

**ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЦІЙНО-СТИМУЛЬОВАНИХ ФАКТОРІВ
ДЕГРАДАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ АЕС****В.І. Сахно, С.П. Томчай, О.В. Сахно**

Описано електрофізичну установку, що споруджується в НЦ "ІЯД" НАН України для досліджень процесів деградації обладнання АЕС під впливом радіаційних факторів. Особливістю установки є можливість формування потужних радіаційних полів великих об'ємів для досліджень експлуатаційних показників обладнання значних габаритів. Такі дослідження дозволять формувати банки об'єктивних даних для прогнозування та завчасного розпізнавання аварійних ситуацій в обладнанні АЕС.

Численні дослідження, проведені в Інституті ядерних досліджень НАН України і провідних ядерних дослідних центрах за кордоном, показали, що проблеми підвищення надійності і безпеки експлуатації об'єктів атомної енергетики неможливо вирішити без впровадження систем завчасного розпізнавання аварійних ситуацій в обладнанні АЕС. Такі системи ґрунтуються на математичному моделюванні процесів у різноманітному обладнанні і системах об'єкта [1, 2, 3].

Загальною науково-технічною проблемою впровадження нових систем управління є забезпечення точності прогнозів. Для цього необхідно мати спеціальні математичні моделі, що описують усі складові контрольованого процесу з урахуванням особливостей їх перебігу на реальному об'єкті. У даній роботі відображено проблеми, досліджені авторами для однієї з складових АЕС - кабельних мереж, де висока ймовірність виникнення аварійно-пожежних та кризових ситуацій.

Дослідження вказаної проблеми [4, 5] показали, що важко прогнозувати пошкодження тих кабелів, що постійно чи у випадку аварій перебувають під дією додаткових несприятливих факторів. Будь-який з відомих математичних методів не дозволяє для цього випадку отримати точні дані й сформулювати надійний прогноз поведінки обладнання [6].

Було показано [7], що під дією іонізуючих випромінювань процеси формування і розвитку кризових ситуацій (аварій) на кабельних мережах відрізняються наявністю додаткових зовнішніх факторів, які необхідно враховувати при проектуванні АЕС. До цих факторів, зокрема, належать фізико-хімічні реакції та електростатичні процеси, що виникають у результаті радіолізу повітря під дією іонізуючих випромінювань (озон, окисли азоту, аероіони). Без урахування цих факторів суттєво погіршується точність прогнозу пошкоджень кабелів, що неприпустимо для ядерних об'єктів.

При розробці системи контролю і завчасного розпізнавання аварійних ситуацій на кабельних мережах АЕС, виконаних авторами, було встановлено, що для забезпечення необхідної надійності й точності прогнозування аварійних ситуацій необхідно виконати спеціальні дослідження процесів деградації кабелів безпосередньо в реальних умовах експлуатації при одночасній дії радіації і номінальних електричних навантажень. Це справедливо і для інших електричних пристроїв та обладнання.

Для вирішення поставленої проблеми розроблено спеціальну дослідницьку установку, яка дасть можливість випробовувати не тільки окремі фрагменти обладнання чи матеріали, але також цілі вузли чи обладнання великих габаритів, що його планується використовувати на АЕС.

У даний час випробовування матеріалів для АЕС здійснюється в дослідницьких каналах ядерних реакторів. Такі канали мають обмежений робочий об'єм, там неможливо розмістити комплектне обладнання і випробувати його функціональну працездатність під дією радіації. Тому, як правило, досліджується лише вплив радіації на властивості комплектуючих матеріалів, а загальну надійність конкретного обладнання потім оцінюють

розрахунковими методами. Через брак даних у таких розрахунках не враховується реальний вклад додаткових несприятливих факторів на функціонування обладнання в робочих і критичних ситуаціях АЕС. Через це точність розрахунку експлуатаційної надійності обладнання досить обмежена.

Наприклад, для прогнозування аварійних ситуацій необхідно визначити ступінь старіння кабелю (використаний ресурс) і розрахувати теоретичну надійність подальшої експлуатації (залишковий ресурс), а це неможливо без урахування всіх без виключення факторів. Тому впровадження нових методів управління АЕС з залученням математичного моделювання об'єктивно визначає необхідність проведення спеціальних досліджень і створення банку даних додаткових факторів експлуатації обладнання.

Необхідні для таких досліджень характеристики установки визначаються з переліку специфічних для АЕС факторів деградації обладнання [4]. Традиційно до них віднесено характеристики радіаційних полів у місцях розміщення обладнання під час роботи у номінальних чи аварійних режимах. Опубліковані значення цих параметрів наведено в таблиці [4, 8].

Характеристики радіаційного навантаження на кабелі АЕС

Фактор	Рівень опромінення		
	При нормальній експлуатації	При аварії	За весь період експлуатації
Гамма-випромінювання (доза поглинання)	0,15÷1,0 Гр/ч	1,6 МГр	0,05÷0,35 МГр
Флюенс	теплові нейтрони	–	$3 \cdot 10^{16}$
	швидкі нейтрони	–	$7 \cdot 10^{15}$
Бета-випромінювання (потужність дози)	100÷500 кГр/ч (10÷50 Мрад/ч)	–	–

Необхідно зазначити, що під впливом випромінювання змінюються не тільки властивості власне матеріалів кабелів (ізоляція, провідники), але також і характеристики зовнішнього середовища. За рахунок радіолізу повітря утворюються озон та окисли азоту [9], що за наявності вологи сприяє утворенню азотної кислоти і спричиняє інтенсивну корозію різних матеріалів. А в реакціях з озоном виділяється атомарний кисень, що інтенсифікує активність хімічних окислювальних процесів. Одночасно іонізація повітря під дією радіації супроводжується електростатичними мікророзрядами, що можуть спровокувати займання кабелів.

Тому для комплексних досліджень необхідно створити установку з розширеними можливостями не тільки по об'єму робочої зони, але одночасно з можливостями генерувати радіаційні поля різних випромінювань з заданими в таблиці дозовими показниками і вказаними радіаційно-хімічними факторами.

Синтезувати одночасно такі умови пропонується в складі нової радіаційної установки Інституту ядерних досліджень НАН України [9], побудованій на базі електронного прискорювача, схему якої наведено на рисунку. Установка має великий об'єм реакційної камери – 5 × 3 × 4 м. Випущений з прискорювача пучок електронів створює високу потужність дози опромінювання в об'ємі більше ніж 1 × 2 × 2 м. При проходженні електронів у повітрі утворюються озон та окисли азоту, а гальмування електронів у важких мішенях дозволяє отримувати інтенсивне гамма-випромінювання з енергією до 4 МеВ.

Відповідно до викладених принципів розроблено експериментальну установку на базі прискорювача електронів. Вона складається з мішенного пристрою 2, системи вимірювань 5, 6, 7 та управління 8.

Залежно від необхідної методики експерименту можливе опромінення обладнання безпосередньо електронами, гальмівним гамма-випромінюванням чи нейтронами. Вибір

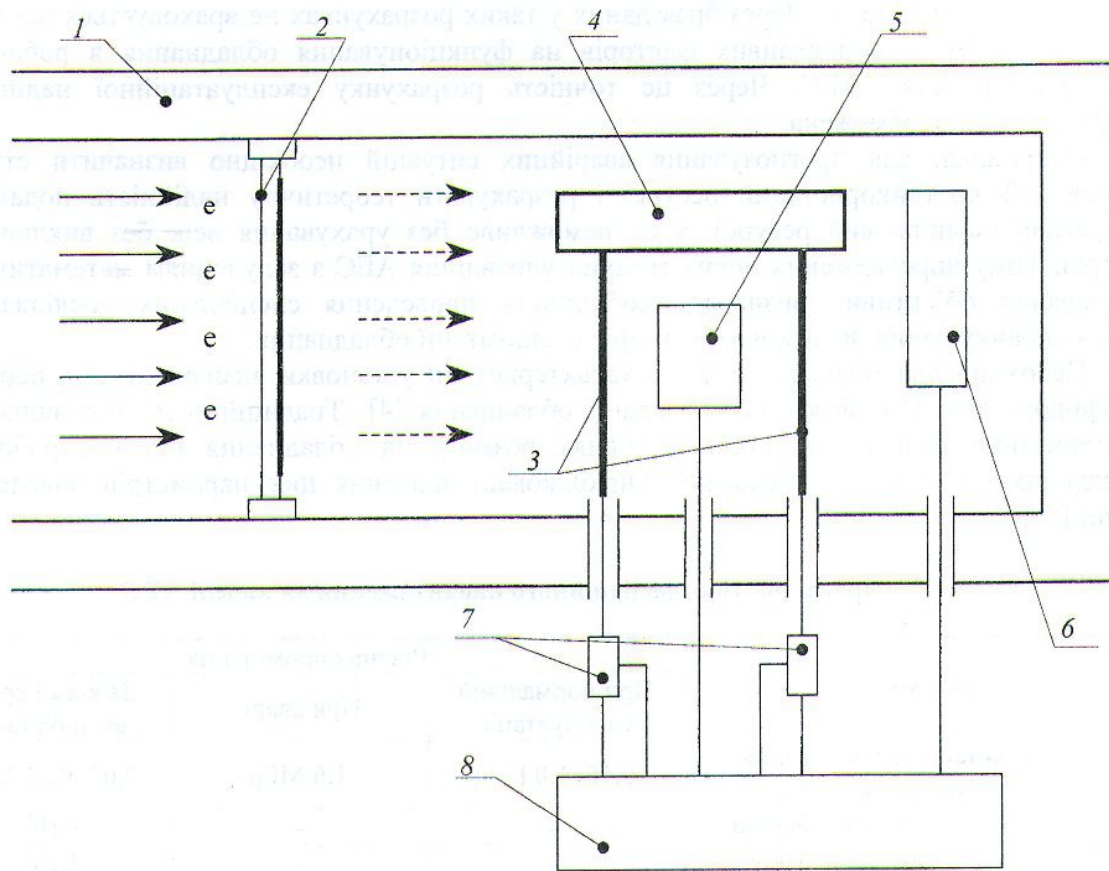


Схема експериментальної електрофізичної установки для радіаційних випробувань обладнання АЕС: 1 – корпус робочої камери; 2 – мішенний пристрій (вольфрам, берилій, парафін); 3 – кабель, що досліджується; 4 – експериментальний пристрій; 5 – засоби контролю характеристик зовнішнього середовища; 6 – засоби радіаційного контролю; 7 – засоби контролю електричних показників; 8 – пульт управління експериментом.

енергії опромінення досягається шляхом регулювання енергії первинних електронів і використання поглинаючих матеріалів.

Розрахунки показують, що при використанні пучка електронів з енергією 4 МеВ, який гальмується на вольфрамовій мішені, можлива його конверсія у гальмівне випромінювання з ефективністю більше 0,3. Проектна пучкова потужність прискорювача дозволяє в такій схемі забезпечити вказану в таблиці потужність дози гальмівного випромінювання, а при оптимальному виборі нейтронної мішені і при середньому струміві 1 мА забезпечити генерацію нейтронів із щільністю до $10 \cdot 10^{10} \text{ 1/cm}^2 \cdot \text{с}$.

Експериментальні дослідження процесів конверсії прискорених електронів на прискорювачах вибраного типу [9] показав, що розрахункові показники узгоджуються з практичними результатами, хоча і вимагають виконання ряду умов до характеристики пучків електронів і установки. Але при їх виконанні можна сформулювати в робочій камері необхідну конфігурацію радіаційних полів.

Вищенаведене показує, що створення в Інституті ядерних досліджень НАН України спеціалізованої електрофізичної установки для радіаційних випробувань обладнання АЕС значною мірою буде сприяти впровадженню нових засобів завчасного розпізнавання аварійних ситуацій на об'єктах ядерної енергетики. На підставі таких випробувань можливо буде сформовано спеціальний банк експериментальних числових констант і коефіцієнтів переходів у рівняннях деградації характеристик кабелів та іншого обладнання. Після

формування такого банку даних можна вирішити проблему розробки надійних програм для обробки статистичної і оперативної інформації та прогнозування стану АЕС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Еременко В.А., Малашин И.И.* К проблеме комплексного подхода в разработке АСУ для энергетики с использованием современной теории управления // *Электронное моделирование* - 1983. - № 4. - С. 80 - 87.
2. *Еременко В.А.* Пути обеспечения безопасного управления атомными энергетическими установками. - Киев: Техника, 1988. - 255 с.
3. *Борискин В.Н.* Вопросы разработки и исследования автоматизированной системы контроля многосекционного линейного ускорителя электронов на базе ЭВМ: Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. - Харьков, 1981. - 21 с.
4. *Кабели и провода для ядерных энергетических установок / Д.Н. Дикерман, Г.И. Мещанов, А.А. Поляков., Э.Э. Фенкель.* Под ред. Э.Э. Фенкеля - М.: Энергоатомиздат, 1983. - С. 136.
5. *Чистов Е.Д., Ларичев А.В.* Обеспечение радиационной безопасности в радиационно-химической технологии. - М.: Атомиздат, 1980. - 34 с.
6. *Томчай С.П.* Обзор состояния контроля эксплуатационных показателей кабельных коммуникаций атомных электростанций. - Киев, 1995. - 10 с. - (Препр. / НАН Украины. Ин-т ядерных исслед.; КИЯИ-95-10).
7. *Сахно В.И., Томчай С.П.* Система моделирования и прогнозирования аварийных ситуаций на ЯЭУ // *Проблемы безопасности ядерно-энергетических установок: Тез. докл. IX сем. по проблемам физики реакторов*, Москва, 1995 г. - М.: МИФИ, 1995. - Т. 1. - С. 90.
8. *Абрамян Е.А.* Промышленные ускорители электронов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 248 с.
9. *Вишневецкий И.Н., Сахно В.И., Томчай С.П., Халова Н.В.* Радиационно-технологическая установка с линейным ускорителем электронов НЦ "ИЯИ" НАН и ГКА Украины // *Вопросы атомной науки и техники.* - 1997, Т. 1, вып. 2, 3 (29, 30). - С. 67.
10. *Амусья М.Я.* Тормозное излучение. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 208 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫХ
ФАКТОРОВ ДЕГРАДАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

В.И. Сахно, С.П. Томчай, А.В. Сахно

Описана электрофизическая установка, сооружаемая в НЦ "ИЯИ" НАН Украины для исследований процессов деградации оборудования АЭС под воздействием радиационных факторов. Особенностью установки есть возможность формирования мощных радиационных полей больших объемов для исследований эксплуатационных показателей оборудования со значительными габаритами. Такие исследования позволят формировать банки объективных данных для прогнозирования и предварительного распознавания аварийных ситуаций в оборудовании АЭС.

**THE RESEARCH OF RADIATION FACTORS OF THE
NPP'S EQUIPMENT DEGRADATION**

V.I. Sakhno, S.P. Tomchay, A.V. Sakhno

The electric physical apparatus that is being constructed at the Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine for the research of the influence of radiation factors on NPP's equipment degradation processes is presented. The specific characteristics of this apparatus include possibility of forming large and strong radiation fields for the study of operation indicators of large equipment. Such research will make it possible to form the objective databases for prognostication and preliminary recognize of the emergency conditions in the NPP's equipment.