

Вплив гамма-випромінювання на електричні та механічні властивості кабелів бортових систем

Вступ. Електричні та оптичні кабелі бортових систем для передачі сигналів моніторингу, керування та зв'язку все частіше використовуються на атомних електричних станціях, в системах літальних апаратів та військового застосуванні. Такі умови експлуатації характеризуються підвищеним порівняно з фоновим рівнем іонізуючого випромінювання: від 10 кГр у космічних застосуваннях до 1 ГГр в активній зоні ядерного реактора. **Проблема.** Стійкість полімерної ізоляції до дії іонізуючого випромінювання визначається на підставі механічних, теплофізичних, фізико-хімічних показників, які відображають локальні характеристики полімерної ізоляції електричних кабелів. Сучасні спеціальні радіаційно-стійкі оптичні волокна здатні працювати при дії гамма-випромінювання дози 1 МГр. Задля забезпечення механічної міцності та захисту від вологи оптичного волокна в оптичному кабелі застосовуються високоміцні конструктивні елементи та гідрофобні заповнювачі. **Мета** роботи полягає у встановленні впливу гамма-випромінювання на неекрановані кабелі з неекранованими витими парами та оптичні кабелі з визначенням динаміки змін електричних властивостей поліетиленової ізоляції провідників та механічних властивостей арамідних ниток з водозахисним покриттям відповідно. **Методика** ґрунтується на визначенні порівняно з неопроміненим станом змін електричної ємності кожного з восьми ізольованих поліетиленом провідників витих пар та механічної міцності на розтяг кевларових ниток з водозахисним компаундом в залежності від поглиненої дози гамма-випромінювання 100 кГр, 200 кГр та 300 кГр при обробці зразків електричного та оптичного кабелів в установці кобальт-60 (^{60}Co). **Наукова новизна** полягає у встановленні критерію досягнення критичного стану полімерної поліетиленової ізоляції ізольованих провідників та ефекту впливу водозахисного покриття з надвисокою поглинальною здатністю на механічну міцність арамідних ниток при дії гамма-випромінювання на зразки електричного кабелю у захисній полімерній оболонці з поліхлорвінілового пластику та оптичного кабелю у захисній оболонці на основі полімерної вогнестійкої композиції відповідно. **Практична цінність** кваліфікується діапазоном радіаційної стійкості конструктивних елементів для забезпечення експлуатаційної функціональності та ефективності кабелів бортових систем в умовах дії гамма-випромінювання. Бібл. 50, табл. 3, рис. 6.

Ключові слова: бортові системи, неекранований кабель з неекранованими витими парами, оптичний кабель, поглинена доза гамма-випромінювання, поліетиленова ізоляція, електрична ємність, арамідні нитки, водозахисний компаунд, механічна міцність на розтяг, радіаційна стійкість.

Вступ. Кабелі бортових систем, як критично важливі компоненти безпеки, відіграють вирішальну роль у підключенні різних електронних та електричних систем, включаючи радіолокаційні системи, авіоніку, навігаційне обладнання та системи озброєння [1–10]. Основним призначенням кабелів бортових систем є збір та управління даними; розподіл електроенергії з одночасною передачею даних; забезпечення надійного та безпечного зв'язку з високим рівнем завадостійкості. Кабелі на основі витих пар та оптичні все частіше використовуються для передачі в режимі реального часу сигналів моніторингу, керування, даних, зв'язку в бортових системах та на атомних електростанціях (АЕС) [1–14].

Тенденції до мініятуризації продовжують впливати на всі аспекти бортових систем. Інновації в електроізоляційних матеріалах і конструкціях кабелів роблять це можливим без втрати продуктивності системи завдяки створенню гібридних кабелів шляхом поєднання в одній конструкції електричних та оптичних.

Кабелі повинні відповідати переліку вимог, пов'язаних з функціональними характеристиками, розмірами, вагою. Експлуатаційна функціональність кабелів у бортових системах визначається стійкістю до впливу зовнішніх та внутрішніх факторів. До перших належать такі умови експлуатації кабелів, як температура, тиск, вологість повітря, наявність зовнішніх розтягувальних механічних навантажень [10], хімічна агресивність зовнішнього середовища та вплив радіації [12]. Експлуатація кабелів бортових систем характеризуються підвищеним порівняно з фоновим рівнем іонізуючого випромінювання. Так, на АЕС за нормальних умов експлуатації в умовах підвищеної температури кабелі герметичної зони зазнають постійний вплив гамма-випромінювання [13–17]. За межами радіаційного захисту реактора рівень випромінювання наближається до фонового, температура – до температури навколишнього середовища. Аерокосмічні кабелі [12] піддаються впливу сонячної радіації, включаючи інтенсивні соня-

чні спалахи. Військові кабелі (літаки, безпілотні апарати) також можуть піддаватися впливу природного та штучного випромінювання, включаючи ядерні вибухи [1, 7]. Рівні радіації можуть коливатися від 10 кГр при застосуванні кабелів у космічних застосуваннях до 1 ГГр в активній зоні ядерного реактора [17–19].

Постановка проблеми. Іонізаційні джерела енергії (поглинена доза) повністю визначають повноцінний ефект впливу на полімери, що застосовуються у якості електричної ізоляції кабелів, та оптичні кварцові волокна [20–31].

У полімерах при дії іонізуючого випромінювання протікають наступні основні процеси:

- створення хімічних зв'язків, як між макромолекулами, так і всередині них, деструкція і розпад макромолекул з виділенням газоподібних і рідинних компонентів, зміна числа і характеру подвійних зв'язків (за наявності кисню) та інших процесів [23–27];
- довгі ланцюги можуть з'єднуватися в жорсткі трьохмірні сітки (процес зшивання) або розщеплюватися на менші за розміром молекули (процес деструкції). Обидва процеси можуть відбуватися одночасно, тому при певній поглиненій дозі випромінювання кінцеві властивості і структура полімеру визначатиметься реакцією, яка домінує [23–27].

Для поліетилену у міру зростання поглиненої дози випромінювання спостерігається зростання ступеню зшивання і, одночасно, накопичуються фрагменти розпаду молекули, що у сукупності призводить до зниження механічних властивостей і руйнування матеріалу [25, 26]. Радіаційна деструкція макромолекул призводить до зниження механічної міцності, зростання (до визначеної межі) відносного видовження, розтріскування. Поверхня полімеру стає липкою. Необхідна доза для зшивання поліетилену становить (200–400) кГр [28, 29]. Радіаційна стійкість полівінілхлоридного пластику визначається допустимою поглиненою дозою гамма-випромінювання на рівні 500 кГр [28] та встановлюється, як і для багатьох

інших полімерних матеріалів, на підставі механічних, теплофізичних, фізико-хімічних показників [28–32]. Ці показники відображають опосередковані характеристики полімерної ізоляції на відміну від електричних, які є основними і носять інтегральний характер та відображають стан ізоляції кабелів в цілому.

В оптичних кабелях у найбільшій мірі розглядається вплив випромінювання окремо на оптичні волокна [33–36]. Для кварцу оптичних волокон характерні більш високі значення дози випромінювання, за якої відбувається пошкодження структури, порівняно з полімерними матеріалами [37]. Під дією гамма-променів і нейтронів у волокні відбувається іонізація молекул кварцу, міграція електронів і легуючих домішок, змінюються густини розподілу валентних електронів, утворюються іони гідроксиду OH^- з вільного водню, з'являються радіаційні центри поглинання [36]. Як наслідок, збільшуються втрати електромагнітної енергії [35], тобто знижується потужність оптичного сигналу, що розповсюджується у волокні. Радіаційно-наведені втрати електромагнітної енергії визначаються як концентрацією центрів поглинання в самій матриці на основі окисі кварцу, так і домішках (окисі германію, фосфору) [35, 36]. Ці втрати залежать від типу та енергії випромінювання, дози, часу експозиції, довжини хвилі, на якій вимірюються радіаційно-наведені втрати, температури, типу волокна та технології його виготовлення. Після закінчення дії радіаційного випромінювання оптичні волокна частково відновлюють свої вихідні властивості, зокрема, спостерігається покращення показників наведених втрат електромагнітної енергії в оптичному волокні, що зумовлено релаксацією радіаційних дефектів [38].

Слід зазначити, що радіаційний вплив не завжди є деструктивним, оскільки відомо, що спеціальні проводи та кабелі з радіаційно-зшитою полімерною ізоляцією виробляються промисловою багатьох країн та застосовуються в системах зв'язку, військовій, авіаційній та космічній техніці, електронному та комп'ютерному забезпеченні, ядерних установках тощо [15]. Разом з тим, необхідно розуміти, що досягнення позитивного радіаційно-стимульованого ефекту відбувається за сукупності узгоджених технологічних умов: швидкість набору дози, температура випромінювання, сила натягу кабелю в полі випромінювання та ін., тоді як в умовах експлуатації ці чинники є досить випадковими.

Розробляються спеціальні радіаційно-стійкі оптичні волокна на основі чистого оксиду кремнію без домішок з герметичним первинним покриттям на основі високо-насиченого лаку з вуглецем [39].

Експлуатаційна функціональність оптичного волокна у кабелях бортових систем визначається двома складовими: оптичною, яка полягає у пропускну здатності сигналу на відповідній відстані, пов'язаною зі стабільністю передавальних оптичних параметрів, та механічною, зумовленою збереженням цілісності волокна. На практиці механічна міцність на розтяг оптичного волокна діаметром 125 мкм становить приблизно 5 ГПа або 60 Н для динамічної міцності на розтяг та 3 ГПа або 40 Н для статичної міцності на розтяг [40]. Це пов'язано з втратою довговічності оптичних волокон з часом, що пояснюється зростанням тріщин Гріффітса в результаті хімічної реакції під механічним напруженням (корозія під напруженням) при розриві волокна. На зростання тріщини вплива-

ють також умови навколишнього середовища, особливо вологість, в якій знаходиться волокно.

У присутності вологи волокно руйнується, навіть якщо механічне напруження, що прикладається до нього, менше за руйнівне. Саме статична втома обмежує термін служби волокна [40, 41], яка являє собою процес повільного зростання мікронних тріщин (дефектів) внаслідок впливу вологи та розтягувальних напружень. Існує ймовірність руйнування волокна через зростання мікронних тріщин. Волога в структурі кабелю разом зі стимульованим механічним напруженням викликає процес корозії на вершині тріщини, розташованій на поверхні волокна. У цьому процесі молекули води, що потрапляють у тріщину з навколишнього середовища, активують розрив хімічних зв'язків на вершині тріщини. Це призводить до збільшення довжини тріщини під дією механічного напруження, яке прикладається до волокна. Зі збільшенням довжини тріщини збільшується концентрація напружень на її вершині та збільшується швидкість росту тріщини, що зрештою призводить до руйнування волокна: механічне напруження досягає критичного значення. Тому механічні властивості оптичних волокон є найважливішими характеристиками, що визначають можливість їх практичного використання в бортових системах. Для підвищення механічної міцності та забезпечення експлуатаційної функціональності оптичного волокна в конструкціях кабелів застосовуються спеціальні силові елементи та гідрофобні матеріали. Ці конструктивні елементи та матеріали для захисту від вологи оптичного волокна також піддаються значним впливам, зокрема радіаційним, зі зміною властивостей, зокрема механічних.

В будь-якому разі залишаються невисвітленими питання щодо впливу іонізуючого випромінювання не тільки на електроізоляційні матеріали [27, 30, 42, 43] та оптичне волокно окремо [34–36], а в цілому на кабелі бортових систем. Саме такий підхід дозволяє врахувати інтегральний характер впливу складних фізико-хімічних процесів під дією гамма-випромінювання на електричні показники електричних кабелів та механічну міцність оптичних кабелів.

Мета роботи полягає у встановленні впливу гамма-випромінювання на неекрановані кабелі з неекранованими витими парами та оптичні кабелі з визначенням динаміки змін електричних властивостей поліетиленової ізоляції провідників та механічних властивостей арамідних ниток з водозахисним покриттям відповідно.

Тестові зразки кабелів бортових систем. Досліджено два типи кабелів:

1. Електричний – неекранований кабель з чотирма неекранованими витими парами категорії 5е. Електрична ізоляція мідних провідників виконана на основі поліетилену, захисна полімерна оболонка – з пластику на основі полівінілхлориду. Зовнішній діаметр кабелю – 5,1 мм. Кабель призначено для передачі сигналів в діапазоні частоти до 125 МГц.

2. Оптичний кабель з одномодовим оптичним волокном у щільному двошаровому покритті. Серцевина та світловідбиваюча оболонка волокна діаметром 125 мкм – на основі кварцу. Буферне первинне полімерне покриття товщини 62,5 мкм – на основі кремнійорганічного лаку ультрафіолетового твердіння для забезпечення механічної цілісності оптичного волокна. Другий шар покриття товщини 325,5 мкм – на основі термопла-

стичного кремнійорганічного компаунду з верхнім прошарком товщини 15 мкм синього кольору. В конструкції кабелю силовий елемент являє собою дві пасмо арамідних ниток на основі кевлару (органічного волокна з серії ароматичних поліамідів) [44] для підвищення механічної міцності з нанесеним водозахисним компаундом для захисту від вологи оптичного волокна. Лінійна щільність кожної пасмо ниток – 805 текс [текс – лінійна щільність: 1 текс = 1 г/км]. Кожна пасмо складається з 5-ти ниток лінійної щільності 161 текс. Оболонка кабелю виконана на основі полімерної вогнестійкої композиції оранжевого кольору. Загальний діаметр кабелю – 2,8 мм.

У табл. 1 наведено порівняльні властивості механічних характеристик ниток Kevlar® виробництва фірми DuPont та інших матеріалів.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз механічних та теплових властивостей матеріалів силових елементів оптичних кабелів [44]

Матеріал силового елемента	Густина, кг/м ³	Міцність на розрив σ , 10 ⁹ , Па	Модуль Юнга E , 10 ⁹ , Па	Відносне видовження ε , %	Коефіцієнт теплового розширення (у поздовжньому напрямку), 10 ⁻⁶ , К ⁻¹
Kevlar 49	1439.35	3.0	112.4	2.4	-2.2
S-скло	2491.19	3.45	85.5	5.4	+1.7
Сталевий стрижень	7750.37	1.96	199.9	2.0	+3.7
Високоміцний вуглець	1799.19	3.1	220.6	1.4	-0.1

Представлені матеріали можуть бути використані у якості силових елементів оптичних кабелів бортових систем. Унікальні властивості відрізняють Kevlar® від інших комерційних штучних ниток завдяки поєднанню високої механічної міцності, високого модуля пружності, ударної в'язкості, термостабільності з високим значенням від'ємного коефіцієнту теплового розширення [44].

Завдяки застосуванню кевларових ниток з водозахисним компаундом вдається забезпечити стійкість до зусиль, що розтягують, оптичний кабель бортових систем довжини 50 км при роботі оптичного волокна на робочій довжині хвилі 1,31 мкм.

Процедура радіаційного опромінення. Зразки у кількості по 15 відрізків довжини 5 м кожний з однієї бухти електричного та оптичного кабелів відповідно поміщено в поліетиленовий контейнер задля обробки в установці гамма-випромінення кобальт-60 (Co⁶⁰). Потужність експозиційної дози випромінення становила 207 Р/хв. Час обробки зразків кабелів визначався поглиненою дозою. Для кожної партії з 5-ти зразків кабелів поглинена доза гамма-випромінення становила 100 кГр, 200 кГр і 300 кГр відповідно. Рівномірність розподілу дози при опроміненні матеріалу з енергією гамма-квантів 1,17 МеВ та 1,33 МеВ, випромінювання яких супроводжується розпадом ізотопу Co⁶⁰, забезпечувалась вибором його еквівалентної товщини не більше 20 мм [45]: діаметри електричного та оптичного кабелів не перевищують значення еквівалентної товщини.

В початковому стані та після дії опромінення проведено дослідження щодо впливу дози випромінення на електричні і механічні властивості електричного та оптичного кабелів відповідно. На всіх етапах дослідження кабелі знаходилися в не герметизованому стані

задля зменшення впливу легколетких речовин на результати аналізу. Ці речовини, що накопичувалися у вільному просторі осердя кабелів, за рахунок дифузії виходили назовні кабелів.

Чисельний розрахунок електричного поля та ємності ізольованих провідників неекранованого кабелю в полімерній захисній оболонці. Для електричних кабелів електрична ємність є найбільш чутливим електричним параметром щодо оцінки впливу радіації на тверду полімерну ізоляцію [46] з урахуванням впливу складних фізико-хімічних процесів у конструктивних елементах, у тому числі і полімерної захисної оболонки.

Обґрунтування схеми обстеження щодо контролю електричної ємності твердої полімерної ізоляції провідників неекранованого кабелю з чотирма витими парами у полімерній оболонці виконано на підставі чисельного моделювання плоско-паралельного електростатичного поля методом вторинних джерел [46, 47]. Метод ґрунтується на суперпозиції електричних полів елементарних електричних зарядів, розташованих у вакуумі.

На рис. 1,а представлено фізичну модель неекранованого кабелю з чотирма неекранованими витими парами. Цифрами позначено: від 1 до 8 – провідники, 1' – 8' – полімерна ізоляція.

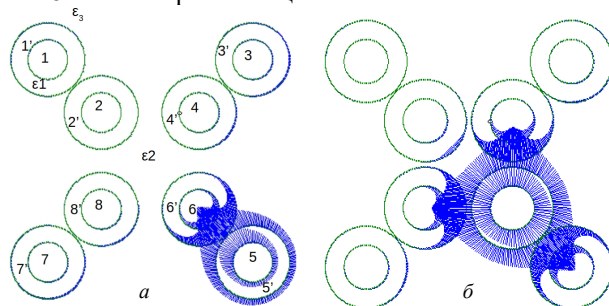


Рис. 1. Фізична модель неекранованого кабелю з чотирма неекранованими витими парами (а) та картина ліній нормальної складової напруженості зондувального електричного поля (б) за умови знаходження під потенціалом одного з провідників та нульовому потенціалі всіх інших

У моделі нехтується гвинтова поверхня скручених витих пар, що забезпечує плоско-паралельне електричне поле у поперечному перерізі кабелю. Поверхні провідників та ізоляції провідників прийнято круговими циліндричними, що узгоджується з межами поділу середовищ у вихідній задачі. Враховано відмінність діелектричних властивостей конструктивних елементів кабелю: діелектрична проникність поліетиленової ізоляції провідників дорівнює $\varepsilon_1=2,3$; міжфазного повітряного середовища $\varepsilon_2=1$; захисної полімерної оболонки $\varepsilon_3=4,5$. Кабель розташований у повітряному середовищі з діелектричною проникністю $\varepsilon=1$.

Задля реалізації методу вторинних джерел здійснюється перехід від розрахунку електричного поля у вихідній задачі до розрахунку електричного поля у вакуумі. Для цього замість зв'язаних зарядів на поверхнях поділу середовищ вихідної задачі розташовуються у вакуумі (на нескінченно тонкій поверхні S тієї ж форми, що і межа поділу середовищ вихідної задачі) вільні вторинні електричні заряди.

Розрахункова поверхнева густина σ (Кл/м²) цих вторинних зарядів повинна задовольняти двом умовам:

- 1) на поверхнях, що відображають провідники (електроди), повинні досягатися задані потенціали U_i ;
- 2) на поверхнях, що відображають межі поділу діелектричних середовищ, повинна виконуватись

умова рівності нормальних складових вектора електричного зміщення:

$$\varepsilon_2 \cdot \left(E_n - \frac{\sigma_i}{2\varepsilon_0} \right) = \varepsilon_1 \cdot \left(E_n + \frac{\sigma_i}{2\varepsilon_0} \right), \quad (1)$$

де E_n – нормальна складова напруженості електричного поля в точці i , створена всіма зарядами, крім того, що розташований у цій точці на нескінченно малій поверхні ΔS ; $\sigma_i/(2\varepsilon_0)$ – нормальна складова напруженості електричного поля у точці i , створена саме зарядом, розташованим у цій точці на нескінченно малій поверхні ΔS ; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала.

Перша та друга умови записуються у вигляді інтегральних рівнянь Фредгольма першого (2) та другого (3) роду відповідно:

$$\frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \int_0^L \sigma_j \cdot \ln \left(\frac{r_{0j}}{r_{ij}} \right) \cdot dl_j = U_i; \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_i}{2\varepsilon_0} - \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \cdot \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \int_{S-\Delta S} \sigma_j \cdot \frac{\cos(\vec{r}_{ij}, \vec{n}_i)}{r_{ij}} \cdot dl_j = 0, \quad (3)$$

де i – номер вузла, де шукаються характеристики електричного поля; j – номер вузла, в якому розташовано заряд; r_{ij} – відстань між точками i і j ; r_{0j} – відстань від точки j до точки O , потенціал якої можна прийняти нульовим ($r_{0j} = 1$ м для моделей, поперечний розмір яких лежить у сантиметровому діапазоні, що справедливо для моделі нескранованого кабелю з чотирма витими парами); σ_j – густина вторинного заряду в точці j ; dl_j – довжина нескінченно малої ділянки з центром в точці j ; $\cos(\vec{r}_{ij}, \vec{n}_i)$ – косинус кута між векторами $\vec{r}_{ij}$ та $\vec{n}_i$ – вектором нормалі до межі поділу середовищ у точці i .

Тільки в такому випадку електричне поле розрахункової моделі буде ідентичне полю вихідній задачі. Розрахунок електричного поля зводиться до розв'язання складової системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), до яких зводяться (2) та (3). На підставі чисельного розв'язання такої СЛАР визначаються розрахункова поверхнева густина (у вакуумі) вторинних зарядів та напруженість електричного поля:

$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_0}$ – для поверхонь провідників (електродів),

$E_i = \frac{\sigma_i}{2\varepsilon_0} \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$ – для межі поділу діелектричних се-

редовищ (нормальна складова напруженості електричного поля зі сторони додатного напрямку нормалі), де $\alpha = -\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ – параметр, пов'язаний з діелектричними

проникностями суміжних середовищ при орієнтації вектора нормалі з середовища з діелектричною проникністю ε_1 (поліетиленова ізоляція) в середовище з ε_2 (міжфазне повітряне середовище).

Фактична густина σ'_i поверхневих зарядів на поверхнях ізолюваних діелектриком з діелектричною проникністю ε_1 провідників більше у ε_1 разів

$$\sigma' = \varepsilon_1 \cdot \sigma,$$

що враховується при визначенні загального заряду кожної ізолюваної жили і електричної ємності за умови заданих потенціалів провідників.

На рис. 1–4 представлено картини електричного поля у вигляді ліній для нормальної складової напруженості електричного поля на поверхні провідників та межі

поділу діелектричних середовищ в залежності від схеми обстеження за умови прикладання потенціалу 1 В до:

- одного провідника та знаходженні інших семи під нульовим потенціалом (рис. 1, б);
- двох провідників та знаходженні інших шести під нульовим потенціалом (рис. 2),
- трьох провідників та знаходженні інших п'яти під нульовим потенціалом (рис. 3);
- чотирьох провідників та знаходженні інших чотирьох під нульовим потенціалом (рис. 4).

Точками показано вузли на поверхні провідників (1–8) та ізоляції (1'–8') з шуканими значеннями густини поверхневих зарядів та напруженості електричного поля в розрахунковій моделі нескранованого кабелю з чотирма нескранованими витими парами.

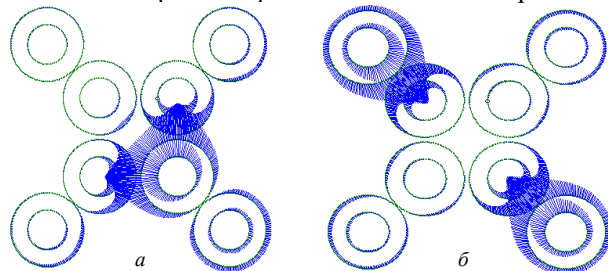


Рис. 2. Візуалізація нормальної складової напруженості зондувального електричного поля за умови знаходження двох ізолюваних провідників 5 та 6 (а) і 1 та 6 (б) під потенціалом 1 В

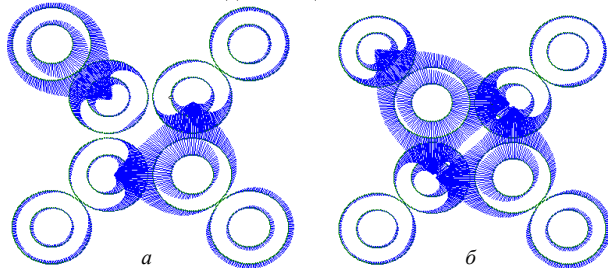


Рис. 3. Візуалізація нормальної складової напруженості зондувального електричного поля за умови знаходження трьох ізолюваних провідників 1, 5 та 6 (а) і 2, 5 та 6 (б) під потенціалом 1 В

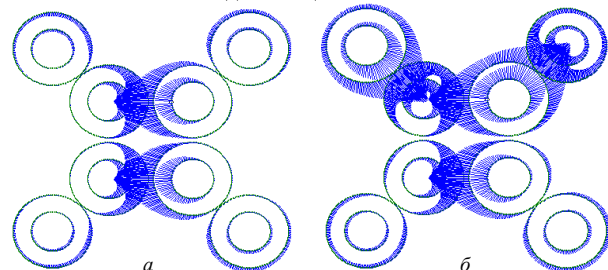


Рис. 4. Візуалізація нормальної складової напруженості зондувального електричного поля за умови знаходження чотирьох ізолюваних провідників 3, 4, 5 та 6 (а) і 1, 4, 6 та 7 (б) під потенціалом 1 В

Для представлених схем обстеження (рис. 1–4) зондувальне електричне поле зосереджується як в твердій поліетиленовій ізоляції, так і міжфазному просторі ізолюваних провідників, що дозволяє визначити сукупні C_S та часткові C_{part} електричні ємності ізоляційних проміжків на підставі визначення фактичної густини σ' поверхневих зарядів та загального заряду кожного ізолюваного провідника за умови заданого потенціалу.

Так, наприклад, за умови прикладання потенціалу 1 В до провідника 5 та нульового потенціалу до семи інших

провідників (рис. 1,а) часткові ємності C_{5-1} , C_{5-2} , C_{5-3} , C_{5-4} , C_{5-6} , C_{5-7} , C_{5-8} ізоляційних проміжків між провідниками 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-6, 5-7 та 5-8 включено паралельно та визначають сукупну ємність C_{5S} провідника 5:

$$C_{5S} = C_{5-1} + C_{5-2} + C_{5-3} + C_{5-4} + C_{5-6} + C_{5-7} + C_{5-8}.$$

За умови знаходження двох ізольованих провідників 5 та 6 (рис. 2,а) під потенціалом 1 В та 6-и інших під нульовим потенціалом часткові ємності ізоляційних проміжків між провідниками 5,6-1, 5,6-2, 5,6-3, 5,6-4, 5,6-7 та 5,6-8 включено паралельно та визначають сукупну ємність провідників 5 та 6 відповідно:

$$C_{5S} + C_{6S} = C_{5,6-1} + C_{5,6-2} + C_{5,6-3} + C_{5,6-4} + C_{5,6-7} + C_{5,6-8}.$$

Схему обстеження за умови подачі потенціалу 1 В на один з провідників та нульового на інші сім можна записати у двійковій системі. Наприклад, при знаходженні під потенціалом 1 В провідника 5 відповідний код має вигляд: 00001000 (рис. 1,а). Для провідника 6 – 00000100 (рис. 1,б).

У табл. 2 наведено окремі результати визначення електричної ємності провідників в залежності від коду обстеження відповідно до рис. 1–4.

Таблиця 2

Електрична ємність ізольованих провідників нескраних витих пар нескраних кабелю

Код обстеження	Електрична ємність ізольованого провідника C , пФ/м							
	1	2	3	4	5	6	7	8
00001000	1.041	0.263	1.972	3.712	43.13	29.06	3.706	1.974
00000100	0.223	2.494	2.061	20.58	28.10	76.31	2.059	20.58
00001100	1.363	2.717	6.285	22.64	15.26	48.20	6.281	22.63
10000100	42.21	28.32	8.445	4.120	28.30	42.17	8.439	4.119
10001100	41.95	30.79	10.51	24.70	47.98	14.11	10.49	24.69
01001100	29.44	73.55	8.345	43.21	15.03	45.71	8.339	43.20
00111100	7.644	25.35	8.966	25.56	8.966	25.56	7.644	25.35
10010110	39.89	51.13	38.60	51.16	12.05	27.19	10.72	27.39

Відмінність між значеннями сукупної ємності та частковими за схемою обстеження 00001000 становить 2,9 %, за схемою обстеження 00001100 – 2,5 %.

Навіть за однакової схеми обстеження електричні ємності провідників у кабелі з різною орієнтацією витих пар – різні за причини різної конфігурації електричного поля та відстані між ізольованими провідниками (порівняйте рис. 1,а та рис.1,б). Для ідеальної розрахункової моделі кабелю з чотирма витими парами, що скручені з однаковими кроками скрутки (рис. 1), за умови знаходження одного з провідників під потенціалом, а всіх інших семи під нульовим, існує тільки дві схеми, за якої ємності ізольованих провідників з урахуванням впливу поруч розташованих відрізняються одне від одного (див. табл. 1). Значення електричної ємності за кодами обстеження 00000100 та 00001000 відрізняється у $76.31/43.13=1,7693$ рази.

Для наступних схем обстеження, а саме: два провідника – відносно шести; три провідника – відносно п'яти; чотири провідника – відносно чотирьох, існує чотири основні схеми обстеження. Всі інші – інверсні. Порівняння результатів чисельних розрахунків електричної ємності для основних з інверсними відрізняються на 0,4 %, що свідчить про високу точність чисельного розрахунку електричного поля та визначення на його підставі електричної ємності провідників.

На практиці чотири пари кабелю скручені з різними кроками задля підвищення завадостійкості при

передачі цифрових сигналів. Полімерна захисна оболонка на основі полярного пластику щільно накладено на осердя скручених витих пар. Це обумовлює більш складну конфігурацію поля за будь-якої схеми прикладання потенціалу до провідників та виконання повного набору схем обстеження. У першу чергу, для визначення динаміки змінення електричної ємності, тобто властивостей саме твердої ізоляції кожного провідника за схемою обстеження кожний з 8-и провідників під прикладеним потенціалом – відносно всіх інших сьома під нульовим потенціалом (див. рис. 1, табл. 2). В такому випадку зондувальне електричне поле зосереджується переважно в твердій полімерній ізоляції кожного з 8-и провідників (див. рис. 1). Така схема обстеження забезпечує контроль індивідуальних електричних властивостей твердої полімерної ізоляції провідників і повинна бути реалізована на практиці. В реальній конструкції кабелю за такої схеми обстеження електричні ємності провідників в початковому неопромінену стані відрізняються не більше ніж на 4 %, що вимагає високої точності контролю електричних параметрів.

Динаміка змінення електричної ємності ізольованих провідників в залежності від поглиненої дози гамма-випромінювання зразками кабелю. Контроль електричної ємності зразків електричних кабелів у початковому стані та після поглиненої дози випромінювання 100, 200 та 300 кГр проведено для чотирьох значень частоти 0,1; 1; 10 і 1 000 кГц за допомогою приладів з двома клемами відповідно. У діапазоні частоти від 0,1 до 10 кГц вимірювання виконано в режимі 10-ти кратного накопичення результатів з автоматичним їх усередненням задля підвищення точності контролю. Загальна кількість вимірювань для кожного зразка складала 241 вимірювання до і після впливу радіації. Результати вимірювань кожного з п'яти зразків в початковому стані та після відповідної дози випромінювання усереднено.

На рис. 5 представлено динаміку змінення електричної ємності ізольованих провідників в залежності від поглиненої дози гамма-випромінювання за різних значень частоти. Криві 1 відповідають значенням ємності провідників в початковому стані до дії гамма-випромінювання. Криві 2 – за поглиненої дози випромінювання 100, 200 та 300 кГр відповідно.

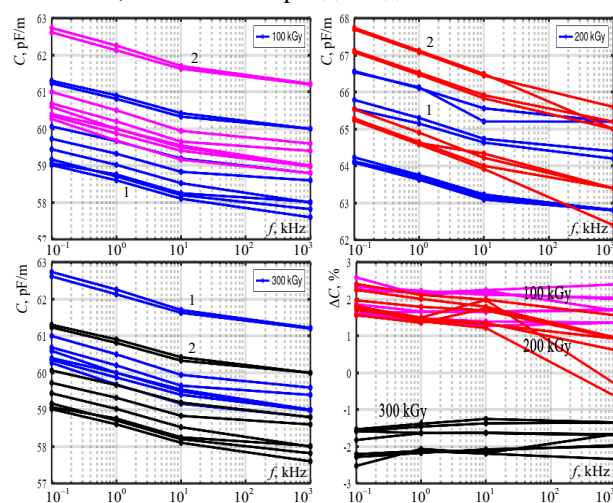


Рис. 5. Порівняльний аналіз динаміки змінення експериментальних частотних залежностей електричної ємності ізольованих поліетиленових провідників до та після гамма-випромінювання зразків кабелю з витими парами

В табл. 3 наведено визначені коефіцієнти парної лінійної кореляції між ємністю ізолюваних провідників кабелю з витими парами в опромінену та неопромінену станах для різних значень частоти відповідно до рис. 5. Додатні коефіцієнти кореляції Пірсона свідчать про наявність суттєвого прямого зв'язку між ємністю провідників в опромінену та неопромінену станах: найбільші значення на рівні 0,99 спостерігаються в діапазоні частоти від 0,1 кГц до 10 кГц при опроміненні дозою 200 кГр.

Таблиця 3

Коефіцієнти парної кореляції Пірсона між електричною ємністю ізолюваних провідників

Частота, кГц			
0.1	1	100	1000
Коефіцієнт парної кореляції між значеннями електричної ємності ізолюваних провідників в опромінену стані відносно неопроміненого стану			
1-2	3-4	5-6	7-8
При дії гамма-випромінювання дозою 100 кГр			
0.9725	0.9780	0.9705	0.9829
0.9777	0.9822	0.9755	0.9857
0.9762	0.9809	0.9740	0.9846
0.9721	0.9722	0.9653	0.9653
При дії гамма-випромінювання дозою 200 кГр			
0.9866	0.9858	0.9870	0.9207
0.9875	0.9866	0.9864	0.9178
0.9866	0.9861	0.9864	0.9390
0.9887	0.9877	0.9846	0.9164
При дії гамма-випромінювання дозою 300 кГр			
0.9725	0.9777	0.9762	0.9721
0.9780	0.9822	0.9809	0.9722
0.9705	0.9755	0.9740	0.9653
0.9829	0.9857	0.9846	0.9788

На рис. 5 також показано вплив дози випромінювання на відносне значення ΔC електричної ємності в опромінену стані до ємності в початковому неопромінену стані зразків кабелів (нижній рисунок, праворуч). Відносне значення електричної ємності визначено як: $\Delta C = (C_\gamma - C_0) / C_0 \cdot 100, \%$, де C_0 – електрична ємність провідників в початковому, до дії гамма-випромінювання, стані; C_γ – електрична ємність провідників при дії гамма-випромінювання.

За поглиненої дози випромінювання 100 кГр та 200 кГр відносне значення ємності – додатне, що свідчить про процес зшивання термопластичної поліетиленової ізоляції. За дози випромінювання до 100 кГр відбувається зшивання поліетиленової ізоляції з утворенням поперекових міжмолекулярних зв'язків. Цей процес обумовлює зростання густини полімеру і, як наслідок, зростання діелектричної проникності, тобто електричної ємності ізолюваних провідників. В той же час дисперсія електричної ємності – залежність електричної ємності від частоти, яка визначається різницею значень ємності для частоти 0,1 кГц та 1 МГц, у більшій мірі спостерігається за поглиненої дози 200 кГр (див. рис. 5). При цій дозі випромінювання починається процес інтенсивної деструкції полімерної ізоляції з додатковим зшиванням структури, що підвищує теплову стійкість ізоляції [48]. Деструкція призводить до утворення у структурі поліетиленової ізоляції полімерних ланцюгів меншої довжини, що обумовлює прояв процесу їх поляризації у низькочастотному діапазоні частоти. Це відповідає гіпотезі уповільненої дипольно-сегментальної поляризації полімерів, яка виявля-

ється саме у діапазоні частоти проведених експериментальних досліджень. Іншими словами, за поглиненої дози випромінювання більше 200 кГр процеси деструкції домінують над процесом зшивання полімерної ізоляції. Для дози випромінювання 300 кГр відносне значення ємності змінюється на протилежне та стає від'ємним (див. рис. 5). Спостерігається зменшення густини поліетиленової ізоляції і, як наслідок, зменшення ємності ізолюваних провідників (див. рис. 5).

Визначення механічної міцності арамідних ниток оптичного кабелю. Механічні показники є найбільш прийнятними для оцінки ефекту впливу радіаційного випромінювання на захисні елементи кабелів та широко використовуються, наприклад, при діагностиці захисних оболонок електричних кабелів. До них належать такі показники [42, 43].

1) Відносне видовження при розриві – основний показник якості полімерної ізоляції кабелів та оптичного волокна. Ресурс полімерної ізоляції кабелів добре корелює зі значенням видовження при розриві. Значення видовження при розриві становлять (400 – 500) % для нової поліетиленової ізоляції та лише 50 % для зістареної: за таких значень видовження ресурс поліетиленової ізоляції вважається вичерпаним [49].

2) Модуль пружності ізоляції при крученні – показник, альтернативний видовженню при розриві.

3) Модуль пружності при вдавлюванні. Це найпростіший спосіб оцінки стану оболонок кабелів. Ці показники не підходять для оцінки стану силових елементів оптичних кабелів через їхню конструкцію.

Оцінка впливу гамма-випромінювання на силовий елемент з кевларових ниток, просочених водозахисним компаундом, виконано на підставі визначення механічної міцності на розтяг. Випробування проведено відповідно до стандарту ASTM D7269/D7269M-2 «Стандартні методи випробувань на розтяг арамідної пряжі». ASTM D7269 – міжнародний стандарт випробувань для визначення міцності на розтяг арамідної пряжі, кордів, скручених з такої пряжі, та тканин, витканих з таких кордів.

Стандарт ASTM D7269 охоплює кілька варіантів процедур випробування арамідної пряжі та волокон кевларового типу. Це випробування виконано за допомогою машини для випробування на розтяг. Машина являє собою механічно-електричну інтеграцію та складається з датчика сили, передавача, мікропроцесора та механізму приводу навантаження. Високоточний електронний двигун можна регулювати на п'ять швидкостей, а компоненти з'єднуються штекерами. Вимірювання розривного навантаження виконано з постійною швидкістю рухомого затискача з маятником. Губки затискачів плоскі з прокладкою задля уникнення ковзання та зачіпання ниток під час випробувань. Випробування проведено на не скручених нитках. Номінальна відстань між затискачами (довжина зразків ниток) – 200 мм. Швидкість затискання – 250 мм/хв. Попередній натяг ниток – (20 ± 2) мН/текс. Фактичне розривне навантаження при обриві нитки приймається як середнє арифметичне п'яти результатів випробувань у неопромінену стані та після кожної поглиненої дози випромінювання зразків оптичного кабелю відповідно.

Вплив поглиненої дози гамма-випромінювання на механічну міцність на розтяг високоміцних ниток з водозахисним компаундом оптичних кабелів. Безпосередньо самі нитки кевлару доводять високу радіацій-

ну стійкість при дії опромінення прискореними електронами [44]. На рис. 6 крива 1 підтверджують високі механічні властивості для ниток Kevlar® 49 [44]: спостерігається незначне на 7 % збільшення відносно початкового, неопроміненого стану, механічної міцності на розтяг при поглиненій дозі до 2000 кГр [44].

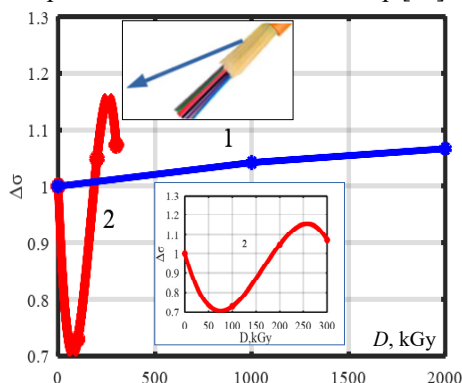


Рис. 6. Динаміка зміння механічної міцності на розтяг арамідних ниток Kevlar® 49 за умови опромінення прискореними електронами (крива 1) [44] та арамідних ниток на основі кевлару, просочених водозахисною емульсією, за умови дії гамма-випромінювання на зразки оптичного кабелю

Опромінення зразків оптичного кабелю з кевларовими нитками, просоченими водозахисною емульсією, доводять суттєвий вплив поглиненої дози гамма-випромінювання на механічну міцність опромінених зразків порівняно з механічною міцністю неопромінених. Крива 2 на рис. 6 відповідає експериментальній залежності механічної міцності на розтяг високоміцних ниток на основі кевлару з водозахисним компаундом, вилучених із зразків оптичного кабелю, опромінених дозою 100, 200 та 300 кГр. Точки на кривій 2 – результат усереднення значень механічної міцності. Плавна крива 2 є поліноміальним наближенням поліномом 5-го порядку [50].

У розглянутому діапазоні поглиненої дози гамма-випромінювання спостерігається характерне зменшення механічної міцності на розтяг на 30 % за дози 75 кГр та збільшення на 11,5 % за дози близько 250 кГр відносно початкового неопроміненого стану. Зниження механічної міцності арамідних ниток спостерігається за причини впливу водозахисного адсорбенту. Під дією радіації відбувається додаткова полімеризація водно-масляної емульсії полімерів з надвисокою поглинальною здатністю. Це призводить до її усадки, що зумовлює сильний ефект впливу на механічну міцність арамідних ниток. За більших значень поглиненої дози випромінювання вплив водно-масляної емульсії полімерів з надвисокою поглинальною здатністю зменшується. У цьому випадку спостерігаються процеси безпосереднього впливу гамма-випромінювання на арамідні нитки зі збільшенням їх механічної міцності: простежується процес радіаційного зшивання органічного волокна на основі ароматичних поліамідів.

Висновки.

1. На підставі чисельного моделювання електростатичного поля у неекранованому електричному кабелі з різною орієнтацією чотирьох неекранованих витих пар обґрунтовано схему обстеження задля контролю індивідуальних електричних властивостей твердої полімерної ізоляції ізолюваних провідників.

2. Експериментальними дослідженнями доведено вплив поглиненої дози 100 кГр, 200 кГр та 300 кГр

гамма-випромінювання на процеси зшивання та деструкції поліетиленової ізоляції зразків неекранованого електричного кабелю. Це опосередковано підтверджено динамікою зміння електричної ємності ізолюваних провідників неекранованих чотирьох витих пар за схемою обстеження кожний ізолюваний провідник під потенціалом – проти всіх сьома інших під нульовим потенціалом.

3. Запропоновано критерій досягнення критичного стану полімерної поліетиленової ізоляції ізолюваних провідників за умови дії гамма-випромінювання кабелів. Критерій ґрунтується на змінні знаку відносної електричної ємності ізолюваних провідників в опроміненому стані до неопроміненого стану кабелів бортових систем. В діапазоні поглиненої дози гамма-випромінювання від 100 кГр до 200 кГр (в діапазоні частоти від 0,1 кГц до 10 кГц) відносна електрична ємність має додатний знак. При поглиненій дозі 300 кГр – від’ємний знак.

4. Експериментально доведено синергетичний ефект впливу водозахисного адсорбенту на механічну міцність арамідних ниток силового елементу при дії гамма-випромінювання на зразки оптичного кабелю бортових систем. В діапазоні поглиненої дози випромінювання до 175 кГр спостерігається зменшення механічної міцності на розтяг арамідних ниток, що обумовлено впливом саме адсорбенту. При дозі гамма-випромінювання більше 175 кГр вплив адсорбенту зменшується. Ефект радіаційного зміцнення механічної міцності арамідних ниток на 11,5 % відносно неопроміненого стану помічається при поглиненій дозі 250 кГр.

5. Проведені експериментальні дослідження надають підстави підвищити радіаційну стійкість конструктивних елементів та в цілому ефективність експлуатації електричних та оптичних кабелів бортових систем в умовах дії гамма-випромінювання.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sahoo S., Zhao X., Kyprianidis K. A Review of Concepts, Benefits, and Challenges for Future Electrical Propulsion-Based Aircraft. *Aerospace*, 2020, vol. 7, no. 4, art. no. 44. doi: <https://doi.org/10.3390/aerospace7040044>.
2. Aretskin-Hariton E., Schnulo S.L., Hendricks E.S., Chapman J.W. Electrical Cable Design for Urban Air Mobility. *American Institute of Aeronautics and Astronautics. Aerospace Research Central*. January 2020. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2020-0014>.
3. Bode I. Emergent Normativity: Communities of Practice, Technology, and Lethal Autonomous Weapon Systems. *Global Studies Quarterly*, 2024, vol. 4, no. 1, pp. 1-11. doi: <https://doi.org/10.1093/isagqs/ksad073>.
4. Dorczuk M. Modern weapon systems equipped with stabilization systems: division, development objectives, and research problems. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 2020, vol. 197, no. 3, pp. 651-659. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3959>.
5. Borghei M., Ghassemi M. Insulation Materials and Systems for More- and All-Electric Aircraft: A Review Identifying Challenges and Future Research Needs. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 1930-1953. doi: <https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3050269>.
6. *Fiber Optic Cable In Military Application Market Analysis, Size, and Forecast 2025-2029: North America (US and Canada), Europe (France, Germany, Russia, UK), Middle East and Africa, APAC (China, India, Japan, South Korea), South America, and Rest of World (ROW)*. Report. 2025, 222 p. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/military-fibre-optic-cables-market> (Accessed 27 May 2025).
7. Brunelle R., Pegge C. A history of avionic fiber optic cable development and future requirements. *IEEE Conference Avionics Fiber-Optics and Photonics*, 2005, pp. 1-2. doi: <https://doi.org/10.1109/AVFOP.2005.1514127>.

8. Patel H.K., Shah S.S. Detailed analysis of fiber optic networks and its benefits in defense applications. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 2015, vol. 6, no. 2, pp. 01-08. Available at: https://iaeme.com/Home/article_id/IJARET_06_02_001 (Accessed 27 May 2025).
9. Ruffin P.B. A review of fiber optics technology for military applications. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2000, vol. 10299, pp. 1-24, art. no. 1029902. doi: <https://doi.org/10.1117/12.419796>.
10. Kyselak M., Vavra J., Slavicek K., Grenar D., Hudcova L. Long Distance Military Fiber-Optic Polarization Sensor Improved by an Optical Amplifier. *Electronics*, 2023, vol. 12, no. 7, art. no. 1740. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12071740>.
11. Marques C., Leal-Júnior A., Kumar S. Multifunctional Integration of Optical Fibers and Nanomaterials for Aircraft Systems. *Materials*, 2023, vol. 16, no. 4, art. no. 1433. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16041433>.
12. Rovera A., Tancau A., Boetti N., Dalla Vedova M.D.L., Maggiore P., Janner D. Fiber Optic Sensors for Harsh and High Radiation Environments in Aerospace Applications. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 5, art. no. 2512. doi: <https://doi.org/10.3390/s23052512>.
13. Lee H.-K., Choo J., Shin G., Kim J. Long-Reach DWDM-Passive Optical Fiber Sensor Network for Water Level Monitoring of Spent Fuel Pool in Nuclear Power Plant. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 15, art. no. 4218. doi: <https://doi.org/10.3390/s20154218>.
14. Esposito F., Stancalie A., Campopiano S., Iadicicco A. Editorial to the Special Issue Optical Fiber Sensors in Radiation Environments. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 22, art. no. 9117. doi: <https://doi.org/10.3390/s23229117>.
15. Nexans. *Nuclear industry Cable Applications. A practical guide*. 2016, 24 p.
16. Šaršounová Z., Plaček V., Prajzler V., Masopustová K., Havránek P. Influence of Optic Cable Construction Parts on Recovery Process after Gamma Irradiation. *Energies*, 2022, vol. 15, no. 2, art. no. 599. doi: <https://doi.org/10.3390/en15020599>.
17. Cheymol G., Maurin L., Remy L., Arounassalame V., Maskrot H., Rougeault S., Dauvois V., Le Tuteur P., Huot N., Ouerdane Y., Ferdinand P. Irradiation Tests of Optical Fibers and Cables Devoted to Corium Monitoring in Case of a Severe Accident in a Nuclear Power Plant. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2020, vol. 67, no. 4, pp. 669-678. doi: <https://doi.org/10.1109/TNS.2020.2978795>.
18. London Y., Sharma K., Diamandi H., Hen M., Bashan G., Zehavi E., Zilberman S., Berkovic G., Zentner A., Mayoni M., Stolov A., Kalina M., Kleinerman O., Shafir E., Zadok A. Opto-Mechanical Fiber Sensing of Gamma Radiation. *Journal of Lightwave Technology*, 2021, vol. 39, no. 20, pp. 6637-6645. doi: <https://doi.org/10.1109/JLT.2021.3102698>.
19. Francesca D.Di, Brugger M., Vecchi G.L., Girard S., Morana A., Reghioua I., Alessi A., Hoehr C., Robin T., Kadi Y. Qualification and Calibration of Single-Mode Phosphosilicate Optical Fiber for Dosimetry at CERN. *Journal of Lightwave Technology*, 2019, vol. 37, no. 18, pp. 4643-4649. doi: <https://doi.org/10.1109/JLT.2019.2915510>.
20. Naikvadi A.T., Sharma B.K., Bhatt K.D., Mahanwar P.A. Gamma Radiation Processed Polymeric Materials for High Performance Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 2022, vol. 10, art. no. 837111. doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.837111>.
21. Drobny J.G. *Radiation Technology for Polymers*. Boca Raton, CRC Press, 2021, 338 p. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429201196>.
22. *Radiation Technologies and Applications in Materials Science*. Edited by Subhendu Ray Chowdhury. Boca Raton, CRC Press, 2022, 416 p. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003321910>.
23. Tamada M. Radiation Processing of Polymers and Its Applications. *Radiation Applications*, 2018, pp. 63-80. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7350-2_8.
24. Ashfaq A., Clochard M.-C., Coqueret X., Dispenza C., Driscoll M.S., Ulański P., Al-Sheikhly M. Polymerization Reactions and Modifications of Polymers by Ionizing Radiation. *Polymers*, 2020, vol. 12, no. 12, art. no. 2877. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12122877>.
25. Azevedo A.M.de, da Silveira P.H.P.M., Lopes T.J., da Costa O.L.B., Monteiro S.N., Veiga-Júnior V.F., Silveira P.C.R., Cardoso D.D., Figueiredo A.B.-H. da S. Ionizing Radiation and Its Effects on Thermoplastic Polymers: An Overview. *Polymers*, 2025, vol. 17, no. 8, art. no. 1110. doi: <https://doi.org/10.3390/polym17081110>.
26. Barlow A., Biggs J.W., Meeks L.A. Radiation processing of polyethylene. *Radiation Physics and Chemistry*, 1981, vol. 18, no. 1-2, pp. 267-280. doi: [https://doi.org/10.1016/0146-5724\(81\)90080-7](https://doi.org/10.1016/0146-5724(81)90080-7).
27. Liu B., Gao Y., Li J., Guo C., Gao J., Chen Y., Du B. Aging Behavior of Polypropylene as Cable Insulation Under Gamma-Ray Irradiation. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2024, vol. 31, no. 2, pp. 956-964. doi: <https://doi.org/10.1109/TDEI.2023.3337753>.
28. Manas D., Ovsik M., Mizera A., Manas M., Hylova L., Bednarik M., Stanek M. The Effect of Irradiation on Mechanical and Thermal Properties of Selected Types of Polymers. *Polymers*, 2018, vol. 10, no. 2, art. no. 158. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10020158>.
29. Sirin M., Zeybek M.S., Sirin K., Abali Y. Effect of gamma irradiation on the thermal and mechanical behaviour of polypropylene and polyethylene blends. *Radiation Physics and Chemistry*, 2022, vol. 194, art. no. 110034. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110034>.
30. Беспрозванных А.В., Набока Б.Г., Морозова Е.В. Радиационная стойкость кабелей внутренней прокладки общепромышленного применения. *Электротехника і електромеханіка*, 2006, №3, С. 82-86.
31. Liu Z., Miyazaki Y., Hirai N., Ohki Y. Comparison of the effects of heat and gamma irradiation on the degradation of cross-linked polyethylene. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 24-29. doi: <https://doi.org/10.1002/tee.23023>.
32. Maléchaux A., Colombani J., Amat S., Marque S.R.A., Dupuy N. Influence of Gamma Irradiation on Electric Cables Models: Study of Additive Effects by Mid-Infrared Spectroscopy. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 9, art. no. 1451. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13091451>.
33. Li D., Sriraman A., Ni Y., Ellis I., Spencer M.P., Zwoster A., Fifield L.S. Dose Rate Effects in the Aging of Nuclear Cable Insulation Subjected to Gamma Radiation. 2022 *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)*, 2022, pp. 372-375. doi: <https://doi.org/10.1109/CEIDP55452.2022.9985382>.
34. Girard S., Kuhnenn J., Gusarov A., Brichard B., Van Uffelen M., Ouerdane Y., Boukenter A., Marcandella C. Radiation Effects on Silica-Based Optical Fibers: Recent Advances and Future Challenges. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2013, vol. 60, no. 3, pp. 2015-2036. doi: <https://doi.org/10.1109/TNS.2012.2235464>.
35. Prajzler V., Masopustova K., Sarsounova Z. Gamma radiation effects on plastic optical fibers. *Optical Fiber Technology*, 2022, vol. 72, art. no. 102995. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2022.102995>.
36. Беспрозванных А.В., Набока Б.Г., Морозова Е.В. Влияние примесей на радиационные потери в оптических волокнах. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: Надійність та енергоефективність*, 2006, № 7, С. 53-58.
37. Campanella C., De Michele V., Morana A., Mélin G., Robin T., Marin E., Ouerdane Y., Boukenter A., Girard S. Radiation Effects on Pure-Silica Multimode Optical Fibers in the Visible and Near-Infrared Domains: Influence of OH Groups. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 7, art. no. 2991. doi: <https://doi.org/10.3390/app11072991>.
38. Von White II G., Tandon R., Sema L., Celina M., Bernstein R. *An Overview of Basic Radiation Effects on Polymers and Glasses*. U.S. Department of Energy, 2013, 35 p. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1671997> (Accessed 19 May 2025).
39. Беспрозванных А.В., Набока Б.Г., Морозова Е.В. Релаксация радиационных потерь в кварцевых оптических волокнах после прекращения облучения. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: Надійність та енергоефективність*, 2005, № 42, С. 57-60.
40. Li J., Chen Q., Zhou J., Cao Z., Li T., Liu F., Yang Z., Chang S., Zhou K., Ming Y., Yan T., Zheng W. Radiation Damage Mechanisms and Research Status of Radiation-Resistant Optical Fibers: A Review. *Sensors*, 2024, vol. 24, no. 10, art. no. 3235. doi: <https://doi.org/10.3390/s24103235>.
41. Bickham S.R., Glaesemann G.S., Shu Y., Scannell G.W. Reliability and Bend Loss of Optical Fibers in Tight Bend Applications. 2021 *IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ)*, 2021, pp. 146-149. doi: <https://doi.org/10.1109/ICSJ52620.2021.9648876>.
42. Bezprozvannyh G.V., Mirchuk I.A. Correlation between electrical and mechanical characteristics of cables with radiation-modified insulation on the basis of a halogen-free polymer composition. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2018, no. 4, pp. 54-57. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.4.09>.
43. Bezprozvannyh G.V., Mirchuk I.A. Influence of technological dose of irradiation on mechanical and electrical characteristics of polymeric insulation of wires. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2018, vol. 117, no. 5, pp. 40-44.
44. *Kevlar Aramid Fiber Technical Guide*. DuPont. 2017, 24 p. Available at: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/safety/public/documents/en/Kevlar_Technical_Guide_0319.pdf (Accessed 17 May 2025).
45. Klepikov V.F., Prokhorenko E.M., Lytyynenko V.V., Zakharchenko A.A., Hazhmuradov M.A. Control of macroscopic characteris-

tics of composite materials for radiation protection. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2015, vol. 96, no. 2, pp. 193-196.

46. Bezprozvannykh G.V., Moskvitin Y.S., Kostikov I.O., Grechko O.M. Dielectric parameters of phase and belt paper impregnated insulation of power cables. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2025, no. 2, pp. 69-78. doi: <https://doi.org/10.20998/2024-272X.2025.2.09>.
47. Безпрозваних Г.В., Гонтар Ю.Г., Пушкар І.А. Розподілення електростатичного поля у неекраниваних силових кабелях з різною конфігурацією струмопровідних жил. *Технічна Електродинаміка*, 2025, № 4, С. 29-41. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2025.04.029>.
48. Bezprozvannykh G.V., Grynyshyna M.V., Kyessayev A.G., Grechko O.M. Providing technical parameters of resistive cables of the heating floor system with preservation of thermal resistance of insulation. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2020, no. 3, pp. 43-47. doi: <https://doi.org/10.20998/2024-272X.2020.3.07>.
49. Gillen K.T., Assink R.A., Bernstein R. *Final Report on Aging and Condition Monitoring of Low-Voltage Cable Materials*. Scandia National Laboratories, Nuclear Energy Plant Optimization (NEPO). SAND2005-7331, 2005. 287 p.
50. Безпрозваних Г.В., Москвітін Є.С. *Прикладне програмування в GNU Octave*. Харків, НТУ «ХПІ», 2025. 202 с.

REFERENCES

1. Sahoo S., Zhao X., Kyprianidis K. A Review of Concepts, Benefits, and Challenges for Future Electrical Propulsion-Based Aircraft. *Aerospace*, 2020, vol. 7, no. 4, art. no. 44. doi: <https://doi.org/10.3390/aerospace7040044>.
2. Aretskin-Hariton E., Schnulo S.L., Hendricks E.S., Chapman J.W. Electrical Cable Design for Urban Air Mobility. *American Institute of Aeronautics and Astronautics. Aerospace Research Central*. January 2020. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2020-0014>.
3. Bode I. Emergent Normativity: Communities of Practice, Technology, and Lethal Autonomous Weapon Systems. *Global Studies Quarterly*, 2024, vol. 4, no. 1, pp. 1-11. doi: <https://doi.org/10.1093/isagqs/ksad073>.
4. Dorczuk M. Modern weapon systems equipped with stabilization systems: division, development objectives, and research problems. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 2020, vol. 197, no. 3, pp. 651-659. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3959>.
5. Borghei M., Ghassemi M. Insulation Materials and Systems for More- and All-Electric Aircraft: A Review Identifying Challenges and Future Research Needs. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 1930-1953. doi: <https://doi.org/10.1109/TTE.2021.3050269>.
6. *Fiber Optic Cable In Military Application Market Analysis, Size, and Forecast 2025-2029: North America (US and Canada), Europe (France, Germany, Russia, UK), Middle East and Africa, APAC (China, India, Japan, South Korea), South America, and Rest of World (ROW)*. Report. 2025, 222 p. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/military-fibre-optic-cables-market> (Accessed 27 May 2025).
7. Brunelle R., Pegge C. A history of avionic fiber optic cable development and future requirements. *IEEE Conference Avionics Fiber-Optics and Photonics*, 2005, pp. 1-2. doi: <https://doi.org/10.1109/AVFOP.2005.1514127>.
8. Patel H.K., Shah S.S. Detailed analysis of fiber optic networks and its benefits in defense applications. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 2015, vol. 6, no. 2, pp. 01-08. Available at: https://iaeme.com/Home/article_id/IJARET_06_02_001 (Accessed 27 May 2025).
9. Ruffin P.B. A review of fiber optics technology for military applications. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 2000, vol. 10299, pp. 1-24, art. no. 1029902. doi: <https://doi.org/10.1117/12.419796>.
10. Kyselak M., Vavra J., Slavicek K., Grenar D., Hudcova L. Long Distance Military Fiber-Optic Polarization Sensor Improved by an Optical Amplifier. *Electronics*, 2023, vol. 12, no. 7, art. no. 1740. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12071740>.
11. Marques C., Leal-Júnior A., Kumar S. Multifunctional Integration of Optical Fibers and Nanomaterials for Aircraft Systems. *Materials*, 2023, vol. 16, no. 4, art. no. 1433. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16041433>.
12. Rovera A., Tancau A., Boetti N., Dalla Vedova M.D.L., Maggiore P., Janner D. Fiber Optic Sensors for Harsh and High Radiation Environments in Aerospace Applications. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 5, art. no. 2512. doi: <https://doi.org/10.3390/s23052512>.
13. Lee H.-K., Choo J., Shin G., Kim J. Long-Reach DWDM-Passive Optical Fiber Sensor Network for Water Level Monitoring of Spent Fuel

- Pool in Nuclear Power Plant. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 15, art. no. 4218. doi: <https://doi.org/10.3390/s20154218>.
14. Esposito F., Stancalie A., Campopiano S., Iadicco A. Editorial to the Special Issue Optical Fiber Sensors in Radiation Environments. *Sensors*, 2023, vol. 23, no. 22, art. no. 9117. doi: <https://doi.org/10.3390/s23229117>.
15. Nexans. *Nuclear industry Cable Applications. A practical guide*. 2016, 24 p.
16. Šaršounová Z., Plaček V., Prajzler V., Masopustová K., Havránek P. Influence of Optic Cable Construction Parts on Recovery Process after Gamma Irradiation. *Energies*, 2022, vol. 15, no. 2, art. no. 599. doi: <https://doi.org/10.3390/en15020599>.
17. Cheymol G., Maurin L., Remy L., Arounassalame V., Maskrot H., Rougeault S., Dauvois V., Le Tutour P., Huot N., Ouerdane Y., Ferdinand P. Irradiation Tests of Optical Fibers and Cables Devoted to Cesium Monitoring in Case of a Severe Accident in a Nuclear Power Plant. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2020, vol. 67, no. 4, pp. 669-678. doi: <https://doi.org/10.1109/TNS.2020.2978795>.
18. London Y., Sharma K., Diamandi H., Hen M., Bashan G., Zehavi E., Zilberman S., Berkovic G., Zentner A., Mayoni M., Stolov A., Kalina M., Kleinerman O., Shafir E., Zadok A. Opto-Mechanical Fiber Sensing of Gamma Radiation. *Journal of Lightwave Technology*, 2021, vol. 39, no. 20, pp. 6637-6645. doi: <https://doi.org/10.1109/JLT.2021.3102698>.
19. Francesca D.Di, Brugger M., Vecchi G.L., Girard S., Morana A., Reghioia I., Alessi A., Hoehr C., Robin T., Kadi Y. Qualification and Calibration of Single-Mode Phosphosilicate Optical Fiber for Dosimetry at CERN. *Journal of Lightwave Technology*, 2019, vol. 37, no. 18, pp. 4643-4649. doi: <https://doi.org/10.1109/JLT.2019.2915510>.
20. Naikwadi A.T., Sharma B.K., Bhatt K.D., Mahanwar P.A. Gamma Radiation Processed Polymeric Materials for High Performance Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 2022, vol. 10, art. no. 837111. doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.837111>.
21. Drobny J.G. *Radiation Technology for Polymers*. Boca Raton, CRC Press, 2021, 338 p. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429201196>.
22. *Radiation Technologies and Applications in Materials Science*. Edited by Subhendu Ray Chowdhury. Boca Raton, CRC Press, 2022, 416 p. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003321910>.
23. Tamada M. Radiation Processing of Polymers and Its Applications. *Radiation Applications*, 2018, pp. 63-80. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7350-2_8.
24. Ashfaq A., Clochard M.-C., Coqueret X., Dispenza C., Driscoll M.S., Ulański P., Al-Sheikhly M. Polymerization Reactions and Modifications of Polymers by Ionizing Radiation. *Polymers*, 2020, vol. 12, art. no. 2877. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12122877>.
25. Azevedo A.M.de, da Silveira P.H.P.M., Lopes T.J., da Costa O.L.B., Monteiro S.N., Veiga-Júnior V.F., Silveira P.C.R., Cardoso D.D., Figueiredo A.B.-H. da S. Ionizing Radiation and Its Effects on Thermoplastic Polymers: An Overview. *Polymers*, 2025, vol. 17, no. 8, art. no. 1110. doi: <https://doi.org/10.3390/polym17081110>.
26. Barlow A., Biggs J.W., Meeks L.A. Radiation processing of polyethylene. *Radiation Physics and Chemistry*, 1981, vol. 18, no. 1-2, pp. 267-280. doi: [https://doi.org/10.1016/0146-5724\(81\)90080-7](https://doi.org/10.1016/0146-5724(81)90080-7).
27. Liu B., Gao Y., Li J., Guo C., Gao J., Chen Y., Du B. Aging Behavior of Polypropylene as Cable Insulation Under Gamma-Ray Irradiation. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2024, vol. 31, no. 2, pp. 956-964. doi: <https://doi.org/10.1109/TDEI.2023.3337753>.
28. Manas D., Ovsik M., Mizera A., Manas M., Hylova L., Bednarik M., Stanek M. The Effect of Irradiation on Mechanical and Thermal Properties of Selected Types of Polymers. *Polymers*, 2018, vol. 10, no. 2, art. no. 158. doi: <https://doi.org/10.3390/polym10020158>.
29. Sirin M., Zeybek M.S., Sirin K., Abali Y. Effect of gamma irradiation on the thermal and mechanical behaviour of polypropylene and polyethylene blends. *Radiation Physics and Chemistry*, 2022, vol. 194, art. no. 110034. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110034>.
30. Besprozvannykh G.V., Naboka B.G., Morozova E.V. Radiation resistance of internal cables for general industrial use. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2006, no. 3, pp. 82-86. (Rus).
31. Liu Z., Miyazaki Y., Hirai N., Ohki Y. Comparison of the effects of heat and gamma irradiation on the degradation of cross-linked polyethylene. *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 2020, vol. 15, no. 1, pp. 24-29. doi: <https://doi.org/10.1002/tee.23023>.
32. Maléchaux A., Colombani J., Amat S., Marque S.R.A., Dupuy N. Influence of Gamma Irradiation on Electric Cables Models: Study of Additive Effects by Mid-Infrared Spectroscopy. *Polymers*, 2021, vol. 13, no. 9, art. no. 1451. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13091451>.

33. Li D., Sriraman A., Ni Y., Ellis I., Spencer M.P., Zwoster A., Fifield L.S. Dose Rate Effects in the Aging of Nuclear Cable Insulation Subjected to Gamma Radiation. 2022 *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP)*, 2022, pp. 372-375. doi: <https://doi.org/10.1109/CEIDP55452.2022.9985382>.
34. Girard S., Kuhnhen J., Gusarov A., Brichard B., Van Uffelen M., Ouerdane Y., Boukenter A., Marcandella C. Radiation Effects on Silica-Based Optical Fibers: Recent Advances and Future Challenges. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2013, vol. 60, no. 3, pp. 2015-2036. doi: <https://doi.org/10.1109/TNS.2012.2235464>.
35. Prajzler V., Masopustova K., Sarsounova Z. Gamma radiation effects on plastic optical fibers. *Optical Fiber Technology*, 2022, vol. 72, art. no. 102995. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2022.102995>.
36. Bezprozvannykh G.V., Naboka B. G., Morozova E.V. The influence of impurities on radiation-induced losses in optical fibers. *Bulletin of NTU «KhPI», Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, 2006, no. 7, pp. 53-58. (Rus).
37. Campanella C., De Michele V., Morana A., Mélin G., Robin T., Marin E., Ouerdane Y., Boukenter A., Girard S. Radiation Effects on Pure-Silica Multimode Optical Fibers in the Visible and Near-Infrared Domains: Influence of OH Groups. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 7, art. no. 2991. doi: <https://doi.org/10.3390/app11072991>.
38. Von White II G., Tandon R., Sema L., Celina M., Bernstein R. *An Overview of Basic Radiation Effects on Polymers and Glasses*. U.S. Department of Energy, 2013, 35 p. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1671997> (Accessed 19 May 2025).
39. Bezprozvannykh G.V., Naboka B.G., Morozova E.V. Relaxation of radiation-induced losses in quartz-based optical fibers after the end of irradiation. *Bulletin of NTU «KhPI», Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, 2005, no. 42, pp. 57-60. (Rus).
40. Li J., Chen Q., Zhou J., Cao Z., Li T., Liu F., Yang Z., Chang S., Zhou K., Ming Y., Yan T., Zheng W. Radiation Damage Mechanisms and Research Status of Radiation-Resistant Optical Fibers: A Review. *Sensors*, 2024, vol. 24, no. 10, art. no. 3235. doi: <https://doi.org/10.3390/s24103235>.
41. Bickham S.R., Glaesemann G.S., Shu Y., Scannell G.W. Reliability and Bend Loss of Optical Fibers in Tight Bend Applications. 2021 *IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ)*, 2021, pp. 146-149. doi: <https://doi.org/10.1109/ICSJ52620.2021.9648876>.
42. Bezprozvannykh G.V., Mirchuk I.A. Correlation between electrical and mechanical characteristics of cables with radiation-modified insulation on the basis of a halogen-free polymer composition. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2018, no. 4, pp. 54-57. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2018.4.09>.
43. Bezprozvannykh G.V., Mirchuk I.A. Influence of technological dose of irradiation on mechanical and electrical characteristics of polymeric insulation of wires. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2018, vol. 117, no. 5, pp. 40-44.
44. Kevlar Aramid Fiber Technical Guide. DuPont. 2017, 24 p. Available at: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/safety/public/documents/en/Kevlar_Technical_Guide_0319.pdf (Accessed 17 May 2025).
45. Klepikov V.F., Prokhorenko E.M., Lytvynenko V.V., Zakharchenko A.A., Hazhmuradov M.A. Control of macroscopic characteristics of composite materials for radiation protection. *Problems of Atomic Science and Technology*, 2015, vol. 96, no. 2, pp. 193-196.
46. Bezprozvannykh G.V., Moskvitin Y.S., Kostikov I.O., Grechko O.M. Dielectric parameters of phase and belt paper impregnated insulation of power cables. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2025, no. 2, pp. 69-78. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2025.2.09>.
47. Bezprozvannykh G.V., Gontar Y.G., Pushkar I.A. Electrostatic field in unshielded power cables with different configurations of core. *Technical Electrodynamics*, 2025, no. 4, pp. 29-41. (Ukr). doi: <https://doi.org/10.15407/techned2025.04.029>.
48. Bezprozvannykh G.V., Grynyshyna M.V., Kyessayev A.G., Grechko O.M. Providing technical parameters of resistive cables of the heating floor system with preservation of thermal resistance of insulation. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2020, no. 3, pp. 43-47. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2020.3.07>.
49. Gillen K.T., Assink R.A., Bernstein R. *Final Report on Aging and Condition Monitoring of Low-Voltage Cable Materials*. Scandia National Laboratories, Nuclear Energy Plant Optimization (NEPO). SAND2005-7331, 2005. 287 p.

How to cite this article:

Bezprozvannykh G.V., Pushkar I.A. Influence of gamma radiation on the electrical and mechanical properties of on-board systems cables. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2026, no. 1, pp. 76-85. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2026.1.10>

50. Bezprozvannykh G.V., Moskvitin Y.S. *Applied Programming in GNU Octave*. Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2025. 202 p. (Ukr).

Надійшла (Received) 18.07.2025

Прийнята (Accepted) 20.09.2025

Опублікована (Published) 02.01.2026

Безпрозваних Ганна Вікторівна¹, д.т.н., проф.,
Пушкар Ігор Анатолійович², заст. ген. директора
з виробництва, аспірант,

¹ Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2,

е-mail: Hanna.Bezprozvannukh@khp.edu.ua (Corresponding Author)

² Науково-виробниче підприємство «Алай»,

03061, Київ, пр. Відрадний, 95 А2, офіс 202,

е-mail: ihor.pushkar@ieec.khpi.edu.ua

G.V. Bezprozvannykh¹, Doctor of Technical Science, Professor,

I.A. Pushkar², Deputy General Director for Production,

Postgraduate Student,

¹ National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

2, Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

² Scientific and Production Enterprise ALAY,

95 A2, Vidradny Ave., office 202, Kyiv, 03061, Ukraine.

Influence of gamma radiation on the electrical and mechanical properties of on-board systems cables.

Introduction. Electrical and fiber-optic cables of on-board systems for transmitting monitoring, control and communication signals are increasingly used in nuclear power plants, aircraft systems and military applications. Such operating conditions are characterized by an increased level of ionizing radiation compared to the background: from 10 kGy in space applications to 1 GGy in the corium of a nuclear reactor. **Problem.** The resistance of polymer insulation to the action of ionizing radiation is determined on the basis of mechanical, thermophysical, physicochemical indicators that reflect the local characteristics of the polymer insulation of electrical cables. Modern special radiation-resistant optical fibers are capable of operating under the action of gamma radiation with a dose of 1 MGy. To ensure mechanical strength and protection of the optical fiber from moisture, high-strength structural elements and hydrophobic fillers are used in the optical cable. The goal of the work consists in establishing the effect of gamma radiation on unshielded cables with unshielded twisted pairs and optical cables with the determination of the dynamics of changes in the electrical properties of polyethylene insulation of conductors and mechanical properties of aramid yarns with a water-blocking coating, respectively. **Methodology** is based on the determination of the change in the electrical capacitance of each of the 8 polyethylene-insulated twisted pair conductors and the mechanical tensile strength of Kevlar yarns with a water-blocking compound, compared to the un-irradiated state, depending on the absorbed dose of gamma radiation of 100 kGy, 200 kGy and 300 kGy when processing samples of electrical and optical cables in the cobalt-60 (Co⁶⁰) installation. **Scientific novelty** consists in establishing the criterion for achieving the critical state of polymeric polyethylene insulation of insulated conductors and the effect of the influence of a water-blocking coating with ultra-high absorption capacity on the mechanical strength of aramid yarns under the action of gamma radiation on samples of an electric cable in a protective sheath of polyvinyl chloride plastic compound and an optical cable in a protective sheath based on a polymer fire-resistant composition, respectively. **Practical value** is qualified by the range of radiation resistance of structural elements to ensure the operational functionality and efficiency of cables of on-board systems under the action of gamma radiation. References 50, tables 3, figures 6.

Key words: on-board systems, unshielded cable with unshielded twisted pairs, optical cable, absorbed dose of gamma radiation, polyethylene insulation, electrical capacitance, aramid yarns, waterproof compound, mechanical tensile strength, radiation resistance.