

## СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ СТЕНД ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ АЕС

**І. М. Вишневецький, В. І. Сахно, О. В. Сахно, А. Г. Зелінський,  
С. П. Томчай, Т. В. Хрін, Н. В. Халова**

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*

Розроблено методи та спеціалізований стенд для радіаційних випробувань кабельних виробів, призначених для використання на об'єктах атомної енергетики. Ефективність роботи стенду проілюстровано деякими результатами експериментальних досліджень нових типів сигнальних кабелів внутрішнього реакторного контролю АЕС.

Сучасний етап розвитку атомної енергетики орієнтований на підвищення рівня експлуатаційної надійності та безпеки АЕС. У відповідності з новими вимогами нормативно-технічної документації (НТД), що прийнята Державним комітетом ядерного регулювання України, необхідним елементом безпечної експлуатації АЕС є кваліфікація систем та обладнання енергоблоків. Цими документами встановлюється, що кваліфікація – це комплекс заходів, метою яких є визначення того, що обладнання протягом усього періоду експлуатації здатне виконувати проектні функції безпеки в умовах впливів навколишнього середовища, екстремальних зовнішніх подій та аварій (вібрація, магнітні та електричні поля, значна температура, тиск, радіація, корозійно-активне середовище, вологість), враховуючи деградацію обладнання внаслідок старіння [1].

Згідно з визначенням кваліфікація фактично є випробуванням функціональної працездатності обладнання в заданих умовах. Тут головним показником є технічний стан, який характеризується поточними значеннями сукупності параметрів, установлених технічною документацією (ТУ) на об'єкт [2]. Таким чином, випробування функціональної працездатності (ВФП) – це контроль зміни в часі всіх характеристик об'єкта під впливом всіх зовнішніх умов.

Для атомної енергетики України ВФП є новим типом випробувань, уперше введенням НТД у 2004 р. [1]. Для їх практичної реалізації необхідно створити відповідну техніку та атестувати її згідно з діючими нормами. Це завдання ускладнюється відсутністю у нових нормативних документах конкретних методик проведення ВФП обладнання. Не визначено технічні вимоги до випробувальних стендів (особливо для стендів з моделюванням радіаційних умов експлуатації). Не визначено методологічні аспекти вибору критеріїв придатності обладнання до експлуатації на АЕС.

Попередній аналіз дає підставу вважати, що визначенням функціональної працездатності є перевірка відповідності технічних параметрів

обладнання задекларованим у ТУ значенням в усьому діапазоні зовнішніх умов на АЕС. Тому, на відміну від попередніх (цільових) радіаційних досліджень, нові випробувальні стенди повинні мати розгалужену систему контролю різноманітних характеристик обладнання, у тому числі не пов'язаних з радіацією.

З аналізу нормативних документів і досвіду експлуатації обладнання можна визначити, що структура стенду для радіаційних функціональних випробувань повинна забезпечувати:

одночасне натурне відтворення радіаційних та всіх інших зовнішніх експлуатаційних умов (вібрація, магнітні та електричні поля, температура тощо);

контроль усіх технічних характеристик обладнання в регламентованих робочих режимах під впливом усіх експлуатаційних умов.

Для організації досліджень та розробки методів ВФП обладнання АЕС в ІЯД НАН України було створено спеціалізований стенд, що значною мірою задовольняє вищевказаним вимогам. Стенд розроблено на базі нової радіаційної установки з прискорювачем електронів [3]. Використання електрофізичних джерел випромінювання (ЕФД) відповідає чинним нормативним вимогам та рекомендаціям нової НТД [4]. Дослідні установки з ЕФД мають набагато більші можливості за їх попереднє покоління на базі природних генераторів випромінювання. Наприклад, за допомогою ЕФД можна формувати як окремі складові радіаційних полів (нейтронне та  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання), так і їх суперпозиції у співвідношеннях, необхідних для випробування конкретного обладнання [5]. Можливість регулювання потужності ЕФД у широкому діапазоні дозових навантажень створює умови і для ресурсних випробувань кваліфікованого обладнання – контролю того, що деградація внаслідок старіння не впливає на виконання його проектних функцій.

При проектуванні та розробці радіаційної установки ІЯД було вирішено комплекс науково-технічних проблем, пов'язаних із необхідністю

тривалого опромінення великогабаритних об'єктів. Розроблено оригінальну систему формування радіаційних полів великих об'ємів, створено та сертифіковано спеціалізовану систему технологічної дозиметрії, а також забезпечено проведення довготривалих безперервних випробувань [6, 7]. На сьогоднішній день структура та параметри установки повністю відповідають вимогам організації ВФП обладнання АЕС. Великі об'єми реакційної камери дозволяють відтворювати на установці комплексну дію всіх несприятливих умов експлуатації навіть для обладнання великих габаритів.

Першим етапом організації ВФП обладнання АЕС, що підлягає кваліфікації, була розробка методів функціональних випробувань для кабельних виробів (як таких, що входять до складу всіх без винятку систем безпеки АЕС) [8].

При створенні спеціалізованого стенду для

ВФП радіаційну установку доукомплектовано необхідним додатковим устаткуванням, що забезпечує стандартизовані методи випробувань усіх робочих характеристик кабелів. Для цього реалізовано розгалужену систему постійного (одночасного) вимірювання технічних параметрів кабелів: напруга пробою, опір ізоляції, тангенс кута діелектричних втрат, частотні характеристики тощо. Вирішено проблему вимірювання цих параметрів під радіаційним навантаженням. Для цього деякі засоби було створено спеціально, з урахуванням відповідних вимог ГОСТ і ДСТУ та необхідності їх працездатності в радіаційних умовах.

Робочі характеристики спеціалізованого стенду для проведення функціональних радіаційних випробувань кабелів АЕС наведено у таблиці. Структурну схему випробувального стенду зображено на рис. 1.

**Робочі характеристики випробувального стенду**

Параметр	Визначення	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювань	Похибка, %
$U_{випр}$	випробування підвищеною напругою	В	$10^2 \div 10^5$	3
$U_{np}$ (напруга пробою)	випробувальна напруга при перевірці радіальної герметичності	В	$10^2 \div 10^5$	3
$C$ , $tg\delta$	ємність, тангенс кута діелектричних втрат	Ф	$10^{-12} \div 10^{-7}$	2
$C(U)$ $tg\delta(U)$	залежність ємності та тангенсу кута діелектричних втрат від напруги (за допомогою високовольтного моста)	Ф	$10^{-10} \div 10^{-3}$	5
$AЧХ$ : - $\Delta f_{роб}$ ; - $(\tau_{ф}^i - \tau_{ф}^0) / \tau_{ф}^0$ ; - $C(f)$ , $tg\delta(f)$	амплітудно-частотні характеристики: - полоса пропускання; - спотворення фронту-спаду імпульсів; - ємність та тангенс кута діелектричних втрат у діапазоні частот $0,1 \div 10$ кГц	кГц	$10^{-2} \div 10^3$	5
$R_{із}(T)$	опір ізоляції в діапазоні температур (від 20 до 150 °С)	Ом	$10^6 \div 10^{18}$	20
$R_{жс}$	опір жили на постійному струмі	Ом	$10^{-5} \div 10^6$	10
$R_e(U)$	опір екрану залежно від напруги	Ом	$10^{-5} \div 10^6$	15

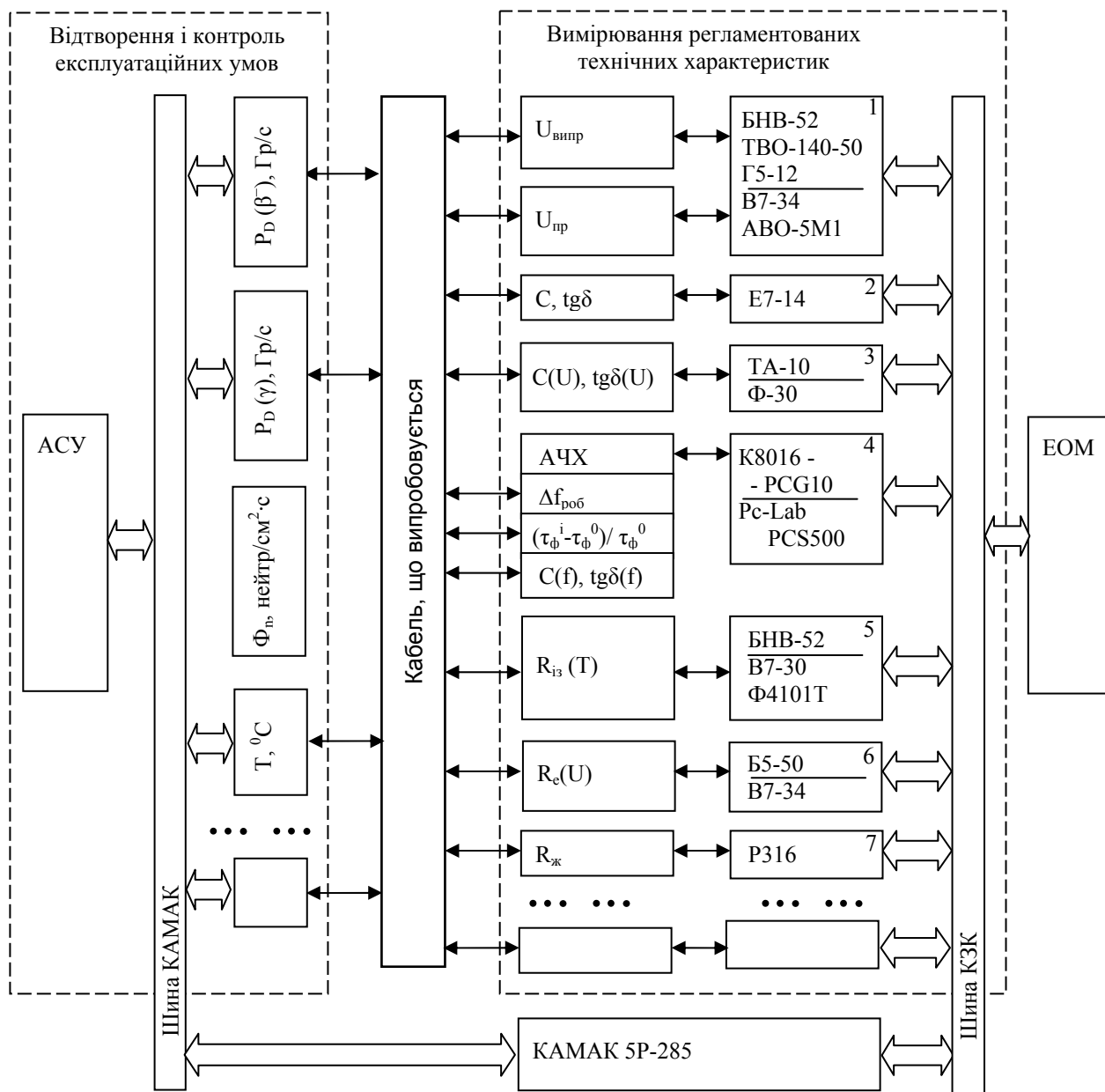
Досліджуваний кабель розміщується в реакційній камері установки, де відтворюються умови його експлуатації на реальному об'єкті ( $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінювання, високі температури). Параметри, характер та тривалість дії експлуатаційних умов на кабель установлюються та контролюються за допомогою автоматизованої системи управління (АСУ) установки.

Одночасно з цим проводиться вимірювання технічних характеристик кабелю згідно з типовими схемами [4, 9]. Відповідні джерела живлення та вимірювальна апаратура через канал загального користування (КЗК) зв'язані з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) стенду.

ЕОМ визначає послідовність та циклічність вимірювань, а також здійснює збір, обробку та запис результатів. Інформація про параметри експлуатаційних умов, під впливом яких знаходиться досліджуваний кабель, надходить до ЕОМ з АСУ установки через модуль КАМАК.

Дана конфігурація стенду передбачає можливість розширення кількості контрольованих технічних характеристик кабелю та діапазону експлуатаційних умов.

Досвід роботи стенду показав, що його використання ефективно вже на етапі проектування обладнання. Наприклад, було проведено випробування нового покоління сигнальних кабельних



Джерело живлення:  
 блок живлення високовольтний БНВ-52;  
 пристрій високовольтний однофазного струму  
 $f = 50$  Гц ТВО-140-50;  
 генератор коротких імпульсів Г5-12;  
 джерело високовольтне ТА-10;  
 генератор К8016/РСГ10;  
 блок живлення високовольтний постійного струму  
 БНВ-52;  
 джерело живлення постійного струму Б5-50.

Вимірювальна апаратура:  
 вольтметр універсальний цифровий В7-34;  
 ампервольтметр АВО-5М1;  
 вимірювач індуктивностей та ємностей високо-  
 частотний Е7-14;  
 вольтметр електрометричний Ф-30;  
 багатомодульна цифрова лабораторія (осцилограф-  
 аналізатор спектра) РС-Lab PCS500;  
 вольтметр-електрометр універсальний В7-30;  
 мегомметр Ф4101Т;  
 вольтметр універсальний цифровий В7-34;  
 міст вимірювальний одиничний Р316.

Рис. 1. Структурна схема спеціалізованого стенду для проведення функціональних радіаційних випробувань кабелів АЕС.

виробів, розроблених українськими фахівцями для систем внутрішнього реакторного контролю АЕС. Уже в перших експериментах було пра-

ктично доведено, що радіаційні функціональні випробування дають нову інформацію, яку можна використати для покращання показників на-

дійності. У наданих розробниками зразках кабелю було виявлено, що один з його головних параметрів (опір ізоляції  $R_{i3}$ ) суттєво залежить від рівня радіації і виходить за межі, установлені в ТУ на ці вироби (рис. 2).

На підставі цих випробувань розробниками було внесено необхідні зміни в конструкцію ка-

белю. Результати повторних вимірювань опору ізоляції вже модернізованого кабелю на спеціалізованому стенді ІЯД наведено на рис. 3. Повторні випробування показали, що модифіковані кабелі мають надзвичайно високі технічні характеристики і на даний час аналогів не мають.

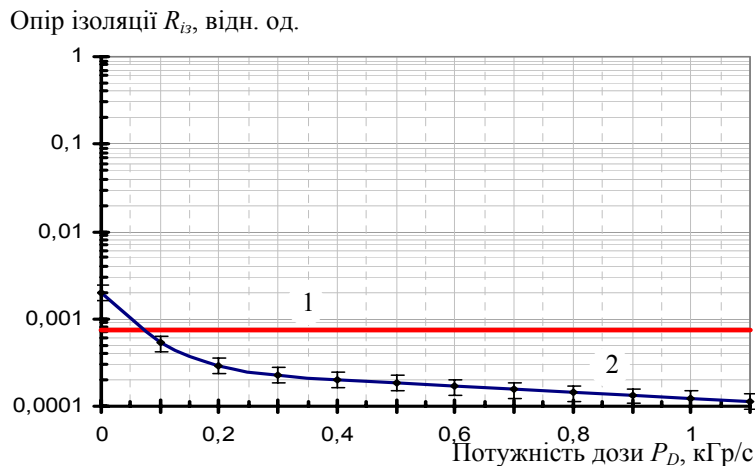


Рис. 2. Залежність опору ізоляції кабелю від потужності дози зовнішнього опромінення:  
1 – нижня межа допустимих значень  $R_{i3}$ , установлена в ТУ на кабель;  
2 – залежність  $R_{i3}$  від потужності дози зовнішнього опромінення.

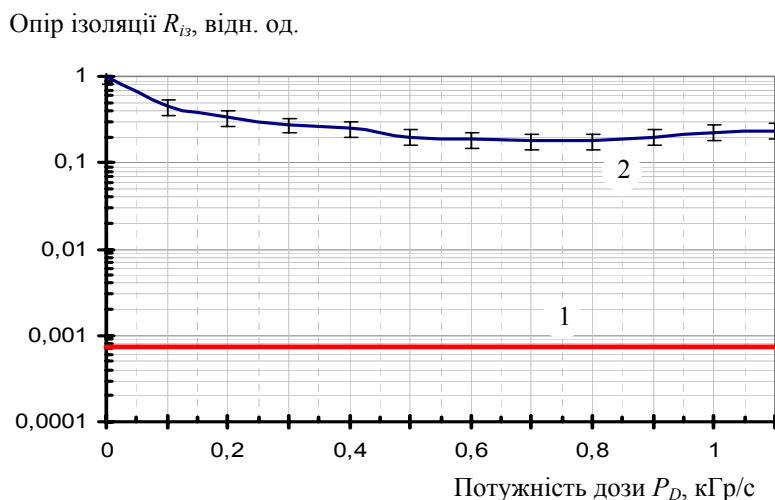


Рис. 3. Залежність опору ізоляції модифікованого кабелю від потужності дози зовнішнього опромінення:  
1 – нижня межа допустимих значень  $R_{i3}$ , установлена в ТУ на кабель;  
2 – залежність  $R_{i3}$  від потужності дози зовнішнього опромінення.

У цих роботах було практично доведено високу ефективність ВФП кабелів і доцільність використання створеного стенду на всіх етапах впровадження та експлуатації обладнання АЕС. Доведено, що нові методи випробувань обладнання АЕС є ефективною мірою виконання програми

вдосконалення об'єктів ядерної енергетики.

У даний час установка ІЯД доопрацьовується з метою спрощення деяких методологічних процедур і розширення номенклатури обладнання, придатного для проведення радіаційних функціональних випробувань.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нормативне положення “Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки”. НП 306.2.99-2004. - К., 2004.
2. Нормативне положення “Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій”. НП 306.1.02/1.034-2000. - К., 2000.

3. Вишневецький І. Н., Сахно В. І., Сахно А. В. и др. Радиационная установка с ускорителем электронов Института ядерных исследований Национальной академии наук Украины // Атомная энергия. - 2003. - Т. 94, вып. 2. - С. 163 - 166.
4. Програма управління старінням кабелів АЕС. ПМ-Т.0.0 8.121-04. - К., НАЭК "Енергоатом", 2004.
5. Сахно В. І., Томчай С. П., Сахно О. В. Дослідження радіаційно-стимульованих факторів деградації обладнання АЕС // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2000. - № 2. - С. 102 - 105.
6. Вишневецький І. М., Зелінський А. Г., Сахно В. І. та ін. Система вимірювання розподілу полів випромінювання на радіаційній установці ІЯД // Там же. - 2004. - № 2 (13). - С. 159 - 162.
7. Сахно А. В., Сахно В. І., Томчай С. П. Устройство контроля параметров охлаждения оборудования ускорителя // Там же. - 2002. - № 7. - С. 179 - 181.
8. Предварительный перечень оборудования и элементов АЭС Украины, подлежащих квалификации (для проекта ВВЭР-1000/В-320). ПР-Т.0.03.115-02. - К., НАЭК "Енергоатом", 2002.
9. Проводи та кабелі електричні. Загальні методи випробовування матеріалів ізоляції та оболонки електричних кабелів. ДСТУ ІЕС 60811-4-2-2002. - К., 2002.

### СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ АЭС

І. Н. Вишневецький, В. І. Сахно, А. В. Сахно, А. Г. Зелінський,  
С. П. Томчай, Т. В. Хрін, Н. В. Халова

Разработаны методы и специализированный стенд для радиационных испытаний кабельной продукции, предназначенные для использования на объектах атомной энергетики. Эффективность работы стенда подтверждена некоторыми результатами экспериментальных испытаний новых типов сигнальных кабелей внутриреакторного контроля АЭС.

### SPECIALIZED STANDS FOR FUNCTIONAL TESTING OF NPP CABLES PRODUCTS

І. М. Vyshnevskyy, V. I. Sakhno, O. V. Sakhno, A. G. Zelinskyy,  
S. P. Tomchay, T. V. Khrin, N. V. Khalova

Methods and specialized stand for radiation testing of cables products that are intended for using at the atomic energy objects are developed. The effectiveness of stands work is showed by some results of experimental investigation of new types signal cables of NPS in-reactor control.

Надійшла до редакції 28.03.07,  
після доопрацювання – 10.04.07.