

УДК 621.384.6

І.А. Остапенко, Т.В.Ковалінська, А.Г.Зелінський, В.І.Сахно

Інститут ядерних досліджень НАН України, пр. Науки, 47, Київ, 03680

e-mail: ostiv@ukr.net, interdep@kinr.kiev.ua

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІЧИЛЬНИКА СИ 5007 В ОБЕРНЕНОМУ ВКЛЮЧЕННІ

Наводяться результати дослідження шляхів удосконалення нетрадиційного способу використання пропорційного лічильника СИ 5007 для вимірювань полів іонізуючих випромінювань високих інтенсивностей на промисловій технологічній радіаційній установці ІЯД НАН України з прискорювачем електронів. За рахунок оберненого режиму включення цього лічильника, створено радіометричний прилад для використання в наукових дослідженнях, технологічній дозиметрії в радіаційних технологіях, при кваліфікації технологічного обладнання АЕС.

**Ключові слова:** прискорювач, пучок електронів, ресурс, кваліфікаційні випробування.

На сьогоднішній день перспектива успішного вирішення фундаментальних проблем, важливих для ядерної енергетики та радіаційних технологій, в значній мірі визначається технічним рівнем експериментальної бази. З'являються нові розробки потужних прискорювачів заряджених частинок. Створюються радіаційні установки великої потужності, як правило, на основі електрофізичних джерел іонізуючих випромінювань. На відміну від попередніх поколінь промислової радіаційної техніки, зараз для технологій потрібно мати більший об'єм інформації про генеровані радіаційні поля – енергетичний спектр випромінювання, інтенсивність та розподіл у просторі усіх, в т.ч. побічних випромінювань та ін. До того ж прогрес радіаційних технологій вимагає удосконалення технологічної дозиметрії іонізуючих випромінювань – розробку дозиметричних систем.

Робота проводилася на прискорювачі електронів з середньою енергією 4 МеВ та максимальною потужністю дози 200 кГр/с [1]. Дослідження здійснюється з метою формування змішаних радіаційних полів як суперпозиції електронів та гальмівного випромінювання з максимальною енергією 4 МеВ і потужністю дози 60 кГр/с. На відміну від ізотопних гама-установок, випромінювання яких має резонансний характер, гальмівне гама-випромінювання

на прискорювачах характеризується широким неперервним енергетичним спектром. При вимірюванні радіаційних полів з таких спектрів випромінювань виникає ряд проблем [2]. Через високу вартість і екзотичність необхідних приладів на потужних промислових прискорювачах електронів відсутні технічні засоби для вимірювання характеристик гальмівних радіаційних полів. А це особливо важливо для дозиметрії процесів кваліфікації обладнання АЕС, вагомої компоненти їх безпечної експлуатації. Тому є актуальним створення більш доступних засобів контролю гальмівних гама-випромінювань та систем дозиметрії змішаних радіаційних полів в реакційній камері установки. Через відсутність таких засобів промислового виробництва авторами здійснюються пошуки нетрадиційних методів радіаційних вимірювань.

Попередні дослідження та реальний досвід експлуатації радіаційної установки сектора радіаційних технологій [1] показують, що потужність гамма-випромінювання навіть поблизу технічного обладнання може бути вище 1 Гр/хв, як результат гальмування електронів в різних місцях технологічного приміщення прискорювача. Через специфічний характер експериментів на установці часто виникає потреба контролю за фактичним розподілом гамма-випромінювання в

технологічних приміщеннях. Для цього необхідно мати радіометричну апаратуру, спроможну працювати у великому діапазоні інтенсивностей випромінювання і в широкому енергетичному спектрі. Тому і розробки цього напрямку на установці є традиційними [2]. Одним із завдань удосконалення експериментальної радіаційної техніки ІЯД НАН України є створення методів і технічних засобів вимірювання змішаних радіаційних полів високої інтенсивності. Такі поля необхідно сформулювати для відтворення умов експлуатації критичного обладнання, наближених до реалій його роботи на ядерних енергетичних установках. Попередній досвід [3] свідчить, що таку задачу можна вирішувати шляхом використання промислових детекторів гамма-випромінювання, але увімкнених у зворотному режимі, нетрадиційному для існуючої дозиметричної техніки.

На установці ІЯД з цією метою досліджуються можливості застосування промислового детектора типу СИ-5007. Він приваблює тим, що декларується виробником як пропорційний лічильник, здатний надавати інформацію про інтенсивність та енергію гамма-випромінювання в широкому діапазоні інтенсивності радіаційних полів. Реальні потужності дози в залі прискорювача суттєво перевищують метрологічні можливості більшості промислових радіометрів. Ускладнює задачу й імпульсний режим генерування електронів резонансним прискорювачем з тривалістю імпульсу 1-5 мкс і частотою слідування від одиниць до 200 Гц. Високий рівень супутніх електромагнітних перешкод, властивий даному прискорювачу, є суттєвою проблемою для виведення інформації з датчиків в безпечні приміщення на значну відстань.

Виявилось практично неможливим скористуватися готовим приладом 27012 (клінічний дозиметр), здатним вимірювати потужні (до 3300 Р/хв) радіаційні поля. Його недоліком є обмежена довжина кабелів. Тому попередній підсилювач приладу доводиться розташовувати в залі. Практика засвідчила, що цей попередній

підсилювач чутливий до впливу електромагнітних та радіаційних полів, а в імпульсних радіаційних полях сам генерує сигнали і спотворює результати вимірювань. Його доводиться розміщувати в місці з мінімально можливою потужністю дози і додатково захищати від впливу радіації, коректуючи конструкцію захисту кожен раз при зміні експерименту. Ці обставини змушують шукати інші способи формування і контролю специфічних радіаційних полів.

Тому після тривалих випробувань різноманітних датчиків було прийнято рішення зупинитися на одному з нових типів безгалогенових газонаповнених датчиків іонізуючого випромінювання, які працюють в режимі пропорційного лічення. Вони створені як альтернатива лічильникам Гейгера. Структура та конструкція цих датчиків дозволяє зробити новий крок в області реєстрації гамма- та бета-випромінювань простими та економними пристроями. Один з можливих варіантів – застосування поки що мало поширеного промислового пропорційного лічильника (ПЛ) типу СИ 5007 (рис. 1). Його параметри, наведені в таблиці 1, є привабливими для використання при відтворенні радіаційних полів для кваліфікації обладнання АЕС.

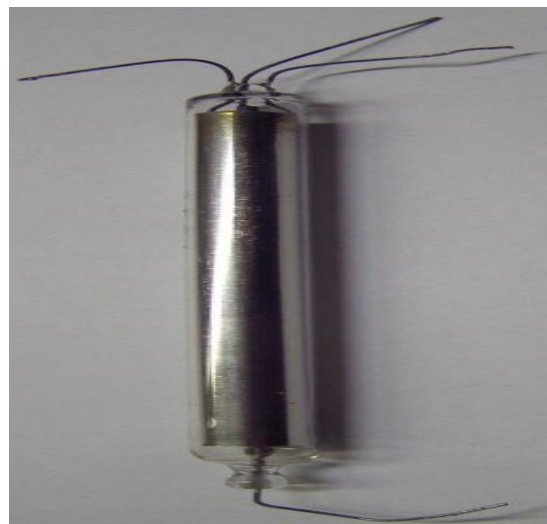


Рис. 1. Загальний вигляд пропорційного лічильника СИ 5007

Виробники декларують практично необмежений ресурс роботи та стабільність

характеристик цього датчика в широкому діапазоні температур та можливість використання цих датчиків та/або їх збірок в різній апаратурі моніторингу змішаних радіаційних полів у промисловості, медицині, в автоматизованих регіональних системах екологічного контролю та спостереження за радіаційною обстановкою.

Дослідження в умовах суперпозиції випромінювання різних ізотопів, на фоні гама-випромінювання від Cs-137 при 1 мР/год, чутливість визначення бета-частинок Sr-90+Y-90 становила 10 част/см<sup>2</sup>•хв. Це свідчить про те, що енергетична роздільна здатність даного датчика знаходиться на рівні, якого можна досягти скінтілятором та ФЕМ.

Такі датчики видають імпульсний сигнал, який підсилюється спеціальним попереднім підсилювачем, що має розташовуватися у безпосередній близькості від ПЛ. СИ 5007, як і інші промислові датчики, мають спільну особливість – обмеження по швидкості лічби. Тому при усій їх привабливості щодо спектрометричних можливостей пряме застосування на радіаційній установці неможливе через надто високі для них інтенсивності потоків радіації.

Були проведені дослідження різних схем використання датчика для вимірювань інтенсивностей гальмівної компоненти радіаційних полів, більших 100 Р/хв. В результаті виявлена можливість отримувати сигнал, пропорційний інтенсивності потоку радіації в т.з. оберненому режимі роботи ПЛ. Схема такого підключення показана на рис. 2.

При такому підключенні фактично вимірюється залежність опору ПЛ від інтенсивності радіаційного поля. Вихідним сигналом є величина іонного струму через робочий проміжок датчика, який обмежується на допустимому рівні резистором R<sub>обм</sub> при встановленні оптимальної напруги живлення. Остання вибиралась з умови роботи датчика на лінійній ділянці вольт-амперної

Таблиця 1.

**Параметри пропорційного лічильника СИ-5007**

1	Ефективність реєстрації (імп/с)	більше 110
2	Максимальне навантаження (імп/с)	більше 10 <sup>4</sup>
3	Фронт наростання імпульсу (мкс)	менше 2
4	Фонова швидкість лічення (імп/с)	0,8-1,5
5	Ресурс (імп)	не менше 830
6	Похибка визначення енергії (в межах 20-100 кеВ) (в межах 100-800 кеВ)	5 10

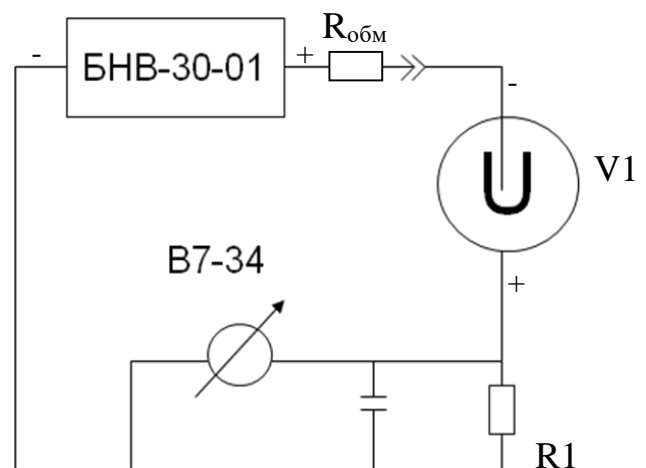


Рис. 2. Узагальнена схема включення датчика: БНВ-30-01 – джерело високої напруги; R<sub>обм</sub> – обмежуючий резистор; B7-34 – цифровий вольтметр-електрометр; V1 – пропорційний лічильник СИ5007; R1 – вимірювальний резистор 2,0 МОм; C1 – інтегруючий конденсатор

характеристики. Вимірювання показали надійний відгук ПЛ при такому включенні, навіть при довжині сигнального кабелю більше 25 м. Схему калібрують шляхом встановлення ПЛ поряд з датчиком клінічного дозиметра в контрольній точці реакційної камери з відомою (близько 1 Гр/хв.) потужністю дози

опромінення. Отримані співвідношення між показаннями КД та ПЛ (рис.3) свідчать про можливість визначати потужність дози шляхом вимірювання за допомогою ПЛ.

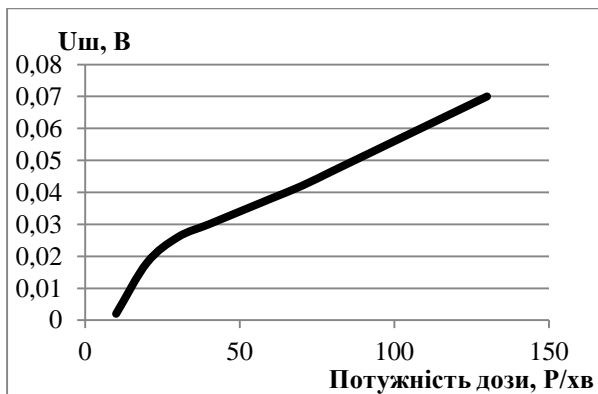


Рис. 3. Експериментально отримана радіометрична характеристика приладу з ПЛ.

Результати цих досліджень [3] підтверджують принципову працездатність ПЛ для вимірювання параметрів сильних радіаційних полів. Було експериментально підтверджено робочий стан (ненасичення) лічильника та лінійність його характеристики при нарузі на вимірювальному резисторі 0,1471 В в діапазоні від 0,3 Гр/хв до 1,4 Гр/хв. При цьому прилад практично не чутливий до імпульсних характеристик іонізуючих випромінювань і має нелінійну характеристику в діапазоні вимірювання малих інтенсивностей радіаційного поля (нижчих за 0,1 Гр/хв.). Можливість використання приладу для оперативних цілей підтвердились при проведенні регламентних контрольних вимірів фактичного розподілу радіаційного поля в приміщенні прискорювача. Схема цих вимірювань наведена на рис. 4.

Їх особливістю є вимірювання змішаних полів, бо в реакційній камері поле формується з потоку прямих і розсіяних електронів 4 МеВ від пучка прискорювача та гальмівного гама-випромінювання широкого спектру (від 0,1 до 4 МеВ) від вузла випуску пучка та гальмування розсіяних електронів на елементах конструкції реакційної камери установки.

З цією метою було створено механічний пристрій з дистанційним керуванням, що надавав змогу

встановлювати каретку з датчиками практично в будь-яку точку всередині приміщення прискорювача [4]. У процесі здійснення цього дослідження датчик ПЛ за допомогою вказаного механічного пристрою переміщувався вздовж прискорювача практично по всій довжині боксу. Початковою відправною точкою було положення датчика контрольного клінічного дозиметра (КД). За нульову точку відліку (0) було прийнято лінію розташування вузла випуску пучка – очікуваного як місце виникнення найбільш інтенсивного гальмівного випромінювання.

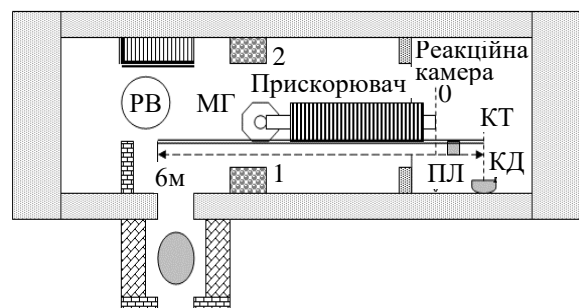


Рис. 4. Схема досліджень за допомогою ПЛ розподілу радіаційного поля в приміщенні прискорювача радіаційної установки: МГ – магнетронний генератор НВЧ хвилі; РВ – резервуар води системи охолодження; ПЛ – пропорційний лічильник на механічному пристрої (довжина ходу каретки з датчиком 7 метрів); КТ – контрольна точка, в якій встановлено стаціонарний датчик; КД – контрольний датчик клінічного дозиметра для калібрування показань ПЛ; 1, 2 – додаткові вузли системи протирадіаційного захисту.

Результати вимірювань приладом представлені на рис. 5. Результати порівнювались з показами системи встановлених у камері хімічних дозиметрів-свідків, атестованих на вимірювання бета і гамма радіації в діапазоні енергії від 0,1 до 10 МеВ.

З отриманих результатів видно, що навіть у точці з максимальною інтенсивністю режим датчика далекий від насичення. Підтвердилась придатність даного методу для вимірювання змішаних радіаційних полів в широкому діапазоні їх інтенсивності. Вказані вимірювання

здійснюються на радіаційній установці кожен раз при зміні методики досліджень та опромінюваних об'єктів, бо дозволяють оперативно корегувати конфігурацію місцевих засобів протирадіаційного захисту.

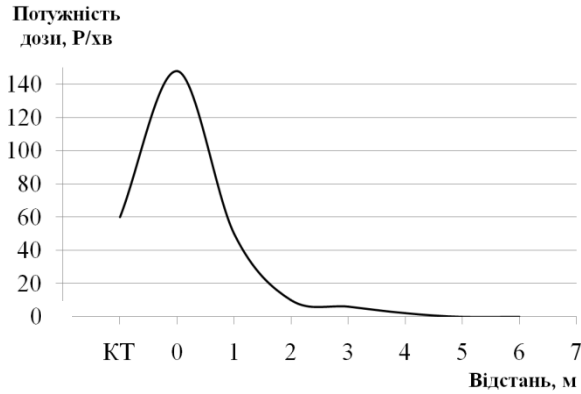


Рис. 5. Результати вимірювань розподілу радіаційного поля в приміщенні прискорювача радіаційної установки за допомогою ПЛ. КТ – контрольна точка, в якій встановлено стаціонарний датчик.

Останній етап досліджень можливостей такого методу вимірювання інтенсивних змішаних радіаційних полів має на меті адаптацію установки під кваліфікацію великогабаритного обладнання АЕС. В роботі [5] було показано, що при проведенні кваліфікаційних випробувань обладнання АЕС необхідно забезпечувати відповідність умов випробувань реальним умовам експлуатації обладнання в місці його розташування. Для цього необхідно створити змішане (у відповідних співвідношеннях)  $\beta$ -,  $\gamma$ -поле. Тому проблеми вимірювань є вирішальними для формування необхідних радіаційних умов випробування. Необхідно було встановити границі можливостей радіометричного приладу з ПЛ в аналоговому режимі роботи і підтвердити його працездатність при формуванні характеристик радіаційного поля у відповідності з нормативним вимогами. Для цього було удосконалено систему сканування [5]. В удосконаленій системі  $\beta$ -компонента (струм прискорених електронів) визначається за допомогою спеціально розробленого

широкоапертурного циліндру Фарадея з кутом зору 110 градусів. Для вимірювання  $\gamma$ -складової планується скористатися пропорційним лічильником з оберненою схемою підключення.

Першочерговим завданням було визначення вольт-амперної характеристики ПЛ в холостому режимі роботи (без радіаційного поля). Результати вимірювань представлені на рисунку 6.

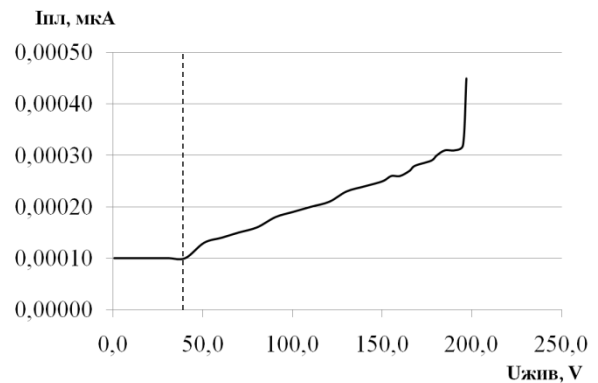


Рис. 6. Вольт-амперна характеристика пропорційного лічильника без радіаційного поля.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що при напрузі вище 195 В відбувається насичення ПЛ, тобто для встановлення режиму датчика на лінійну ділянку його характеристики робоча напруга повинна знаходитись в середині інтервалу  $40 \div 195$  В.

Наступним етапом було вимірювання вольт-амперної характеристики в робочому режимі. Показником інтенсивності радіації були покази індукційного датчика струму пучка прискорювача.

ПЛ для досліджень було встановлено в реакційній камері біля випускного вікна прискорювача. Для виключення впливу на нього потоку прискорених електронів, перед ПЛ було встановлено заземлений алюмінієвий екран товщиною  $\delta=40$  мм для повного поглинання електронів пучка. Формування  $\gamma$ -поля здійснювалося за рахунок конверсії прискорених електронів на вольфрамовій мішені. Параметри пучка прискорених електронів:

- струм пучка за показами індукційного датчика  $I_{д} = 0,4$  А;

- струм пучка за показами циліндру Фарадея  $I_{\text{ЦФ}} = 80 \text{ нА/см}^2$ ;
- середня енергія прискорених електронів  $E = 4 \text{ МеВ}$ .

Результати вимірювань представлені на рисунку 7.

З отриманих результатів видно, що в робочому режимі пробій ПЛ настає при напрузі 206 В. Відповідно робоча напруга повинна знаходитись в середині інтервалу  $150 \div 206 \text{ В}$ .

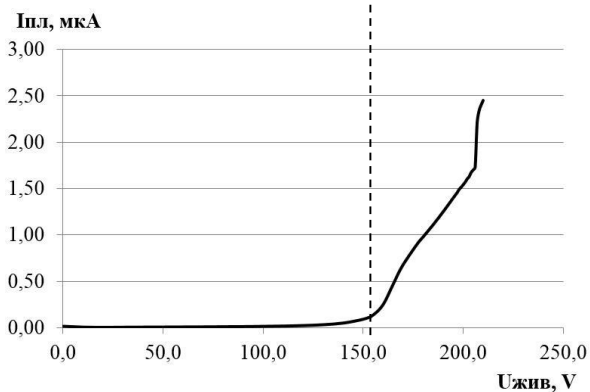


Рис. 7. Вольт-амперна характеристика пропорційного лічильника в робочому режимі.

З аналізу наведених функцій можна зробити припущення про можливість здійснювати вимірювання не в аналоговому режимі, а в цифровому. Про це свідчить той факт, що початок лінійного відрізка вольт-амперної характеристики ПЛ без радіаційного поля (штрихова лінія на рис. 6) і з радіаційним полем (штрихова лінія на рис. 7) відрізняється майже на 100 В. Для розуміння цього варіанту використання датчика можна скористатися еквівалентною схемою вимірювання, наведеною на рис. 8.

Методика цифрового вимірювання невідомого радіаційного поля в місці розташування датчика базується на фіксації напруги (на  $R_n$ ) в момент виникнення іонного струму через ПЛ на шунті  $R$  ( $U_c$ ).

### Висновки

В результаті проведених досліджень було доведено можливість створення та активного використання на існуючій радіаційній установці дозиметричного приладу на базі пропорційного лічильника СИ 5007

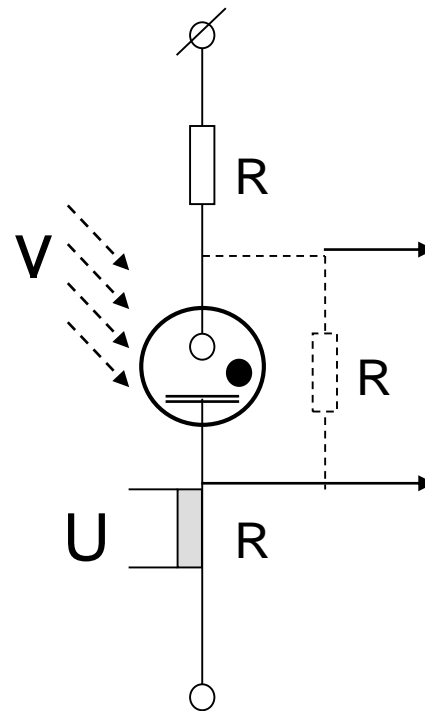


Рис. 8. Еквівалентна схема вимірювання:  $Y$  – потік гама випромінювань;  $R_b$  – баластний резистор;  $R_n$  – шунтовий опір;  $U_c$  – напруга на шунті;  $R$  – шунт.

за схемою його зворотного включення.

Практичними результатами використання цього приладу в аналоговому режимі на радіаційній установці ІЯД стало доопрацювання протирадіаційного захисту - встановлення двох додаткових колон (1 і 2 на рис. 4), які вирішили проблему зниження радіаційного фону на майданчику завантаження продукції на конвеєр транспортної системи.

Прилад включено до складу оперативних засобів дозиметрії при виконанні різних радіаційних технологій. Досвід його експлуатації дає підставу рекомендувати цей метод для удосконалення систем технологічної дозиметрії промислової радіаційної техніки. Прилад можна використовувати як додатковий контур вимірювань змішаних полів високих інтенсивностей.

Показана можливість використання радіометричного приладу з ПЛ для формування змішаних радіаційних полів в діапазоні інтенсивностей, що відповідають нормативним вимогам до кваліфікації обладнання АЕС.

Встановлено оптимальні електричні режими ПЛ для аналогового вимірювання у всьому діапазоні інтенсивностей радіаційного поля установки, а саме:

- при мінімальних інтенсивностях (холостому режимі) робоча напруга повинна встановлюватися в інтервалі 40÷195 В;

- в режимі опромінення обладнання робоча напруга ПЛ повинна встановлюватися в інтервалі 150÷206 В;

- в режимі з напругою живлення  $U_{\text{жив}}=197$  В ПЛ забезпечує вимірювання інтенсивності радіаційного поля в діапазоні значень струму пучка від 0 до 0,22 А.

Встановлена перспектива реалізації цифрового вимірювання інтенсивності гальмівного випромінювання на базі пропорційного лічильника з оберненою схемою включення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вишне夫斯基 І.Н., Зелінський А.Г., Сахно В.І. и др. Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины // Атомная энергия. – 2003. – Т.94. – №2. – С.163–166.
2. Баранов В.Ф. Дозиметрия электронного излучения. – Москва: Атомиздат, 1974.– 232 с.
3. Ковалінська Т.В. Дослідження та модернізація радіаційної установки ІЯД для функціональних випробувань обладнання та нових матеріалів АЕС. – Київ: ІЯД НАН України, 2011. – 18 с.
4. Вишневський І.М., Хрін Т.В., Сахно В.І., Сахно О.В., Зелінський А.Г., Томчай С.П., Халова Н.В. Дослідження розсіяного випромінювання лінійного прискорювача електронів // Ядерна фізика та енергетика. – 2007. – Т.20. – №2. – С.126–130.
5. Остапенко І.А., Вишневський І.М., Ковалінська Т.В., Сахно В.І. Дослідження параметрів поля радіаційної установки ІЯД НАН України з метою проведення кваліфікаційних випробувань // Тези доповідей ХХІ щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАН України. – 2014. – С. 108 - 109.

Стаття надійшла до редакції 30.06.2015.

I.A. Ostapenko, T.V.Kovalinska, A.G. Zelinskyy, V.I. Sakhno  
Institute for Nuclear Research NAS Ukraine, pr. Nauky, 47, Kyiv, 03680

## THE CHARACTERISTICS OF SI 5007 COUNTER IN REVERSE INCLUSION MODE

The results of the research ways to improve the use of non-conventional method of proportional counter SI 5007 for measurements of high intensity radiation fields at the industrial technological radiation plant of INR NAS of Ukraine with electron accelerator are presented in the article. Dosimetric device that allow to obtain information in a wide range of intensities of measured fields is created by the inclusion of the sensor in reverse mode. Device is being used at the facility for research and technological dosimetry in research and development of new methods for qualification tests of important to safety equipment at nuclear power plants.

**Keywords:** accelerator, electrons' beam, equipment life, qualification tests.

И.А. Остапенко, Т.В.Ковалинская, А.Г.Зелинский, В.И.Сахно  
Институт ядерных исследований НАН Украины, пр. Науки, 47, Киев, 03680

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СЧЕТЧИКА СИ 5007 В ОБРАТНОМ ВКЛЮЧЕНИИ

Приводятся результаты исследования путей совершенствования нетрадиционного способа использования пропорционального счетчика СИ 5007 для измерений полей ионизирующих излучений высоких интенсивностей на промышленной технологической радиационной установке ИЯИ НАН Украины с ускорителем электронов. За счет обратного режима включения этого датчика создан дозиметрический прибор, который позволил получать информацию в широком диапазоне интенсивностей измеряемых полей. Устройство используется на установке для научных исследований и технологической дозиметрии в исследованиях и разработках новых методов квалификации технологического оборудования систем АЭС, являющихся важными для безопасности.

**Ключевые слова:** ускоритель, пучок электронов, ресурс, квалификационные испытания.