних. Але в опублікованих таблицях, така інформація є тільки для ізотопних джерел випромінювання з енергією до 1,25 MeV [14, 15].

В нашому випадку первинне випромінювання є результатом конверсії енергії 4 MeV електронів на атомах матеріалу обладнання. Максимальна енергія гама-квантів складає 4 MeV. Випромінювання має суцільний спектр (практично з 50 – 70 keV) з великою нерівномірністю і максимумом в діапазоні 1 – 2 MeV.

В радіаційних технологіях кваліфікації діє класичний механізм конверсії енергії

випромінювання на атомах важких елементів. Наприклад утворенням пар електрон-позитрон розпочинається вже з енергій більших за 1 MeV. А в області 3 – 4 MeV період їх утворення зростає майже пропорційно $\ln E_0$ і більш інтенсивно при збільшенні атомного номера поглинаючої речовини. До електротехнічного обладнання можуть входити елементи з платини, родію та їх сплавів, вольфраму, золота, свиню та його сплавів та ін. Як результат слід очікувати суттєвий вклад в супутнє радіаційне поле в реакційній камері установки вторинних жорстких гама-квантів з енергією близько 0,5 MeV в тому числі і в задню напівсферу, утворюючи потоки зворотно розсіяного гама-випромінювання. Визначення потужності дози розсіяного випромінювання є задачею оцінки інтенсивності електромагнітного випромінювання, що виникає як результат взаємодії падаючих гама-квантів з атомами елементів поглинаючої поверхні (матеріалом конструкції, бетонних стін, опромінених зразків) в тому числі і частка таких випромінювань, що реально поступає (хоч і ослаблене) в оточуюче середовище з зовнішньої поверхні стін біологічного захисту.

Для цього теорія рекомендує перший ешелон ослаблення побічного випромінювання встановити вже поблизу області, де відбувається гальмування пучка і, по можливо-

сті, максимально скоротити траєкторію руху електронів до мішені. Останню вимогу виконати неможливо, тому що у нашому випадку передбачається опромінення обладнання АЕС великих розмірів (близько 2 м³). Є тільки один шлях – ешелонований захист і розташування першого ешелону радіаційного захисту якомога ближче до реакційної камери установки. Така методика конструювання, згідно опублікованих даних [12], забезпечує зростання ефективності захисту не менше ніж на 15 – 20%. Оптимальне місце розташування першого ешелону захисту можна встановити лише експериментально шляхом натурного моделювання радіаційних функціональних випробувань на еквівалентах обдданія. Після введення таких мір можна більш точно контролювати вплив інших додаткових факторів побічного випромінювання. Наприклад, додаткове розсіяння фотонів і деформація їх спектрів в неробочих просторах боксу прискорювача.

Теретично інтенсивність та конфігурацію джерел виникнення та напрямків поширення розсіяних випромінювань (через невідомість типу і місцеположення матеріалів в досліджуваному обдданні) можна лише оцінювати з великою похибкою. Приблизний спектр розсіяних випромінювань при взаємодії гама-квантів з матеріалами піддослідного обладнання можна оцінити з даних, наведених в таблиці 4 [14].

Табл. 4: Основні процеси взаємодії гама-випромінювання з найбільш поширеними конструкційними матеріалами (в порівнянні з повітрям).

Речовина	Фотоефект	Комптонівське Розсіювання	Утворення пар
Алюміній	$E < 50 \text{ keV}$	$50 \text{ keV} < E < 15 \text{ MeV}$	$E > 23 \text{ MeV}$
Залізо	$E < 120 \text{ keV}$	$120 \text{ keV} < E < 9,5 \text{ MeV}$	$E > 15 \text{ MeV}$
Свинець	$E < 500 \text{ keV}$	$500 \text{ keV} < E < 4,7 \text{ MeV}$	$E > 4,7 \text{ MeV}$
Повітря	$E < 20 \text{ keV}$	$20 \text{ keV} < E < 23 \text{ MeV}$	$E > 23 \text{ MeV}$

Але з врахуванням, що спектр гальмівного випромінювання при взаємодії електронів 4 – 5 MeV з важкими матеріалами (важкими заліза) має велику складову фотонів високої енергії, таке спрощення недопустиме. Коректними розрахунки будуть лише з урахуванням особливостей кутового розподілу інтенсивності гама-випромінювання при

гальмуванні електронів максимальної енергії [13], зміни спектрального складу гальмівного випромінювання при проходженні через захист: завдяки поглинанню частини низькоенергетичних фотонів; гальмівного випромінювання дифузної частини електронів; пучка гальмівного випромінювання від вторинних електронів; вкладу фотонів

високої енергії в спектрі побічного випромінювання; розсіяння фотонів та їх деградація.

Слід зауважити, що в наведених формулах враховуються лише однократно та багатократно розсіяні фотони первинного випромінювання (що є результатом гальмування пучка прискорених електронів) у всьому діапазоні енергій, але не враховано гальмівне випромінювання комптонівських електронів. Тому для точного розрахунку радіаційного захисту необхідна додаткова інформація щодо зворотного розсіяння гама-квантів від джерел випромінювання, еквівалентних таким, що розміщені на поверхні розсіювача.

Підставою до започаткування даних досліджень був аналіз теоретичних положень взаємодії іонізуючої радіації з матеріалами. Оцінка очікуваної інтенсивності нових джерел випромінювань та напрямків їх поширення здійснювалась за моделями зв'язності іонізуючих випромінювань з матерією.

Випромінювання в результаті першого акту взаємодії фотона з атомом по комптонівському механізму оцінено за диференціальними характеристиками, диференціальним енергетичним альбедо та диференціальним числом альбедо (кутовий розподіл відбитої енергії, кутовий розподіл відбитих квантів) [13, 17], розрахованих за напівемпіричною формулою Клейна-Нішини-Тамма. Кутовий розподіл гальмівного випромінювання для попередньої оцінки оптимальних показників поглинання його в матеріалі біологічного радіаційного захисту визначався за формулою Лаусона. Для розрахунків розсіяння гама-квантів більш високих енергій для

кутів відбивання $0 - 85^\circ$, використано емпіричну формулу Хаггемарка.

Досліди, в тому числі і в ІЯД [18], проведені для різних джерел гама-випромінювання, свідчать, що розсіяне випромінювання носить яскраво виражений анізотропний характер з максимумом інтенсивності на кутах, близьких до 90° і сильно залежить від параметрів відбиваючих матеріалів.

З урахуванням вмісту у складі електротехнічного обладнання АЕС значних об'ємів свинцю в чистому вигляді і у сплавах, платини та її сплавів, необхідно досліджувати наслідки взаємодії електронів з матеріалом (і їх композиціями в обладнанні) більш докладно. А з урахуванням високої ступені невизначеності місцезнаходження і вмісту цих матеріалів у обладнанні, проведення спеціальних експериментальних досліджень є обов'язковим, і мабуть, для усіх перелічених в нормативних матеріалах типів обладнання і устаткування. І лише з їх урахуванням розробляти конструкції відповідних захисних споруд та підбирати для них матеріали.

Програма радіаційних досліджень

Корисним результатом попередніх оцінок є визначення очікуваного діапазону енергії гальмівних, розсіяних та зворотно розсіяних гама-квантів. За результати таких розрахунків було вибрано датчики радіаційних полів, якими укомплектовано систему радіаційних вимірювань на створюваному імітаторі (рис. 2).



Рис. 2: Дозиметри для вимірювання радіаційних полів.

Вибрані дозиметри мають лінійну характеристику у розрахованому діапазоні енергії гальмівних випромінювань, вторинних, розсіяних та зворотно розсіяних гама-

квантів. Програма досліджень ґрунтується на системі з 40 інтегруючих дозиметрів поглинутої дози рис. 3.

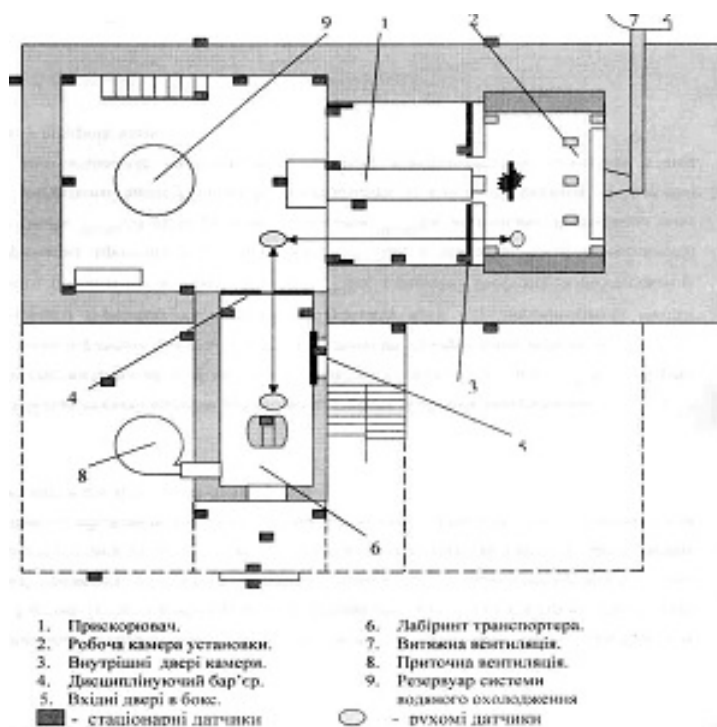


Рис. 3: Схема системи моніторингу радіаційної обстановки.

Дослідження передбачено здійснювати в режимі максимального струму пучка 1 А від прискорювача електронів 4 МеВ, при частоті їх слідування 250 Гц з контролем режиму прискорювача штатними засобами вимірювання з похибкою менше 20 %.

Висновки

1. Досліджено перспективні напрямки удосконалення технології сертифікації і кваліфікації критичного обладнання гермозон АЕС. Встановлено, що умовою отримання коректних результатів є використання спеціалізованих радіаційних стендів, здатних моделювати в комплексі усі складові експлуатаційних факторів і реєструвати увесь перелік технічних параметрів, що характеризують об'єкт досліджень. Тому актуальним є створення вітчизняного дослідницького комплексу для проведення оперативних комплексних кваліфікаційних випробувань зразків

обладнання українських енергоблоків.

2. Доведено, що при умові модернізації радіаційного захисту, радіаційну установку ІЯД НАН України з лінійним прискорювачем електронів 4 МеВ можна використовувати для імітації радіаційних полів в гермозонах атомних реакторів і здійснювати функціональні радіаційні випробування елементів ядерних енергоустановок, розміри яких не перевищують 800 мм.

3. Теоретично досліджено механізми деформації радіаційного поля в приміщенні прискорювача електронів 5 МеВ, які можна очікувати при опроміненні критичного обладнання гермозон атомних реакторів. Визначено ймовірні значення енергії та інтенсивності побічного супутнього випромінювання при опроміненні важких матеріалів, які містяться в складі піддослідного обладнання.

4. Обґрунтована необхідність здійснення експериментальних досліджень реальних радіаційних полів в різних режимах функціональних радіаційних досліджень обладнан-

ня. Розроблена програма радіаційного моніторингу за допомогою системи дозиметрів в реакційній камері установки ІЯД, технологічних приміщеннях та поза її межами. Вибрано і обґрунтовано оптимальні типи датчиків для дозиметрії радіаційної обстановки в режимі опромінювання критичного обладнання АЕС.

Реалізація програми досліджень і модернізації радіаційного захисту надасть можливість здійснювати радіаційні випробувань і кваліфікацію критичного обладнання АЕС згідно з вимогами нормативних до-

кументів в умовах, що будуть максимально наближеними до експлуатаційних. В першу чергу електротехнічного обладнання з гермозон ядерних енергетичних реакторів, важливих для безпеки АЕС, наприклад – електропривід типу М 76341, що використовується з арматурами систем аварійного газовидалення з першого контуру, захисту першого контуру від перевищення тиску та системи локалізуючих арматур, кабелі, гермопроходки, ізолятори. Для такого обладнання розрахована нерівномірність опромінення на даному етапі не перевищуватиме 25 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Енергетична стратегія розвитку України до 2035 року [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
- [2] Convention on Nuclear Safety [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infocirc449.pdf>.
- [3] Загальні положення безпеки атомних станцій: НП 306.2.141-2008. – Офіц. вид. – К.: Державний комітет ядерного регулювання України, 2008. – 59 с. – (Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки).
- [4] Кваліфікація обладнання і технічних пристроїв АЕС. Загальні вимоги : СТП 0.03.050-2009. – Офіц. вид. – К. : НАЕК, 2009. – 78 с. (Стандарти ДП «НАЕК» «ЕНЕРГОАТОМ»).
- [5] Кваліфікація обладнання на умови навколишнього середовища. Загальні вимоги : СТП 0.03.083-2009. – Офіц. вид. – К. : НАЕК, 2009. – 83 с. (Стандарти ДП «НАЕК» «ЕНЕРГОАТОМ»).
- [6] Сахно О.В. Дослідження і розробка проблем радіаційних випробувань обладнання на електрофізичних установках : автореф. дис. на здобуття наук. ступення канд. наук: спец. 05.14.14 «Теплові та ядерні енергоустановки» / О.В. Сахно. – К., 2008. – 21 с.
- [7] Вишневський І.Н. Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины / И.Н. Вишневський, А.Г. Зелінський, В.І. Сахно, С.П. Томчай, А.В. Сахно // Атомная энергия. – 2003. – Т. 94.– Вып. 2. – С. 163–166.
- [8] Вишневський І.М. Спеціалізований стенд для функціональних випробувань кабельних виробів АЕС /І.М. Вишневський, В.І. Сахно, О.В. Сахно, А.Г. Зелінський, С.П. Томчай, Т.В. Хрін, Н.В. Халова // Ядерна фізика та енергетика. – 2007. – №1 (19). – С. 140–144.
- [9] Вишневський І.М. Проблеми радіаційних випробувань кабелів АЕС на установці ІЯД/ І.М. Вишневський, В.І. Сахно, О.В. Сахно, А.Г. Зелінський, С.П. Томчай, Т.В. Хрін // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – № 6. – С. 128–130.
- [10] Программа работ по квалификации оборудования энергоблоков АЭС ГП «НАЭК» «Энергоатом»: ПМ-Д.0.03.476-09. – Офиц. изд. – К.: НАЭК, 2009. – 56 с. (Стандарты ГП «НАЭК» «Энергоатом»).

- [11] Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: ДСП 6.177-2005-09-02. – Офіц. вид. – К. : МОЗ України, 2005. – 84 с. (Санітарні правила).
- [12] Гусев Н.Г. Защита от ионизирующих излучений: в 2 т. / Н.Г. Гусев. – М.: Энергоатомиздат, 1989–1990. – Т. 2: Защита от излучений ядерно-технических установок. – 1990. – 351 с.
- [13] Проблеми оптимізації протирадіаційного захисту промислових радіаційних технологічних установок: матеріали XVI Міжнар. конф. по фізиці радіаційних явищ та радіаційному матеріалознавстві, 6–11 вересня 2004 р. Алушта, Крим / відп. Ред. В. М. Воєводін. – Х.: ННЦ ХФТІ – 2004. – С. 286–287.
- [14] Булатов Б.П. Обратное рассеянное гамма-излучение в радиационной технике / Булатов Б.П. – М.: Атомиздат, 1971. – 239 с.
- [15] Амусья М.Я. Тормозное излучение / Амусья М.Я. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
- [16] Жучко В.Е., Ципенюк Ю.Б. Расчет спектров тормозного излучения под различными углами в диапазоне энергий 1–30 МэВ / В.Е. Жучко, Ю.Б. Ципенюк // Атомная энергия. – 1975. – Т. 39, Вып. 1. – С. 66–68.
- [17] Стародубцев С.В. Взаимодействие гамма-излучения с веществом / С.В. Стародубцев, А.М. Романов. – Ташкент: Наука, 1964. – 67 с.
- [18] Сахно В.І. Дослідження розсіяного випромінювання лінійного прискорювача електронів / В.І. Сахно, І.М. Вишневський, Т.В. Хрін, О.В. Сахно, А.Г. Зелінський, С.П. Томчай, Н.В. Халова // Ядерна фізика та енергетика. – 2007.– №2 (20). – С. 126–130.

Стаття надійшла до редакції 04.06.2019

И.А. Хомич, Т.В. Ковалинская, В.И. Сахно

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

РАДИАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ ИЯИ НАН УКРАИНЫ

Обсуждается методика и программа мероприятий, разработанная для измерений интенсивности радиационных полей в помещениях экспериментальной установки ИЯИ и на прилегающей территории в режимах генерации интенсивных потоков электронов, тормозного гамма-излучения, и смешанных гамма-электронных радиационных полей, отвечающих условиям гермозоны ядерных реакторов.

Ключевые слова: квалификация оборудования АЭС, радиационные поля, тормозное излучение, радиационный мониторинг, радиационная защита.

I.A. Khomych, T.V. Kovalinska, V.I. Sakhno

Institute of Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

RADIATION PROBLEMS OF FUNCTIONAL TESTING OF NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT AT AN ELECTROPHYSICAL INSTALLATION OF THE INR OF NAS OF UKRAINE

Purpose. The purpose of the research is the creation of a domestic research complex for operational complex qualification tests of equipment samples of the Ukrainian power units. It is shown that it is advisable to create such a complex on the basis of the radiation installation of the Institute of Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine with a powerful electron accelerator of 4 MeV, subject to the modernization of radiation protection.

Methods. The method and program of measures developed to measure the intensity of radiation fields in the premises of the INR of NAS of Ukraine experimental installation and in adjacent territories in the generation modes of intense electron fluxes, bremsstrahlung gamma radiation and mixed gamma electron radiation fields similar to the conditions of nuclear reactor pressure zones are discussed. A list of associated effects affecting the radiation situation in the premises of the facility and in the surrounding area during irradiation of critical equipment with a high content of heavy metals has been theoretically investigated. The expected intensity and spectrum of bremsstrahlung and scattered gamma radiation has been established.

Results. The necessity of carrying out experimental studies of real radiation fields in various modes of functional radiation studies of equipment has been substantiated. A program of radio monitoring has been developed through a dosimeter system in the reconnaissance chamber of an INR facility, technological rooms and beyond. An optimal list of sensors for radiation monitoring dosimeters has been selected and substantiated in the mode of irradiation of critical equipment important to NPP safety, primarily electrical engineering (for example, electric actuators of type M 76341, cables, germprojects, insulators). The current problems of developing certification technologies and qualifying critical equipment for pressurized nuclear power plants using specialized radiation stands capable of simulating (reproducing) in a complex all the components of operational factors and recording the entire list of technical parameters characterizing the object of research are investigated.

Conclusions. The perspective directions of improving the certification technology and qualification of critical equipment of the nuclear power plant containment area are investigated. It has been established that the condition for obtaining correct results is the use of specialized radiation stands capable of modeling in a complex all components of operational factors and recording the entire list of technical parameters characterizing the object of research. It has been proven that with the improvement of the biological radiation protection system, the installation can be used to simulate radiation fields in the hermetic zones of nuclear reactors and carry out functional radiation tests of nuclear power plant components, with dimensions up to 800 mm. The necessity of experimental studies of real radiation fields in various modes of functional radiation research of equipment is substantiated.

Keywords: qualification of NPP's equipment, radiation fields, bremsstrahlung, radiation monitoring, radiation protection.

REFERENCES

- [1] «Energy strategy of Ukraine's development till 2035» [«Enerhetychna stratehiya rozvytku Ukrayiny do 2035 roku»], available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
- [2] «Convention on Nuclear Safety», available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infcirc449.pdf>.

- [3] «General safety regulations for nuclear power plants» [«Zahal'ni polozhennya bezpeky atomnykh stantsiy»]: SP 306.2.141–2008, State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine, Kiev, 59 p.
- [4] «Qualification of equipment and technical devices of the NPP's. General requirements» [«Kvalifikatsiya obladnannya i tekhnichnykh prystroyiv AES. Zahal'ni vymohy»]: ES 0.03.050–2009, NNEGC, Kiev, 78 p.
- [5] «Qualification of equipment for environmental conditions. General requirements» [«Kvalifikatsiya obladnannya na umovy navkolyshn'oho seredovyshcha. Zahal'ni vymohy»]: ES 0.03.083–2009, NNEGC, Kiev, 83 p.
- [6] Sakhno, O.V. (2008), Research and development of problems of radiation testing of equipment at electrophysical installations: Author's abstract [«Doslidzhennya i rozrobka problem radiatsiynykh vyprobuvan' obladnannya na elektrofizychnykh ustanovkakh : avtorref. dys. na zdobuttya nauk. stupennya kand. nauk»], Kyiv, 21 p.
- [7] Vyshnevskyy, I.M., Zelinskyy, A.G., Sakhno, V.I., Tomchay, S.P., Sakhno, A.V. (2003), «Radiation facility with electron accelerator of the Institute for Nuclear Research of Ukraine» [«Radiatsionnaya ustanovka s uskoritelem elektronov IYAI NAN Ukrainy»], Atomic Energy [Atomnaya energiya], Vol. 94 (2), pp. 163–165.
- [8] Vyshnevskyy, I.M., Sakhno, V.I., Sakhno, O.V., Zelinskyy, A.G., Tomchay, S.P., Khrin, T.V., Khalova, N.V. (2007), «Specialized stand for functional testing of NPP cables products» [«Spetsializovannyi stend dlya funktsional'nykh vyprobuvan' kabel'nykh vyrobiv AES»], Nuclear Physics and Atomic Energy [Yaderna fizyka ta enerhetyka], No. 1 (19), pp. 140–144.
- [9] Vyshnevskyy, I.M., Sakhno, V.I., Sakhno, O.V., Zelinskyy, A.G., Tomchay, S.P., Khrin, T.V. (2007), «Problems of radiation tests for NPP's cables at the institute for nuclear research elaboration» [«Problemy radiatsiynykh vyprovovuvan' kabeliv AES na ustanovtsi IYAD»], Voprosy atomnoy nauki i tekhniki, No. 6, pp. 128–130.
- [10] «The work program for the qualification of the equipment of NPP SE «NNEGC» «Energoatom» [«Programma robot po kvalifikatsii oborudovaniya energoblokov AES GP «NAEK» «Energoatom»]: PM-D.0.03.476-09, NNEGC, Kiev, 56 p.
- [11] «Basic sanitary rules for radiation safety of Ukraine» [«Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennya radiatsiynoyi bezpeky Ukrayiny»]: SSR 6.177-2005-09-02, Kiev, 84 p.
- [12] Husev, N.H. (1990), «Radiation protection of nuclear technology installations. The second volume» [«Zashchita ot izlucheniya yaderno-tekhnicheskikh ustanovok»], Energoatomizdat, Moskva, 351 p.
- [13] Sakhno, V.I. (2004), «Problems of anti-radiation protection optimization of industrial radiation technological plants» [«Problemy optymizatsiyi protyradiatsiynoho zakhystu promyslovykh radiatsiynykh tekhnolohichnykh ustanovok»], NPC KhPTI, Kharkiv, pp. 286–287.
- [14] Bulatov, B.P. (1971), «Backscattered gamma radiation in radiation engineering» [«Obratno rasseyannoye gamma-izlucheniye v radiatsionnoy tekhnike»], Atomizdat, Moskva, 239 p.
- [15] Amusia, M.Ya. (1990), «Bremsstrahlung» [«Tormoznoye izlucheniye»], Energoatomizdat, Moskva, 208 p.

- [16] Zhuchko, V.E., Tsypeniuk, Yu.B. (1975), «Calculation of the bremsstrahlung spectra at different angles in the energy range 1-30 MeV» [«Raschet spektrov tormoznogo izlucheniya pod razlichnymi uglami v diapazone energiy 1-30 MeV»], Atomic Energy [Atomnaya energiya], No. 39 (1), p. 66–68.
- [17] Starodubtsev, S.V., Romanov, A.M. (1964), «The interaction of gamma radiation with a substance» [«Vzaimodeystviye gamma-izlucheniya s veshchestvom»], Nauka, Tashkent, 67 p.
- [18] Vyshnevskiy, I.M., Sakhno, V.I., Sakhno, O.V., Zelinsky, A.G., Tomchay, S.P., Khrin, T.V., Khalova, N.V. (2007), «The research of the scattered radiation of electrons linear accelerator» [«Doslidzhennya rozsiyanoho vyprominyuvannya liniynoho pryskoryuvacha elektroniv»], Nuclear Physics and Atomic Energy [Yaderna fizyka ta enerhetyka], No. 2 (20), pp. 126–130.

©Ужгородський національний університет