

УДК 623.537.531

*Олег Михайлович Воробйов
Олександр Йосипович Мацько
Сергій Віталійович Тягай*

ЕНЕРГЕТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВПЛИВУ НА ОБ'ЄКТИ УРАЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ СТВОРЕННЯ ЇХ ЗАХИСТУ

Корінні зміни поглядів в останні роки на стратегію, тактику та цілі ведення бойових дій і війни в цілому збільшив інтерес до розробки, випробувань і застосування нових видів нетрадиційної зброї і в першу чергу електромагнітної зброї (ЕМЗ). Досвід випробувань, застосування, дослідження в даній галузі та аналіз перспектив розвитку показав, що вже в найближчий час ефективність її бойового впливу на особовий склад та техніку противника передбачається більшою ніж ядерних боєприпасів, зрозуміло коли мова йде про досягнення конкретних цілей війни, а не про стратегічне стримання.

В останній час з'явилося і продовжує з'являтися велика кількість розробок щодо створення такої зброї [1, 2]. Основним об'єктом її ураження є радіоелектронна апаратура і кола електрообладнання, які складають основу систем управління зразків озброєння та військової техніки, пунктів управління та інших важливих об'єктів військового і державного призначення. Тому їх пошкодження і вихід з ладу, безумовно приведе до втрати боєздатності (працездатності) об'єкта ураження в цілому.

Внаслідок цього в сучасних умовах велику увагу приділяють розробці методів (способів), а на їх основі створенню приладів захисту даної апаратури від дії різного роду потужних зовнішніх електромагнітних впливів (ЕМВ).

Дослідження уражаючих факторів ЕМЗ фактично почалися з початком перших випробувань ядерної зброї, де електромагнітний імпульс (ЕМІ) розглядався, як один з уражаючих факторів ядерної зброї. Тому виникла потреба в створенні систем захисту від впливу ЕМІ на радіоелектронні засоби (РЕЗ) і кола електрообладнання.

Проблемам досліджень уражаючої енергетичної дії ЕМВ і визначенню шляхів створення захисту від нього було присвячено ціла низка робіт [3 – 5]. В цих роботах створення захисту пропонується шляхом відбиття (відводу) уражаючої енергії електромагнітних хвиль, що засновано на законах теорії магнітного поля,

розповсюдженні і дифракції електромагнітних хвиль. На цих принципах розроблені екрани та запобіжні прилади для захисту окремих РЕЗ і кіл електрообладнання.

Згідно з результатами досліджень [6], на даний час універсальних систем захисту від ЕМЗ, які б забезпечували надійний захист об'єктів в усьому радіочастотному діапазоні, не існує. Однак, причина відсутності ефективних систем захисту полягає не в ступені досконалості окремих методів, способів та приладів, а в концептуальному, теоретичному підході (шляху) в цілому до вирішення цієї проблеми.

Метою статті є визначення підходів (шляхів) створення ефективного захисту РЕЗ і кіл електрообладнання об'єктів військового та державного призначення від зовнішнього ЕМВ.

Для цього необхідно провести аналіз енергетичних характеристик сучасних видів зброї ЕМІ, розглянути досвід випробувань і бойового застосування ЕМЗ арміями США, НАТО та інших країн і встановити рівень уражаючого енергетичного впливу, що веде до зміни технічного стану об'єктів ураження. В подальшому пропонується розглянути основні недоліки існуючих методів, способів та приладів захисту РЕЗ і кіл електрообладнання, виявити сукупність невідповідностей існуючого захисту і визначити окремі шляхи їх вирішення.

До складу зовнішніх ЕМВ входять впливи природного і штучного походження. До першої групи відносяться електростатичні і грозові розряди. До другої групи відносяться засоби ураження, що реалізуються в бойових умовах. Саме до цієї групи відносяться ЕМЗ та засоби її доставки.

Розглянемо на досвіді використання ЕМЗ армій США і країн НАТО в збройних конфліктах її руйнівний вплив на стан радіоелектронної апаратури і в першу чергу чисельні (енергетичні) характеристики її дії.

У перші два тижні війни проти Югославії на її територію було скинуто більше 400 надважких авіабомб JDAM. Було визначено, що

електромагнітні боєприпаси мають електронний вплив, електричний, електромеханічний, термофізичний і хімічний вплив на компоненти РЕЗ і кіл електрообладнання.

Електронний вплив проявляється як електронний (тимчасовий) пробій компонентів РЕЗ.

Електричний вплив здійснюється за рахунок стрибків напруги джерел живлення (як первинних, так і вторинних). Цей фактор призводить до виходу із ладу запобіжників, пробіів конденсаторів, трансформаторів, індуктивних дроселів та інших елементів, які мають реактивний опір.

Електромеханічний вплив полягає у створенні механічних сил за рахунок магнітного поля навколо провідників, а також механічних розривів через різну теплоємність елементів з'єднань.

Термофізичний вплив полягає у виникненні теплового (необоротного) пробію електронних компонентів різних типів і з'єднань в усіх системах, плавленні і вигоранні металізації (контактних доріжок), а також у безпосередньому впливі на вибухові речовини.

Хімічний вплив полягає у зміні та порушенні хімічного складу речовин, які використовуються в елементах радіотехніки (електролітичні конденсатори, масляні потенціометри, системи стабілізації та гальмування, гідросистеми і т. ін.) [7].

В табл. 1. [8] наведено параметри чутливості елементної бази РЕЗ в залежності від оборотних і необоротних видів їх ураження при дії зовнішнього ЕМВ.

З досвіду останніх збройних конфліктів (Югославія, Ірак), що проводили війська США та НАТО процеси, що відбуваються в РЕЗ при дії ЕМІ, залежать від матеріалу, конструктивних особливостей елементної бази РЕЗ та максимально допустимих енергетичних параметрів (вхідні та вихідні напруги і струми).

Тому в залежності від електромагнітної стійкості до зовнішніх ЕМВ усю чутливу до них апаратуру можна поділити наступні групи [8]:

напівпровідникові прилади (діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми, у тому числі аналогові НВЧ ММІС (Monolithic Microwave Integrated Circuitry), тощо);

електровакуумні прилади (радіолампи, магнетрони, клістрони, розрядники);

мікроелектромеханічні системи (МЕМС, Micro-Electro-Mechanical System);

електротехнічні пристрої (трансформатори, дроселі та інші, що мають реактивний опір);

світлочутливі прилади та елементи (фоторезистори, світлодіоди, світловоди);

електромеханічні (реле, електричні двигуни, електрозамки тощо);

термоелементи (термореле, термодатчики);

електрохімічні прилади (конденсатори, спіральні потенціометри, акумулятори);

прилади комутації та монтажу (міжблочні проводи, шлейфи, джгути, друковані плати, роз'єми).

Таблиця 1

Параметри чутливості і види ушкоджень виробів елементної бази радіоелектронних засобів при впливі зброї електромагнітного імпульсу

Клас виробу	Енергія, Дж	
	Деградація параметрів більше 10%	Структурні ушкодження
Генератори, електродвигуни, потужні силові трансформатори	$10^4 \dots 10^6$	$>10^7$
Котушки індуктивності	$10^{-2} \dots 10^{-1}$	>1
Реле, вимірювальні прилади, електродвигуни малої потужності, малопотужні трансформатори	$10^{-3} \dots 1$	>10
Електровакуумні і газорозрядні прилади	$10^{-2} \dots 10$	$>10^2$
Вакуумні електронні лампи, електронно-променеві трубки	$10^{-3} \dots 10$	$>10^2$
Резистори: дрові; плівкові (металоплівкові); композиційні	$10^{-4} \dots 10^2$ $10^{-4} \dots 10^{-2}$ $10^{-4} \dots 1$	$>10^3$ $>10^{-1}$ >10
Конденсатори: плівкові; танталові	$10^{-4} \dots 10^{-3}$ $10^{-6} \dots 1$	$>10^{-2}$ >10
Діоди напівпровідникові: випрямні і стабілізуювальні; сигнальні, перемикаючі, лавинні і тунельні; мікрохвильові	$10^{-4} \dots 1$ $10^{-6} \dots 10^{-2}$ $10^{-8} \dots 10^{-4}$	>10 $>10^{-1}$ $>10^{-3}$
Тиристори	$10^{-5} \dots 10^{-1}$	>1
Транзистори: великої та середньої потужності; малої потужності	$10^{-5} \dots 10^{-2}$ $10^{-7} \dots 10^{-4}$	$>10^{-1}$ $>10^{-3}$
Інтегральні мікросхеми і логічні елементи ЕОМ	$10^{-8} \dots 10^{-4}$	$>10^{-3}$

В табл. 2. [8, 9] вказаний характер пошкоджень елементної бази РЕЗ від імпульсного ЕМВ.

Таким чином після приведення енергетичних характеристик зовнішніх ЕМВ, що приводять до пошкодження та виходу з ладу чутливої до цих впливів апаратури, її електромагнітної стійкості та характеру пошкоджень розглянемо основні

недоліки існуючих методів, способів та приладів захисту РЕЗ і кіл електрообладнання.

Таблиця 2

Характер пошкоджень елементної бази радіоелектронних засобів від імпульсного електромагнітного впливу

Клас виробів	Характер пошкоджень
Напівпровідникові прилади	Різноманітні види пробою і структурних пошкоджень <i>p-n</i> -переходу
Інтегральні мікросхеми (ІМС)	Зміна параметрів діодів і транзисторів у складі ІМС, пробій тонкоплівкових конденсаторів, плавлення і випалення металізації, руйнування контактних доріжок резисторів
Відбивні клістри	Пробій електродних проміжків: відбивач-корпус, катод-корпус
Лампи зворотної хвилі	Пробій проміжків: керувальний електрод-корпус, фокусувальний електрод-корпус
Лампи біжучої хвилі	Пробій проміжків: катод-корпус, керувальний електрод-корпус
Лавинно-прольотні діоди	Пробій активного елемента
Генераторні і модуляторні лампи	Релаксаційні коливання в анодному колі при впливі імпульсної напруги до 3 кВ на анодний вивід, виводи екранувальної сітки і катода. Падіння до нуля анодного струму при впливі імпульсу на вивід керуючої сітки
Приймально-підсилювальні лампи	Пробій проміжку катод-підігрівач по поверхні ізоляції
Газорозрядні прилади	Хибне спрацювання
Резистори	Іскріння (внутрішній пробій), тепловий пробій між виводами високовольтних резисторів
Конденсатори	Пробій діелектриків, повітряних і вакуумних проміжків

В сучасних умовах основним методом захисту, що заснований на відбитті (відводі) уражаючої енергії, всіх без виключення радіоелектронних приладів, електричних мереж та кіл, ліній зв'язку і автоматики, енергетичного обладнання та комп'ютерних мереж є екранування [4, 5].

Екрануванням називається локалізація електромагнітного поля в певному просторі

шляхом обмеження його розповсюдження всіма можливими способами.

Найбільш поширений вид екрану – це металева замкнута оболонка, що перешкоджає попаданню електромагнітного поля в простір, зайнятий електронним пристроєм. Крім свого основного функціонального призначення екран виступає як елемент постійної конструкції і окрім ослаблення і поглинання енергії електромагнітного поля повинен володіти необхідною механічною міцністю, жорсткістю, зручністю закріплення в загальній конструкції приладу, мати мінімальні розміри і масу.

Тому вибір матеріалу екрану диктується з одного боку ефективністю захисту, а з іншого боку – виробничими умовами виготовлення (якщо ж екран використовується ще і як несучий елемент, то враховуються вимоги обумовлені і цією обставиною).

З фізичної точки зору екранування можна звести до наступного: хвилі електромагнітного поля частково відбиваються від зовнішньої поверхні екрану, частково поглинаються матеріалом екрану, а решта частини проходить крізь екран.

Недоліком екранування є наявність конструктивних і технологічних дефектів крізь які проникає уражаюча енергія ЕМІ.

В роботі [10] запропонований спосіб захисту бортових цифрових обчислювальних машин від дії ЕМІ, при якому проводять екранування електричної апаратури за допомогою металевих сіток та суцільних тонкостінних металевих листів.

Недоліками цього способу, є те, що при його використанні виникають великі проблеми з забезпеченням ефективного екранування об'єктів через технологічні складності виготовлення екранів в яких відсутні знов таки ж неоднорідності та дефекти (зокрема наявність вводів (отворів)), неможливість повного екранування електричних кіл та приладів через високу мобільність, специфіку і особливості застосування окремих об'єктів.

Крім того, в інших запропонованих екранах [11] недоліками є наявність вузлів (зварювальні, болтові з'єднання), дверей, прокладок, отворів, кабельних вводів та механічних впливів на екран.

В роботах [3, 12, 13] пропонуються такі пристрої захисту електричних мереж, як заземлення, захисні розрядники, гібридні фільтри, трансформатори і дроселі, роз'єднувачі та інші електромеханічні запобіжні пристрої, при використанні яких захист здійснюється за допомогою виключно якогось з цих пристроїв або завдяки їх комбінування в єдину схему захисту.

Недоліками захисних розрядників є великий час спрацювання, роз'єднувачів – велика інертність та можливість використання в обмежених випадках, фільтрів, трансформаторів і дроселів – необхідність відводу енергії, і всіх без виключення вищезазначених приладів – низька

стійкість до дії енергії ЕМІ приведених показників.

Всі ці прилади, що засновані на відбитті (відводі) уражаючої енергії електромагнітних хвиль, або як запобіжні роз'єднувачі, через велику енергетичну потужність і досконалість нових видів зброї ЕМІ, не забезпечують повного знешкодження уражаючої енергії.

Таким чином, універсального захисту РЕЗ і кіл електрообладнання від зброї ЕМІ з точки зору забезпечення не тільки ефективного екранування всього об'єкта, але також захисту отворів (вводів), які існують через конструктивні і технологічні дефекти в екранах існує. Хоча теоретичних розробок, що присвячені фізичним, хімічним, енергетичним та іншим основам вивчення ЕМВ достатньо.

Проблеми і складності під час створення ефективного захисту на нашу думку наступні:

збільшення долі електричної і радіоелектронної апаратури в військових і промислових об'єктах;

недостатня теоретична і експериментальна вивченість впливу наносекундних електромагнітних полів на електроніку;

недосконалість розробок в теоретичній і практичній сферах щодо створення захисту чутливої апаратури від ЕМВ;

недостатня кількість рекомендацій щодо технічних способів захисту РЕЗ і кіл електрообладнання, які відповідають рівням енергетичної потужності існуючих видів зброї ЕМІ;

недостатній рівень ефективності захисту радіоелектронної апаратури від ЕМВ з енергетичними параметрами, які властиві сучасним засобам ураження.

На основі вищезазначеного виникають невідповідності у теорії і практиці створення захисту, що тісно пов'язані між собою.

У теорії створення захисту виявлено невідповідність між існуючими теоретичними положеннями створення захисту на основі відбиття за допомогою екранування і часткового поглинання уражаючої енергії електромагнітних хвиль запобіжними пристроями захисту, що веде до короткочасного припинення функціонування систем управління і в той же час необхідністю повного, або часткового перетворення енергії ЕМІ в інший вид енергії для забезпечення безперервного функціонування та відповідної стійкості РЕЗ і кіл електрообладнання об'єктів в умовах ЕМВ.

Виникнення невідповідностей практичного характеру пов'язано з тим, що для збільшення стійкості апаратури чутливої 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. З іншого боку створення нових складних об'єктів військового і промислового призначення йде шляхом удосконалення систем автоматичного управління, навігаційних приладів, оптичних і телеметричних комплексів, що веде до збільшення частки чутливих до дії ЕМВ нових РЕЗ і кіл електрообладнання на окремому об'єкті.

Для успішного використання цієї апаратури і більш ефективного управління зразками ОБТ ускладнюється процес виготовлення екранів через збільшення конструктивних дефектів в екранах, а саме вводів (виводів), прокладок, кабельних підключень та інших отворів для успішного функціонування даної апаратури, що веде до зниження надійності екранів щодо забезпечення захисту апаратури. Вже не кажучи про технологічні дефекти, що пов'язані з виготовленням екранів: щілини, зварні з'єднання тощо. Тобто ми бачимо невідповідність між тенденцією створення ідеального екрану без конструктивних і технологічних дефектів і необхідністю поширення їх кількості в екранах через удосконалення систем управління відповідними об'єктами.

На основі окремих недоліків і невідповідностей у теорії і практиці створення захисту можна визначити протиріччя між рівнем розвитку засобів ураження та засобів захисту РЕЗ і кіл об'єктів ураження, що пов'язано з відсутністю досконало розроблених, відпрацьованих загально визначених підходів (шляхів) як на рівні визначення наукових проблем так і перевіреними в реальній дійсності перспективних рекомендацій. В практичній сфері це призводить до недостатньої забезпеченості будь-якими засобами захисту об'єктів від нетрадиційної зброї електромагнітної природи, що виключає можливість безвідмовного використання їх за призначенням в умовах ЕМВ.

Шляхами для створення ефективного захисту можуть бути методи захисту об'єктів від зовнішнього ЕМВ на основі перетворення енергії. В основу методів мають бути покладені науково-обґрунтовані положення, які полягають в визначенні оптимальних умов трансформації уражаючої енергії ЕМІ в енергію руху повітря та подальшого її перетворення в електричний струм визначених параметрів, що безпечний для функціонування електричних мереж і систем автоматичного управління об'єктами. Такий підхід виключає можливість передчасного спрацювання електричних мереж та забезпечить безперервне функціонування систем автоматичного управління окремих об'єктів в умовах ЕМВ. В даному випадку мова йде про захист отворів (вводів) в екранах.

Тому для забезпечення ефективного захисту стає необхідність створення захисних приладів на основі повного перетворення уражаючої енергії, або часткового перетворення тієї частки енергії, яку не вдалося знешкодити існуючим захистом [6].

Крім того пропонується підхід до створення комбінованого захисту. З одного боку захист отворів (вводів) в екранах за рахунок приладів перетворення енергії, з іншого: надійність самого екрану забезпечується структурою матеріалу захисту електронних компонентів систем автоматизації, що забезпечує поглинання потужних електромагнітних випромінювань в широкій смузі частот. Суть захисту, що пропонується полягає в використанні тришарового радіоізотопно-напівпровідникового покриття на внутрішніх стінках захисної екранованої камери [14].

Таким чином в статті на основі аналізу енергетичних характеристик сучасних видів зброї ЕМІ, рівня уражаючого енергетичного впливу, що

веде до зміни технічного стану об'єктів ураження, недоліків і невідповідностей існуючих методів, способів та приладів захисту пропонується напрямок, що заснований на повному знешкодженні уражаючої енергії ЕМВ, що проникає крізь отвори (вводи) в екранах шляхом її перетворення в інший вид енергії, який безпечний для даних приладів та підвищення ефективності самого екранування за рахунок пошарового захисту і використання композитних матеріалів покриття екрану.

В подальшому передбачається провести обґрунтування технічних вимог до створення відповідних захисних приладів отворів (вводів) в екранах та конструкції покриття захисного екрану.

Література

1. **Кравченко В.И.** Оружие на нетрадиционных физических принципах. Электромагнитное оружие / Владимир Кравченко. – Х. : [ХНМТ], 2009. – 266 с.
2. **Проблеми** медичного захисту людини від дії сучасних видів зброї / [Варус В.І., Мошак М.І., Лук'янчук І.А. та ін.] ; під ред. В.І. Варуса, А.Г. Голуба. – Кам'янець-Подільський, 2009. – 416 с.
3. **Рикетс Л.У.** Электромагнитный импульс и методы защиты / Л.У. Рикетс Бриджем Дж.С., Дж. Майлетта; [пер. с англ. В.Л. Литвинова, Ю.И. Чуракова]; под ред. Н.А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. – 327с.
4. **Мырова Л.О.** Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям / Л.О. Мырова, А.З. Чепыженко. – [2-е изд. перераб. и доп.] – М. : Радио и связь, 1988. – 296 с.
5. **Электромагнитные** излучения. Методы и средства защиты / [В.А. Богуш, Т.В. Борботько, А.В. Гусинский и др.] ; под ред. Л.М. Лынькова. – Мн : Бестпринт, 2003 – 406 с.
6. **Воробйов О.М.** Окремі теоретичні засади вирішення протиріч існуючого захисту озброєння і військової техніки від дії електромагнітного імпульсу / О.М. Воробйов, І.О. Власов, С.В. Селезньов // Збірник наукових праць ХУПС ім. Івана Кожедуба. – 2011. – № 4 (28) С. 20 – 23.
7. **Сотников А.М.** Анализ характеристик оружия на новых физических принципах и возможные направления противодействия / А.М. Сотников, П.В. Жуйков, Ю.В. Карпич // Збірник наукових праць ХУПС ім. Івана Кожедуба. – 2009. – №2(20). С.16 – 19.
8. **Зброя** на нетрадиційних принципах дії (стан,

тенденції, принцип дії та захист від неї) : [монографія] / [Ковтуненко О.П., Богучарський В.В., Слюсар В.І., Федоров П.М.]. – Полтава : ПВІЗ, 2006. – 247 с.

9. **Вавилов В.С.** Действие излучений на полупроводники : учеб. рук.-во / В.С. Вавилов, Н.П. Кекелидзе, Л.С. Смирнов – М. : Наука, 1988. – 192 с.
10. **Михайлов В.А.** Обеспечение стойкости бортовых цифровых вычислительных машин к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.12.04 “Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения” / В.А. Михайлов. – М., 2009. – 24 с.
11. **Защита** энергетического оборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений : сб. научн. труд. / отв. ред. А.А. Ализаде. – М. : ЭНИН им. Г.М. Крижановского, 1987. – 94 с.
12. **Защита** объектов народного хозяйства от оружия массового поражения / [Демиденко Г.П., Кузьменко Е.П., Орлов.П.П. и др.] ; под ред. Г.П. Демиденко. - [2-е изд. доп.]. – К. : Вища шк., 1989. – 287 с.
13. **Балюк Н.В.** Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты / Н.В. Балюк, Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов – М. : ООО «Группа ИДТ», 2007. – 478 с.
14. **Пат. 61314** Україна, МПК Н 01 Q 17/00 Пристрій для поглинання потужних електромагнітних випромінювань / О. М. Сотніков, Ю.В. Карпич, Я.М. Кожушко, Ю.М. Олійник, О.М. Балабуха; заявник і володар патенту ХУПС. – № у 2011 02663; заяв. 9.03.2011; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.

Проведен анализ энергетических характеристик внешних электромагнитных воздействий на объекты поражения и стойкости чувствительной к ним чувствительной радиоэлектронной аппаратуры. Определены основные недостатки существующей защиты потенциальных объектов поражения электромагнитным оружием. Предложены пути решения данной проблемы.

Ключевые слова: электромагнитное оружие, электромагнитный импульс, защита, радиоэлектронные средства.

The analysis of power descriptions of the external electromagnetic affecting is conducted objects of defeat and firmness of sensible to them sensible radio electronic apparatus. The basic lacks of existent defence of potential objects of defeat an electromagnetic weapon are certain. The ways of decision of this problem are offered.

Key words: electromagnetic weapon, electromagnetic impulse, defence, radio electronic facilities.