

УДК 621.396.677

О.М. Сотніков, В.А. Таршин, М.М. Ясечко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРОТИДІЯ ПОТУЖНОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ВИПРОМІНЮВАННЮ ДЛЯ ЗАХИСТУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

У статті проведено аналіз шляхів та механізмів впливу потужного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) ультракороткої тривалості (УКТ) на радіоелектронні засоби (РЕЗ) та їх елементну базу. Вказано на необхідність пошуку нових технологій, що забезпечують захист радіоелектронних засобів від впливу електромагнітного імпульсу ультракороткої тривалості. Проведено аналіз фізичних механізмів, що визначають поглинаючі властивості середовища. Визначено, що вирішення проблеми можливе на основі створення засобів захисту озброєння і військової техніки від зовнішнього електромагнітного впливу, що ґрунтуються на створенні нової плазмової технології поглинання та відводу потужного електромагнітного імпульсу, а також використання окремих властивостей «смушкових» плівкових структур, виготовлених з високотемпературних надпровідників.

Ключові слова: механізми впливу потужного електромагнітного випромінювання, радіоелектронні засоби, твердотільне плазмове середовище, радіоізотопна технологія.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам захисту озброєння і військової техніки (ОВТ) від засобів виявлення і зброї на нових фізичних принципах приділяється значна увага вітчизняними та закордонними вченими [1–15]. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що в останні роки на фоні прискорення темпів науково-технічного прогресу, зростання рівня економічного розвитку багатьох країн світу, впровадження новітніх технологій розширились межі розробки, виготовлення і застосування нових видів сучасної зброї. Перш за все це зброя, що заснована на використанні альтернативних джерел енергії і зброя на нетрадиційних фізичних принципах.

До таких видів зброї відноситься зброя електромагнітного імпульсу (ЕМІ), застосування якої призводить до виведення з ладу вхідних кіл радіоелектронних засобів (РЕЗ) і кіл електрообладнання зразків ОВТ шляхом потужного електромагнітного впливу (ЕМВ) ультракороткої тривалості. В умовах сучасної війни, коли основна ставка робиться на рівень технологічності застосовуваного ОВТ, навіть короточасне виведення його з ладу може відігравати вирішальну роль у збройній боротьбі. Саме тому успішне вирішення проблеми протидії потужному ЕМВ в умовах ведення сучасних бойових дій слід розглядати як одну з найважливіших складових задачі підтримання необхідного рівня бойової готовності ОВТ з'єднань, частин та підрозділів Збройних Сил (ЗС) України. Відповідно до цього, розвиток технологій, що забезпечують захист РЕЗ від впливу потужного ЕМВ, повинен здійснюватися паралельно, або навіть з деяким випередженням розвитку засобів ЕМВ.

Постановка проблеми

Необхідність пошуку нових технологій, що забезпечують захист радіоелектронних засобів від впливу ЕМІ ультракороткої тривалості, обумовлена:

- існуючими тенденціями розвитку ОВТ, в основі яких, у переважній більшості, лежить зростання долі електричної і радіоелектронної апаратури;
- недостатньою теоретичною і експериментальною вивченістю впливу наносекундних електромагнітних полів на РЕЗ;
- недосконалістю розробок в теоретичній і практичній сферах щодо створення захисту ОВТ від ЕМВ УКТ;
- недостатнім рівнем ефективності захисту радіоелектронної апаратури від ЕМВ з енергетичними параметрами, які властиві сучасним засобам ураження;
- недостатньою проробкою рекомендацій щодо реалізації технічних способів захисту ОВТ, які відповідають рівням енергетичної потужності сучасних видів електромагнітної зброї.

Відповідно до цього виникають протиріччя у теорії і практиці захисту РЕЗ від ЕМВ, що тісно пов'язані між собою.

У теорії захисту РЕЗ від впливу ЕМІ УКТ виявлено невідповідність між існуючими теоретичними положеннями щодо захисту РЕЗ на основі відбиття (відводу) уражаючої енергії ЕМХ, що призводить до короточасного порушення функціонування зразків ОВТ, і в той же час необхідністю повного, або часткового перетворення енергії ЕМІ в інший вид енергії для забезпечення безперервного функціонування ОВТ в умовах ЕМВ.

Протиріччя практичного характеру пов'язано з тим, що для забезпечення потрібної стійкості до ЕМВ, з використанням сучасних технологій виготовлення і обробки, впровадження нових покриттів і матеріалів успішно йде створення надійних екранів. І якщо б справа обмежувалась виготовленням ідеального екрану без технологічних і конструктивних дефектів, який би був здатен протистояти потужному ЕМВ, то така задача напевне була б успішно вирішена. Однак, удосконалення існуючих та створення нових зразків ОВТ здійснюється шляхом удосконалення систем автоматичного управління, навігаційних приладів, оптичних і телеметричних комплексів, застосування нанотехнологій виготовлення елементної бази обумовлює збільшення чутливості радіоелектронної апаратури до впливу ЕМВ. Наявність роз'ємів, кабельних вводів (виводів) та інших отворів, призначених для забезпечення належного функціонування радіоелектронної апаратури зразка ОВТ, ускладнює процес виготовлення екранів. Таким чином, виникає протиріччя між тенденцією створення ідеального екрану без конструктивних і технологічних дефектів і необхідністю забезпечення належного функціонування РЕЗ ОВТ. Подібне протиріччя існує і в створенні захисту РЕЗ шляхом заземлення і відводу уражаючої енергії, а саме між підвищенням ефективності захисту РЕЗ з використанням обов'язкового заземлення і, в той же час, обмеженнями на його застосування, пов'язаними з необхідністю забезпечення мобільності зразків ОВТ і специфікою їх використання.

Розв'язання існуючих протиріччя обумовлює необхідність пошуку шляхів вирішення актуальної проблеми недостатнього забезпечення захисту ОВТ від зовнішнього електромагнітного впливу. Вирішення проблеми можливо на основі створення засобів захисту ОВТ від зовнішнього електромагнітного впливу, що ґрунтуються на створенні нової плазмової технології поглинання та відводу потужного ЕМІ, а також використання окремих властивостей «смужкових» плівкових структур, виготовлених з високотемпературних надпровідників.

Аналіз доступної вітчизняної та зарубіжної літератури вказує на великий інтерес вчених до вивчення процесів генерування потужних ЕМІ [2–4; 17], застосування генераторів потужних ЕМІ в тому числі і для впливу на елементну базу РЕЗ противника. Результати, що характеризують стан останніх досягнень у області захисту РЕЗ від потужного ЕМВ, викладені у роботах [5–13]. Так у [5–6] наведені результати досліджень щодо застосування композиційних матеріалів для захисту РЕЗ, що забезпечують поглинання потужного ЕМВ інтенсивністю 10 дБ і більше у визначених частотних діапазонах. Наводяться результати дослідження динамічних характеристик композиційних матеріалів. Наведені

у [7] результати досліджень показали можливість забезпечення з використанням композиційних матеріалів ефективного захисту біологічних та технічних об'єктів від ЕМІ у діапазоні частот 70–90 ГГц, при цьому послаблення складає до 30 дБ. У [8] наведені результати дослідження ЕМІ з речовиною, розглянуті характеристики перспективних для народного господарства поглинаючих матеріалів. У [9–10] наведені результати частотних залежностей діелектричної та магнітної проникності матеріалів, що являють собою суміш феритів та сигнетоелектриків, концентрація яких впливає на властивості матеріалу.

У [11–12] розглянута можливість створення ширококутових радіопоглинаючих покриттів з коефіцієнтом ослаблення ЕМІ більше 10дБ у діапазоні частот 8–80 ГГц. У [1] запропонована радіоізотопно-плазмова технологія створення поглинаючих матеріалів для захисту РЕЗ від впливу потужного ЕМВ. Розроблено узагальнену структуру матеріалу, проведено аналіз фізичних механізмів, що відбуваються за рахунок використання радіоізотопних та гексаферитових елементів.

За результатами проведеного аналізу останніх досліджень та публікацій встановлено, що вирішення сформульованої раніше проблеми потребує: ретельного аналізу шляхів та механізмів впливу потужного ЕМВ у широкому частотному діапазоні на РЕЗ та їх елементну базу; пошуку нових технологій, що забезпечують захист РЕЗ від впливу ЕМІ ультракороткої тривалості; аналізу фізичних механізмів, що визначають поглинаючі властивості середовища.

Метою статті є аналіз механізмів впливу потужних імпульсних ЕМІ на РЕЗ та їх елементну базу для розробки нової радіоізотопно-плазмової технології протидії потужному ЕМВ для захисту РЕЗ.

Виклад основного матеріалу

Зовнішній ЕМВ має природне та штучне походження. До першої групи відносяться електростатичні і грозові розряди. До другої групи відносяться засоби навмисного впливу на об'єкти (ураження), що реалізуються в бойових умовах. Із розгляду виключаються світлові і іонізуючі впливи, що суттєво відрізняються фізико-математичним апаратом їх опису, механізмами впливу на РЕЗ, методами і засобами імітації, забезпеченням стійкості і проведенням випробувань.

Механізми впливу потужних імпульсних ЕМІ на РЕЗ та їх елементну базу. Відомо, що надвисокочастотна (НВЧ) енергія може поширюватися до чутливих елементів РЕЗ двома основними шляхами:

– через коло прийому-передачі електромагнітної енергії, які пов'язані з вільним простором за допомогою антено-фідерного каналу;

– через конструктивні елементи РЕЗ (панелі, вікна, неекрановані провідники, отвори та ін.).

При впливі ЕМІ на вхідні кола приймального тракту розрізняють два режими: смуговий і поза-смуговий. Особливістю смугового впливу є незначні втрати енергії ЕМІ, при проходженні через узгоджений приймальний тракт навіть при наявності смугових фільтрів на вході. Втрати в даному випадку визначаються співвідношенням між смугою пропускання вхідного фільтра або малошумного підсилювача (МШП) і шириною спектра ЕМІ, що впливає. У більшості випадків ці втрати не перевищують 10–15 дБ [2–3].

Позасмуговий вплив ЕМІ здійснюється за межами смуги пропускання приймача. При позасмуговому випромінюванні необхідно враховувати втрати потужності в тракті, які можуть становити до 40–60 дБ [2–3].

Рівні впливу потужного ЕМІ на РЕЗ поділяються на [13]:

- рівень, що характеризує нормальну роботу системи;
- рівень, при якому виникають тимчасові порушення штатного режиму;
- рівень стійких збоїв;
- рівень, при якому відбуваються безворотні катастрофічні деградації.

У деградаційних явищах елементної бази теплові ефекти відіграють визначальну роль за рахунок процесів локального енергопоглинання і тепловідведення. При цьому розрізняють умови стаціонарного і короткочасного енерговиділення. Перше відповідає стаціонарним або довгоімпульсним впливам, а друге – впливам УКТ, коли поглинена енергія випромінювання локалізується і за час імпульсу не встигає передатися навколишнім елементам структури. Більш висока щільність енергії в іншому випадку сприяє більш ефективному виникненню дефектів в чутливих зонах виділення тепла [4].

Причини явищ, що характеризують надпорогові режими впливу ЕМІ УКТ на РЕЗ та її елементи, можуть бути зведені до наступних основних ефектів:

- антенний механізм струмів і напруг, що виникають у зовнішніх і внутрішніх структурах РЕЗ;
- множинність резонансів, обумовлених складністю РЕЗ та широкосмуговістю випромінювання;
- великий спектр деструктивних явищ ударного теплового типу в областях енерговиділення;
- множинність одночасних локалізацій дефектів, утворених в структурах у процесі одноразового впливу ЕМІ УКТ;
- просторове зонування дефектів.

Взаємодія ЕМІ з мікροструктурами РЕЗ має складний характер, пов'язаний з різноманіттям фізи-

чних процесів, що лежать в його основі. Високий ступінь інтеграції сприяє зниженню захищеності РЕЗ.

Таким чином, вплив потужного ЕМІ УКТ завдяки високій проникаючій здатності і граничним рівням збоїв і відмов, виявляється найбільш небезпечним фактором по відношенню до різних видів електронних пристроїв, а також їх компонентів, в першу чергу, напівпровідникових приладів і елементів мікроелектроніки.

Механізми взаємодії ЕМВ і НВЧ імпульсу з РЕЗ мають ряд суттєвих відмінностей. З точки зору структури полів, зазначені відмінності, в першу чергу, обумовлені спектральними характеристиками: ЕМВ не мають високочастотного заповнення і їх спектр в основному зосереджений в області досить низьких частот (1÷100 МГц), в той час як імпульси НВЧ генеруються на певній несучій частоті, і їх спектр може займати будь-яке місце в межах всього радіочастотного діапазону (від одиниць до сотень гігагерц).

Низькочастотний характер ЕМІ створює серйозні проблеми для його спрямованої каналізації в просторі, в той час як для НВЧ імпульсів така каналізація реалізується як звичайними антенними системами, так і застосуванням радіопрозорих ліній.

Крім того, внаслідок відносно низькочастотного характеру ЕМВ, його вплив на РЕЗ пов'язаний, головним чином, з проникненням електромагнітних полів через технологічні отвори і щілини в корпусах, а також наведеннями, що виникають на корпусах, провідних елементах і роз'ємах.

Найбільш чутливими елементами РЕЗ є напівпровідникові елементи. Істотний вплив на працездатність елементів РЕЗ можуть надавати наведення НВЧ імпульсу на кабельні лінії, антенно-фідерні пристрої та міжблочні з'єднання. Наведені напруги можуть змінювати режими роботи вузлів, що обумовлює виникнення тимчасових або катастрофічних відмов радіоелектронної апаратури (РЕА).

Застосування нових технологій, що забезпечують надійне функціонування РЕЗ в умовах впливу потужних ЕМІ. Проведений аналіз шляхів і механізмів впливу потужних імпульсних ЕМВ на елементну базу РЕЗ показав, що одним із напрямків створення ефективних засобів захисту РЕЗ є розробка і використання нових технологій, що забезпечують при обмежених вартісних і масогабаритних показниках надійне функціонування РЕА в умовах впливу потужних ЕМІ. Ці технології повинні бути спрямовані на комплексне використання всіх відомих фізичних механізмів для реалізації ефективної протидії потужному ЕМВ. При цьому, застосовані технології повинні бути простими для технічної реалізації у РЕЗ.

Зниження або повне виключення впливу ЕМІ на об'єкти захисту може бути досягнуте шляхом комплексного використання наступних фізичних механізмів:

1. При захисті РЕЗ за основним каналом прийому – створення умов для відводу енергії ЕМІ.

2. При захисті РЕЗ за неосновним каналом прийому, а також через конструктивні елементи РЕЗ необхідно забезпечити:

– узгодження вільного простору з характеристиками середовища;

– збільшення поглинання енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;

– зменшення відбиття енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;

– формування нелінійних ефектів в середовищах, що опромінюються, з метою зміни спектральних характеристик відбитого ЕМІ.

На наш погляд, для реалізації цих механізмів радіоелектронної протидії потужному ЕМВ найбільш перспективними є застосування плазмових технологій [1].

Однією з можливостей реалізації фізичних механізмів, що забезпечують захист РЕЗ від потужних ЕМІ, є використання попередньої іонізації в каналі прийому для створення умов щодо виникнення газорозрядної плазми, наприклад, в хвилеводному тракту, а також використання захисних екранів на основі твердотільного іонізованого середовища, властивості якого будуть визначатися величиною активності радіоізотопних включень.

Електромагнітне випромінювання, що впливає на РЕЗ, першим на своєму шляху потрапляє у іонізований повітряний шар, прилеглий до шару напівпровідника. Іонізація повітряного шару виникає за рахунок нанесення на його поверхню напівпровідника радіоактивних плям [1], а також α -частинок, що вилітають з неї, викликаних радіоізотопними включеннями.

Ці джерела іонізації призводять до створення самоузгодженої частини середовища за рахунок поступового зменшення по мірі віддалення від об'єкта, що захищається, концентрації заряджених часток (на інтервалі до максимальної довжини вільного пробігу зарядженої α -частки в повітрі), що, в свою чергу, може забезпечити зниження відбиття ЕМІ, що впливає на об'єкт. Крім того, джерела іонізації є джерелами модифікації повітряного середовища, що безпосередньо прилягає до матеріалу, за рахунок створення в ній нерівнозваженого стану електронної підсистеми повітряного середовища, що обумовлює збільшення поглинаючих властивостей середовища в цілому.

Іонізація атомів речовини напівпровідникового матеріалу призводить до створення неоднорідності в імпульсному просторі, обмеженому розмірами на-

півпровідникових шарів, і, як наслідок, до утворення нерівнозважених станів електронів, що може привести до істотного збільшення поглинання ЕМВ в створеному середовищі. Причому в залежності від величини активності радіоізотопних включень, що визначає механізми іонізації і рекомбінації, дисипативні процеси можуть мати різну природу походження. Також слід зазначити, що нерівнозважений розподіл електронної компоненти твердотільної частини плазмового середовища може викликати як зміну дисперсії плазмових коливань, так і появу уявної частини діелектричної проникності, зростання якої забезпечить збільшення тангенса кута втрат $\operatorname{tg} \delta$, а, відповідно, зменшення товщини матеріалу.

Використання джерел іонізуючого випромінювання для створення неоднорідності в імпульсному просторі твердотільної частини матеріалу нерозривно пов'язане зі створенням неоднорідності в координатному просторі треків α -частинок. Електрони, що випускаються радіоізотопними включеннями α -частки, призведуть до утворення в напівпровідниковій (діелектричній) матриці покриття треків, які представляють собою складну нестационарну систему тонких провідних ниток, що забезпечується за рахунок своїх резонансних властивостей.

Таким чином, оскільки основний матеріал покриття (напівпровідник) має діелектричні властивості, а α -радіоактивні включення мають добру провідність, то такий матеріал стосовно поглинання і розсіювання ЕМВ буде мати властивості середовищ трьох типів, що реалізуються в традиційних радіопоглинаючих покриттях: плоскошарових, градієнтних і геометрично неоднорідних.

Крім того, оскільки багато радіоактивних матеріалів є металами, то плями радіоактивного матеріалу, що наносяться на напівпровідниковий шар, призведуть до утворення на його поверхні неоднорідної по провідності структури. Створена таким чином структура може привести до збільшення розсіювання падаючого ЕМІ, а також до перетворення ЕМІ при виникненні концентрації провідної компоненти поблизу порогу протікання (перколяції) нелінійності провідності і, як наслідок, до спотворення відбитого випромінювання. Тобто, вибираючи геометричні параметри плям радіоактивного матеріалу та радіоізотопних включень в напівпровідникові шари, що визначають внутрішню структуру провідності матеріалу за рахунок треків α -частинок, можна істотно зменшити рівень відбитого випромінювання від об'єкта, що захищається.

Відповідно до наведеного вище основна ідея розробки захисного матеріалу з використанням радіоізотопних технологій спрямована на створення і використання специфічних неоднорідностей фазового простору середовища в цілому, для забезпечення в широкому частотному діапазоні необхідних

відбиваючих і поглинаючих властивостей. Тобто, в основу розробки ефективних плазмових екранів покладено використання напівпровідникового і радіоізотопного матеріалів, застосування яких дозволить використовувати ряд нових властивостей, які забезпечують, як радіоелектронну протидію потужному ЕМВ, так і електромагнітну сумісність з іншими РЕЗ.

Висновки

1. В рамках енергетичного підходу відмова або порушення штатного режиму функціонування РЕЗ пов'язано зі зміною параметрів або виходом з ладу окремих його елементів, що містять напівпровідникові компоненти.

2. Шляхи та механізми впливу потужного ЕМІ ультракороткої тривалості на РЕЗ істотно відрізняються від шляхів і механізмів впливу НВЧ-випромінювання. Забезпечення нормального функціонування РЕЗ при впливі ЕМВ УКТ обумовлює необхідність пошуку нових технологій у вирішенні завдання їх захисту, що дозволяють одночасно запобігти впливу ЕМІ на РЕЗ по всіх можливих каналах проходження.

3. Запропоновано нову технологію протидії потужному ЕМІ – радіоізотопно-плазмову технологію, яка забезпечує поглинання потужних ЕМІ в широкому діапазоні частот.

Використання радіоізотопних включень призводить до виникнення фізичних механізмів, що визначають необхідні відбиваючі і поглинаючі властивості твердотільних захисних екранів.

4. Основні фізичні механізми, реалізовані з використанням нової радіоізотопної технології, створення матеріалу для захисту РЕЗ за основними і неосновним каналами прийому, полягають у наступному:

- створення умов для відводу енергії ЕМІ;
- узгодження вільного простору з характеристиками середовища;
- збільшення поглинання енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;
- зменшення відбиття енергії ЕМІ, що впливає на РЕЗ;
- формування нелінійних ефектів в опромінюваних середовищах з метою зміни спектральних характеристик відбитого ЕМІ.

Список літератури

1. Sotnikov A. Development of radioisotopic-plasma technology for the protection of radio electronic means from powerful electromagnetic radiation. / O. Vorobiov, V. Savchenko, A. Sotnikov, V. Tarshin, T. Kurtseitov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, № 5(85). – P. 16-22. – DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91642>.
2. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие [Текст] / В.И. Кравченко. – Х.: НТУ "ХПИ", 2008. – 185 с.
3. Добыкин В.Д. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем [Текст] / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев, Л.Н. Шустов, под ред. А.И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2007. – 487 с.
4. Ясечко М.Н. Методы формирования и фокусировки электромагнитного излучения для воздействия на радиоэлектронные средства: монография [Текст] / М.Н. Ясечко, А.И. Дохов, М.Г. Иванец, О.В. Тесленко; под ред. М.Н. Ясечко. – Х.: Діса плюс, 2015. – 216 с.
5. Найден Е.П. Магнитные свойства наноразмерных порошков гексаферитов [Текст] / Е.П. Найден, В.А. Журавлев, В.И. Итин и др. // Журнал структурной химии. – 2004. – Т. 45. – С. 106-111.
6. Skoblikov O. Shielding Properties of Conductive Shells Exposed to Electromagnetic Impulse of Lightning [Text] / O. Skoblikov, V. Knyazyev // International Conference on Lightning Protection (ICLP'2012). – Vienna. – 2012. – P. 1-8.
7. Tajirov A. Chemistry and technology of magnetite and barium-containing composite materials on its basis [Text] / A. Tajirov, I.V. Cwhanovskaya, Z.V. Barsova, N.G. Puoykha // European Science and Technology: materials of the II international research and practice conference, Vol. II, May 9th-10th, 2012. – Wiesbaden, 2012. – P. 80-87.
8. Fazaeli R. Microwave Absorption Properties of Low Density Polyethelene-Cobalt Ferrite Nanocomposite [Text] / R. Fazaeli, R. Eslami-Farsani, H. Targhagh // International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering. – 2015. – Vol. 9, No. 12. – P. 1450-1453.
9. Liu T. The hierarchical architecture effect on the microwave absorption properties of cobalt composites [Text] / T. Liu, P.H. Zhou, J.L. Xie, L.J. Deng // J. Appl. Phys. – 2011. – Vol. 110. – P. 1-4.
10. Петров В. Исследование радиопоглощающих свойств материалов на основе наноструктур [Текст] / В. Петров, Г. Николайчук, С. Яковлев, Л. Луцев // Компоненты и технологии. – 2008. – № 12. – С. 141-146.
11. Mazov I.N. Electrophysical and electromagnetic properties of pure MWNTs and MWNT/PMMA composite materials depending on their structure [Text] / I.N. Mazov, V.L. Kuznetsov, S.I. Moseenkov end ot. // Fullerenes, nanotubes and carbon nanostructures. – 2010. – Vol. 18. – P. 505-515.
12. Розанов К.Н. Синтез широкополосных радиопоглощающих покрытий на основе сложных сред, составленных из активных электрических диполей [Текст] / К.Н. Розанов, Е.А. Преображенский // Радиотехника и электроника. – 2005. – Т. 50, № 7. – С. 858-864.
13. Ковтуненко О.П. Зброя на нетрадиційних принципах дії (стан, тенденції, принципи дії та захист від неї): монографія [Текст] / О.П. Ковтуненко, В.В. Богучарський, В.І. Слюсар, П.М. Федоров. – Полтава: ПВІЗ, 2006. – 247 с.
14. Ярош С.П. Оцінювання ефективності протидії високоточної зброї противника під час організації зенітного ракетного прикриття об'єктів та угруповань військ / С.П. Ярош, О.О. Тесенчук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – №2. – С. 79-83.
15. Шамко Є.В. Основні особливості застосування Повітряних Сил в сучасних умовах ведення збройної боротьби / Є.В. Шамко, О.М. Жарик, В.В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – №2. – С. 15-18.

16. Таршин В.А. Розробка типових моделей опису зображень поверхні візування в умовах її спотворення / В.А. Таршин, О.М. Сотніков, Р.Г. Сидоренко // Системи обробки інформації. – Х: ХНУПС, 2016. – №7(144). – С. 75-78.
17. Алімпієв А.М. Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні / А.М. Алімпієв, В.В. Баранник, Т.В. Белікова, С.О. Сідченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2017. – №4 (150). – С. 113-121.

References

- Vorobiov, O., Savchenko, V., Sotnikov, A., Tarshin, V. and Kurtseitov, T. (2017), Development of radioisotopic-plasma technology for the protection of radio electronic means from powerful electromagnetic radiation, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 1, No. 5(85), pp. 16-22, DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91642>.
- Kravchenko, V.I. (2008), “*Elektromagnitnoe oruzhie*” [*Electromagnetic weapon*], NTU "KPI", Kharkov, 185 p.
- Dobykin, V.D., Kupriyanov, A.I., Ponomarev, V.G. and Shustov, L.N. (2007), “*Radyoelektronnaya borba. Sylovoe porazhenie radyoelektronnykh sistem*” [Electronic Warfare. Power failure of electronic systems], High school book, Moscow, 487 p.
- Yasechko, M.N., Dohov, A.I., Ivanec, M.G. and Teslenko, O.V. (2015), “*Metody formirovaniya i fokusirovki ehlektromagnitnogo izlucheniya dlya vozdeystviya na radioehlektronnye sredstva*” [Methods of forming and focusing electromagnetic radiation for exposure to radio-electronic means], Disa plyus, Kharkov, 216 p.
- Najden, E.P., Zhuravlev, V.A. and Itin, V.I. (2004), “*Magnitnye svoystva nanorazmernykh poroshkov geksaferitov*” [Magnetic properties of nanosized powders of hexaferrites], *Journal of Structural Chemistry*, Novosibirsk, Vol. 45, pp. 106-111.
- Skoblikov, O. and Knyazyev, V. (2012), Shielding Properties of Conductive Shells Exposed to Electromagnetic Impulse of Lightning, *International Conference on Lightning Protection: ICLP 2012*, Vienna University of Technology, Vienna, pp. 1-8.
- Tajirov, A., Cwhanovskaya, I.V., Barsova, Z.V. and Iluoykha, N.G. (2012), Chemistry and technology of magnetite and barium-containing composite materials on its basis, *European Science and Technology: materials of the II international research and practice conference*, Vol. II, Wiesbaden, pp. 80-87.
- Fazaeli, R., Eslami-Farsani, R. and Targhagh, H. (2015), Microwave Absorption Properties of Low Density Polyethylene-Cobalt Ferrite Nanocomposite, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, Vol. 9, No. 12, pp. 1450-1453.
- Liu, T., Zhou, P.H., Xie, J.L. and Deng, L.J. (2011), The hierarchical architecture effect on the microwave absorption properties of cobalt composites, *J. Appl. Phys.*, Vol. 110, pp. 1-4.
- Petrov, V., Nikolaichuk, H., Yakovlev, S. and Lutsev, L. (2008), “*Issledovanie radiopogloshtushchikh svoystv materialov na osnove nanostruktur*” [Investigation of radio absorbing properties of materials based on nanostructures], *Components and Technologies*, Vol. 12, pp. 141-146.
- Mazov, I.N., Kuznetsov, V.L. and Moseenkov, S.I. (2010), Electrophysical and electromagnetic properties of pure MWNTs and MWNT/PMMA composite materials depending on their structure, *Fullerenes, nanotubes and carbon nanostructures*, Vol. 18, Philadelphia, pp. 505-515.
- Rozanov, K.N. and Preobragenski, E.A. (2005), “*Sintez shirokopolosnykh radiopogloshtushchikh pokrytiy na osnove sloynnykh sred, sostavlenykh iz aktivnykh elektricheskikh dipolei*” [Synthesis of broadband radio-absorbing coatings based on complex media composed of active electric dipoles], *Radio engineering and electronics*, Vol. 50(7), pp. 858-864.
- Kovtunencko, O.P., Bohucharskyi, V.V., Sliushar, V.I. and Fedorov, P.M. (2006), “*Zbroia na netradytsiynykh printsypakh dii (stan, tendentsii, printsypy dii ta zakhyst vid nei)*” [Weapon on non-traditional principles of action (state, trends, principles of action and protection against it)], PVIZ, Poltava, 247 p.
- Yarosh, S. and Tesenchuk, O. (2017), “*Otsiniuvannya efektyvnosti proty dii vysokotochnii zbroi protyv-nyka pid chas orhanizatsii zenitnoho raketnoho prykryttia ob'ektiv ta uhrupovan viisk*” [Estimation of the efficiency of co-operation to high-speed arms of the opponent at the organization of the anti-aircraft missile opening of objects and grouping of troops], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 79-83.
- Shamko, V., Zharik, A. and Koval, V. (2017), “*Osnovni osoblyvosti zastosuvannya Povitrianykh Syl v suchasnykh umovakh vedennia zbroinoi borotby*” [Basic features of use of the air force under present-day conditions during armed struggle], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 15-18.
- Tarshyn, V.A., Sotnikov, A.M. and Sydorenko, R.G. (2016), “*Rozrobka typovykh modelei opysu zobrazhen poverkhni vizuvannya v umovakh yii spotvorennia*” [Development models description images of surface boresighting in the conditions its distortion], *Information Processing Systems*, No. 7(144), pp.75-78.
- Alimpiev, A., Barannik, V., Belikova, T. and Sidchenko, S. (2017), “*Teoretychni osnovy stvorennia tekhnolohii proty dii prykhovanykh informatsiynym atakam v suchasni hibriddni viini*” [Theoretical foundations of the establishment of the technologies of co-operation to the hidden information attacks in the modern hybrid war], *Information Processing Systems*, No. 4(150), pp.113-121.

Надійшла до редколегії 4.09.2017
Схвалена до друку 02.11.2017

Відомості про авторів:

Сотніков Олександр Михайлович
доктор технічних наук професор
провідний науковий співробітник Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2985-3704>
e-mail: alexsot@ukr.net

Information about the authors:

Sotnikov Alexander
Doctor of Technical Sciences Professor
Senior Research Associate of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2985-3704>
e-mail: alexsot@ukr.net

Таршин Володимир Анатолійович

доктор технічних наук доцент
професор кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7059-6354>
e-mail: vratar-73@ukr.net

Tarshyn Volodymyr

Doctor of Technical Sciences Associate Professor
Professor of the Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7059-6354>
e-mail: vratar-73@ukr.net

Ясечко Максим Миколайович

кандидат технічних наук
старший викладач кафедри Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. Івана Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5643-0059>
e-mail: maxnik8888@gmail.com

Yasechko Maksim

Candidate of Technical Sciences
Senior Lecturer of the Department of Ivan
Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5643-0059>
e-mail: maxnik8888@gmail.com

**ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ МОЩНОМУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

А.М. Сотников, В.А. Таршин, М.Н. Ясечко

В статье проведен анализ путей и механизмов воздействия мощного электромагнитного излучения (ЭМИ) ультракороткого длительности (УКД) на радиоэлектронные средства (РЭС) и их элементную базу. Указано на необходимость поиска новых технологий, обеспечивающих защиту радиоэлектронных средств от воздействия электромагнитного импульса ультракороткого длительности. В статье предложена модель твердотельной среды на основе радиоизотопных технологий для защиты элементной базы от ЭМИ в широкой полосе частот. Проведен анализ физических механизмов, определяющих поглощающие свойства среды. Определено, что решение проблемы возможно на основе создания средств защиты вооружения и военной техники от внешнего электромагнитного воздействия, основанных на создании новой плазменной технологии поглощения и отвода мощного электромагнитного импульса, а также использование отдельных свойств «полосковых» пленочных структур, изготовленных из высокотемпературных сверхпроводников.

Ключевые слова: механизмы воздействия мощного электромагнитного излучения, радиоэлектронные средства, твердотельная плазменная среда, радиоизотопная технология.

**COUNTERACTION TO POWERFUL ELECTROMAGNETIC RADIATION
FOR THE PROTECTION OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES**

A. Sotnikov, V. Tarshyn, M. Yasechko

The article analyzes the ways and mechanisms of the influence of the powerful electromagnetic radiation (EMR) of ultrashort duration (USD) on radioelectronic means (REM) and their elemental base. The purpose of the paper is to analyze the mechanisms of the effects of sweat pulsed EMR on REM and their elemental basis for the development of a new radioisotope counteraction technology. The analysis of available domestic and foreign literature showed the absence of new technologies that provide protection of radio-electronic devices from powerful pulsed electromagnetic irradiation. It is indicated on the necessity of finding new technologies that provide protection of REM from the influence of the electromagnetic pulse of ultrashort duration. The article proposes a model of solid state environment based on radioisotope technologies to protect the elemental base from EMR in a wide band of frequencies. The analysis of physical mechanisms that determine the absorbing properties of the medium is carried out. It is determined that the solution of the problem is possible on the basis of the creation of means of protection of weapons and military equipment from external electromagnetic effects based on the creation of a new plasma technology of absorption and removal of a powerful electromagnetic pulse, as well as the use of separate properties of "strip" film structures made from high-temperature superconductors.

Keywords: mechanisms of influencing of powerful electromagnetic radiation, radioelectronic means, solid-state plasma medium, radioisotope technology.