

УДК 621.395

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.020912

Л. А. КИРПАЧ¹, канд. техн. наук, доцент;Н. В. БЛАЖЕННИЙ¹, ст. викладач;О. Л. ТУРОВСЬКИЙ², доктор техн. наук, доцент,¹ Державний університет телекомунікацій, Київ² Національний авіаційний університет, Київ

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Наведено результати досліджень щодо радіаційної стійкості елементної бази атмосферно-оптичних ліній зв'язку. Технічний стан приймача за умов впливу гама-випромінювання буде визначати працездатність атмосферно-оптичних ліній зв'язку. Вплив гама-випромінювання як наслідок техногенної катастрофи на приймачі атмосферно-оптичних ліній зв'язку може проявлятися у формуванні зворотних і незворотних радіаційних ефектів. Результатом цього буде зниження виявлювальної здатності приймача атмосферно-оптичних ліній зв'язку. Види радіаційних дефектів і ступінь їхнього впливу на виявлювальну здатність залежать від енергії гама-квантів, а також від значення поглиненої дози гама-випромінювання та її потужності.

Аналіз методик оцінювання функціонування атмосферно-оптичних ліній зв'язку в умовах техногенної катастрофи показав, що існує потреба в розробленні рекомендацій, скерованих на збереження виявлювальної здатності приймачів атмосферно-оптичних ліній зв'язку за умов впливу гама-випромінювання.

Подальші дослідження потрібно спрямувати на розроблення методики, яка має зважати на особливості перебігу техногенної катастрофи; особливості формування радіаційних ефектів у приймачі атмосферно-оптичних ліній зв'язку під впливом гама-випромінювання; енергетичні, активнісні і фізико-хімічні характеристики суміші радіоактивного випромінювання.

Ключові слова: атмосферно-оптичні лінії зв'язку; радіація; властивості; оптичні системи; фактори; методика.

Вступ

Радіоактивне випромінювання є одним із факторів зовнішнього середовища, яке впливає на технічний стан атмосферно-оптичних ліній зв'язку (АОЛЗ). Під технічним станом будемо розуміти визначену сукупність схильних до змін під дією радіоактивного випромінювання властивостей АОЛЗ, які встановлено технічною документацією [1].

За принципом виконання основних функцій елементну базу АОЛЗ можна поділити на дві групи.

До першої групи належать елементи конструкції, що виконують захисні (зокрема ізолюючі) функції. Їх характеристики залежать тільки від стану внутрішньої структури конструктивних матеріалів, до яких можна віднести деталі АОЛЗ, виготовлені з металів та їх сплавів, оптичні системи, виконані з різних видів скла, компаунди, органічні конструкції тощо.

Друга група конструктивних елементів АОЛЗ включає в себе елементну базу електронних пристроїв і блоків, працездатність яких за умов впливу радіоактивного випромінювання визначатиметься як станом кристалічної решітки матеріалу, так і впливом радіоактивного випромінювання на перебіг процесів в елементах приладів, виготовлених з нього. Такими приладами в АОЛЗ є напівпровідники і зібрані на їх основі електронні схеми, конденсатори, резистори, трансформатори і приймачі оптичного випромінювання.

Основна частина

Низка досліджень впливу радіоактивного випромінювання на метали і їх сплави, що використовуються в конструкціях АОЛЗ, показала, що зміна механічних властивостей цих матеріалів відбувається тільки під впливом нейтронного випромінювання інтенсивністю порядку від $1...5 \cdot 10^{18}$ (сталь) до $9 \cdot 10^{21}$ (берилієві сплави) нейтрон/с \cdot мм².

Зміна властивостей ізоляційних матеріалів, пластмас, текстолітів, шаруватих матеріалів, а також і кронних стекол, з яких виготовляються оптичні елементи АОЛЗ, спостерігається більш ніж на 10% зі значеннями поглинених доз від 100 до $1...3 \cdot 10^6$ рад.

Стабільність роботи резисторів, електричних опорів і конденсаторів за умов впливу радіоактивного випромінювання залежить від збереження електричних і магнітних властивостей матеріалів, з яких їх виготовлено. Експериментальними дослідженнями встановлено, що під дією радіоактивного випромінювання відбувається зростання параметрів, що характеризують їхні електричні та магнітні властивості. При цьому зміна електричних властивостей відбувається як під впливом гама-випромінювання, так і потоку бета-частинок. Тут і далі під радіоактивним випромінюванням будемо розглядати потік гама-квантів і бета-частинок як основні види іонізуючого випромінювання, котрі можуть випромінюватися як внаслідок

© Л. А. Кирпач, Н. В. Блаженний, О. Л. Туровський, 2021

техногенної катастрофи, так і космічного випромінювання.

Досягнення потужності дози даних видів випромінювання $10^6 \dots 10^8$ рад/год спричинює зміну електричних і магнітних властивостей резисторів, електричних опорів і конденсаторів на 10 і більше відсотків [2; 3].

Дослідження впливу радіоактивного випромінювання на трансформатори показали, що із досягненням практичних значень поглиненої дози, критичної для їх конструктивного матеріалу, радіаційний ефект у них не спостерігався [2; 3].

Результати аналізу радіаційної стійкості напівпровідникових приладів, які використовують в електронних приладах АОЛЗ під впливом гамма-випромінювання, зображено на діаграмі (рис. 1). Наведені результати аналізу показують, що найбільш радіаційно вразливими конструктивними елементами АОЛЗ в умовах техногенної катастрофи буде приймач АОЛЗ [2]. Отже, технічний стан приймача за умов впливу радіоактивного випромінювання буде визначати загальний технічний стан АОЛЗ і відбиватися на ефективності її роботи [1].

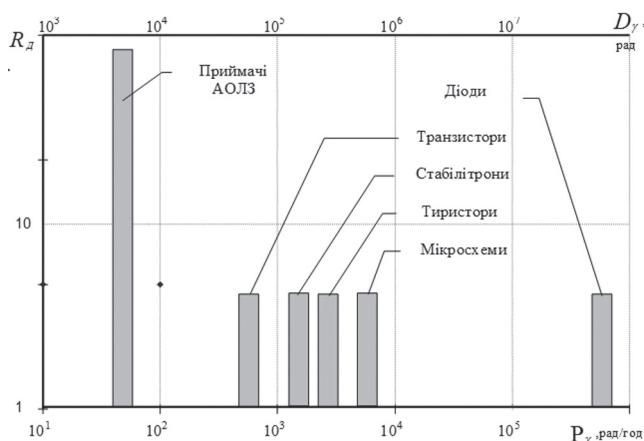


Рис. 1. Результати аналізу радіаційної стійкості напівпровідникових приладів, які використовують в електронних приладах АОЛЗ під впливом гамма-випромінювання

Як зазначалося, в речовині під впливом іонізуючого випромінювання відбуваються процеси, що зумовлюють різного роду фізико-хімічні зміни, котрі дістали назву «радіаційний ефект» [2].

Радіаційний ефект спричинює зворотні (стаціонарні) і незворотні (квазістабільні) зміни параметрів приймачів АОЛЗ [2; 3].

Зворотні зміни зазвичай зумовлені виникненням у матеріалі напівпровідника додаткових носіїв заряду. Таке явище спостерігається тільки в разі безпосереднього розміщення приймача АОЛЗ в межах дії іонізуючого випромінювання. Щільність додаткових носіїв заряду залежить від виду випромінювання $S_{\text{випр}}$ і механізму його взаємодії з речовиною, яка визначається енергією випромінювальних частинок (квантів) S_E , а також потужністю поглиненої дози опромінення $P_{\text{опр}}$ [4].

Незворотні зміни зумовлені формуванням у напівпровідниках під впливом радіоактивного випромінювання змін (порушень) структури кристалічної решітки. Дефекти в кристалах починають проявлятися в процесі опромінення і зберігаються після закінчення впливу випромінювання. При цьому порушення структури кристалічної решітки напівпровідникових приладів може спостерігатися, якщо бомбардуючі його бета-частинки або гама-кванти будуть передавати вузлам кристалічної решітки енергію зміщення E_{do} , більшу за деяку порогову для даного матеріалу енергію.

Залежність енергії зміщення від атомної маси хімічних елементів, що формуються бета-частинками і електронами віддавання з енергією від 0,1 до 1,1 МеВ в конструктивних матеріалах, які йдуть на виготовлення елементної бази приладів АОЛЗ на фоні значень їх порогових енергій, ілюструє рис. 2.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що бета-частинки і електрони віддавання з енергією в діапазоні від 0,1 до 1,1 МеВ здатні формувати у вузлах кристалічних решіток напівпровідникових матеріалів, які йдуть на виготовлення елементів приборів АОЛЗ, незворотні зміни.

Отже, незворотні зміни залежать від типу випромінювання $S_{\text{випр}}$, енергетичних характеристик S_E і значення поглиненої дози радіоактивного випромінювання $D_{\text{випр}}$, рад, яку отримує приймач АОЛЗ за весь час опромінення.

Залежно від виду $R_d^{\text{випр}}$ технічний стан приймача АОЛЗ може змінитися на неробочий стан, тобто такий стан приймача АОЛЗ, при якому значення хоча б одного його параметра, що характеризує його здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам експлуатаційно-технічної доку-

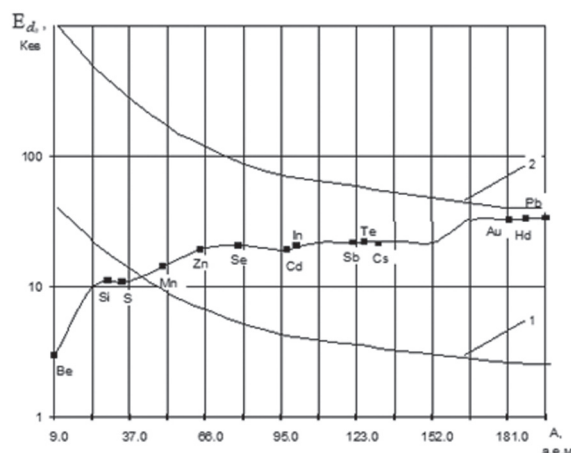


Рис. 2. Залежність енергії зміщення від атомної маси хімічних елементів, що формуються бета-частинками (1) і електронами віддавання (2) з енергією від 0,1 до 1,1 МеВ в конструктивних матеріалах

Отже, незворотні зміни залежать від типу випромінювання $S_{\text{випр}}$, енергетичних характеристик S_E і значення поглиненої дози радіоактивного випромінювання $D_{\text{випр}}$, рад, яку отримує приймач АОЛЗ за весь час опромінення.

Залежно від виду $R_d^{\text{випр}}$ технічний стан приймача АОЛЗ може змінитися на неробочий стан, тобто такий стан приймача АОЛЗ, при якому значення хоча б одного його параметра, що характеризує його здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам експлуатаційно-технічної доку-

ментації; або на граничний стан — стан приймача, при якому його подальше використання за призначенням недопустимо або недоцільно [1].

Оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на елементну базу, пристрої і прилади різних зразків техніки проводилась за напрямками [4]: по-перше, вивчалась природа радіаційних дефектів у різних матеріалах; по-друге, оцінювався вплив радіаційних ефектів на показники працездатності окремих елементів пристроїв і приладів.

Окремим напрямком було визначення пріоритету під час оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на АОЛЗ, на показники її працездатності. Підсумком цілої низки наукових праць у зазначеній сфері стало розроблення системи вимог до відповідних досліджень [3; 5; 6].

Розроблені в подальшому методики оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на АОЛЗ визначають вплив радіаційних дефектів в елементній базі під час проникаючої радіації. Відомо, що проникаюча радіація включає миттєві і запізнені нейтрони, миттєве, осколкове і вторинне гама-випромінювання. А отже, й оцінювання наслідків впливу проникаючої радіації на АОЛЗ має ґрунтуватися на визначенні впливу радіаційних ефектів, створених у речовині гама-нейтронним потоком [3; 7].

Аварія на Чорнобильській атомній станції 1986 року засвідчила, що ще одним джерелом радіоактивного випромінювання як наслідок техногенної катастрофи буде радіоактивне зараження місцевості [1; 5]. Цілісні методики з оцінювання впливу радіоактивного зараження на АОЛЗ не створювалися. Проте методики комбінованого оцінювання наслідків техногенної катастрофи зводились до визначення ділянки простору навколо центра техногенної катастрофи з радіусом R_n , в якому спостерігався заданий ступінь пошкодження розглядуваного об'єкта. При цьому як R_n вибирався максимальний показник із сукупності окремо створених кожним негативним фактором радіуса. Радіоактивне опромінення як наслідок радіоактивного зараження місцевості на відстанях більш як R_n матиме характеристики, які не впливають на АОЛЗ.

Додатковим фактором, що знижує ефективність впливу радіоактивного випромінювання на великих відстанях, буде захищеність радіаційно вразливої елементної бази пристроїв і приладів АОЛЗ.

Таким чином, оцінювання впливу наслідків техногенної катастрофи на працездатність АОЛЗ має базуватися на результатах досліджень цього процесу в змодельованих умовах. При цьому для виконання таких досліджень передусім потрібні дані про енергетичні характеристики радіоактивного випромінювання. Від цих характеристик буде

залежати як взаємодія речовини і випромінювання, так і значення поглиненої дози [1; 3], яку отримує приймач АОЛЗ за весь час опромінення під час перебування в деякій точці зони радіоактивного зараження або пересуваючись в її межах.

У процесі виконання оцінювання впливу радіоактивного випромінювання на той чи інший прилад, агрегат або вузол АОЛЗ потрібно зважати на його захищеність від впливу різних видів випромінювання, а також можливості щодо проходження різних видів опромінення через завади. Дослідження властивостей радіоактивного випромінювання, яке випромінюються сумішшю радіоактивних речовин, як наслідок техногенної катастрофи показало, що на приймачі АОЛЗ буде впливати переважно гама-випромінювання.

Висновки

Аналіз даних з радіаційної стійкості елементної бази АОЛЗ свідчить, що найбільш радіаційно вразливим конструктивним елементом АОЛЗ буде приймач. Технічний стан приймача за умов впливу гама-випромінювання буде визначати працездатність АОЛЗ. Вплив гама-випромінювання як наслідок техногенної катастрофи на приймачі АОЛЗ може проявлятися у формуванні зворотних і незворотних радіаційних ефектів. Результатом цього буде зниження виявлювальної здатності приймача АОЛЗ. Види радіаційних дефектів і ступінь їх впливу на виявлювальну здатність залежать від енергії гама-квантів, а також від значення поглиненої дози гама-випромінювання та її потужності.

Аналіз методик оцінювання функціонування АОЛЗ в умовах техногенної катастрофи показав, що вони не беруть до уваги модель розвитку техногенної катастрофи, зміни кількості радіоактивної суміші, показники енергетичних, активнісних і фізико-хімічних характеристик сумішей радіоактивного аварійного викиду і їх агрегатний стан. У наявних методиках, окрім того, відсутнє положення про оцінювання впливу наслідків гама-випромінювання на приймачі АОЛЗ і, відповідно, існує потреба в розробленні рекомендацій, направлених на збереження виявлювальної здатності приймачів АОЛЗ за умов впливу гама-випромінювання.

Подальші дослідження потрібно спрямувати на розроблення методики, яка має зважати на особливості перебігу техногенної катастрофи; особливості формування радіаційних ефектів у приймачі АОЛЗ під впливом гама-випромінювання; енергетичні, активнісні і фізико-хімічні характеристики суміші радіоактивного випромінювання.

Список використаної літератури

1. Асмолов В. Г., Блинков В. Н., Черников О. Г. *Основи забезпечення безпеки АЕС: учеб. по-*

собие для студентов вузов. Москва: МЭИ, 2014. 151 с.

2. **Физико-технические основы радиационной технологии полупроводников** / С. В. Ленков, В. А. Мокрицкий, Д. А. Перегудов, Г. Т. Териелашвили / под ред. В. А. Мокрицкого. Одесса: Астропринт, 2002. 299 с.

3. **Моделирование гибридной микромишени инерциального тяжелоионного синтеза с учетом нейтронно-ядерных реакций** / М. В. Масленников [и др.] // *Вопросы атомной науки и техники*. 2014. Т. 2, № 2. С. 45–58. (Серия: Математическое моделирование физических процессов).

4. **РД ЭО 1.1.2.99.0624-2011 Мониторинг строительных конструкций атомных станций**. Москва, 2011. 21 с.

5. **Разработка перечня мероприятий по управлению безопасностью и оценка показателей**

риска для 2 очереди (3 блока) Смоленской АЭС с реактором РБМК-1000: отчет о НИР рег. № 2314ОТ12 / Л. П. Кабанов, М. А. Берберова [и др.]. Москва: Международный Центр по Ядерной Безопасности, 2012. 225 с.

6. **Корректировка паспорта безопасности Курской АЭС. Оценка показателей риска Курской АЭС для разработки раздела II Паспорта безопасности: отчет о НИР рег. № 2152ОТ11** / Л. П. Кабанов, М. А. Берберова [и др.]. Москва: Международный Центр по Ядерной Безопасности, 2011. 68 с.

7. **Caldwell A. Addressing Off-site Consequence Criteria Using Level 3 Probabilistic Safety Assessment. A Review of Methods, Criteria, and Practices** // Department of Nuclear Power Safety, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2012.

Л. А. Кирпач, Н. В. Блаженный, А. Л. Туровский

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АТМОСФЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Приведены результаты исследований по радиационной стойкости элементной базы атмосферно-оптических линий связи. Техническое состояние приемника в условиях воздействия гамма-излучения будет определять работоспособность атмосферно-оптических линий связи. Влияние гамма-излучения как следствие техногенной катастрофы в приемнике атмосферно-оптических линий связи может проявляться в формировании обратимых и необратимых радиационных эффектов. Результатом этого будет снижение выявляющей способности приемников атмосферно-оптических линий связи. Виды радиационных дефектов и степень их влияния на обнаруживающую способность зависят от энергии гамма-квантов, а также от значения поглощенной дозы гамма-излучения и его мощности.

Анализ методик оценки функционирования атмосферно-оптических линий связи в условиях техногенной катастрофы показал, что существует потребность в разработке рекомендаций, направленных на сохранение обнаруживающей способности приемников атмосферно-оптических линий связи в условиях воздействия гамма-излучения.

Дальнейшие исследования необходимо направить на разработку методики, которая должна учитывать особенности протекания техногенной катастрофы; особенности формирования радиационных эффектов в приемниках атмосферно-оптических линий связи под влиянием гамма-излучения; энергетические, активностные и физико-химические характеристики смеси радиоактивного излучения.

Ключевые слова: атмосферно-оптические линии связи; радиация; свойства; оптические системы; факторы; методика.

L. A. Kirpach, N. V. Blazhennyi, O. L. Turovskyi

RESEARCH RESULTS ON THE INFLUENCE OF RADIATION ON CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF ATMOSPHERIC-OPTICAL COMMUNICATION LINES

The research results on the radiation resistance of the element base of atmospheric-optical communication lines are produced. The technical condition of the receiver under the influence of gamma radiation will determine the operability of atmospheric optical communication lines. The influence of gamma radiation as a consequence of a man-made disaster can affect the receiver of atmospheric-optical communication lines by the formation of reversible and irreversible radiation effects. This will cause a reduction of the detection ability of the receiver of atmospheric optical communication lines. The types of radiation defects and the degree of their influence on the detection ability depend on the energy of gamma quanta, as well as on the amount of the absorbed dose of gamma radiation and its power.

Analysis of methods for estimating the functioning of atmospheric optical communication lines in a man-made disaster has shown that there is a need to develop recommendations for maintaining the detection ability of receivers of atmospheric optical communication lines under the influence of gamma radiation.

Further research should be conducted to develop methods that take into consideration: the peculiarities of the man-made disaster; features of formation of radiation effects in the receiver of atmospheric-optical communication lines under the influence of gamma radiation; energy, activity and physicochemical characteristics of the mixture of radioactive radiation.

Keywords: atmospheric-optical communication lines; radiation; properties; optical systems; factors; methods.