

Олег Михайлович Воробйов (доктор технічних наук, професор)¹

Володимир Васильович Ткаченко¹

Михайло Порфирійович Бамбуляк²

Сергій Віталійович Тягай (кандидат військових наук)²

¹ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

² Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, Кам'янець-Подільський,

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДО ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВПЛИВІВ

У статті окреслено низку питань, що актуалізують наявні проблеми забезпечення захисту радіоелектронної апаратури інформаційних систем технічних засобів Збройних Сил України від зовнішніх електромагнітних впливів. Здійснено аналіз наукових робіт в цій сфері і визначено, що напрямом створення захисту буде розробка комплексного методу створення такого захисту, який складається з двох складових, а саме захисту радіоелектронної апаратури інформаційних систем технічних засобів та захисту об'єкту зберігання цих засобів від зовнішнього електромагнітного впливу. Обґрунтовано узагальнений кількісний показник електромагнітної стійкості радіоелектронної апаратури інформаційних систем технічних засобів у межах якого вона спроможна виконувати свої функції і зберігати параметри в межах, встановлених у технічному завданні, під час і після електромагнітного впливу із заданими параметрами. Відповідно цих вимог, обрано і обґрунтовано часткові показники. Серед такої широкої групи показників визначено основні, що найбільш співпадають із досягненням кількісних величин, що відповідають меті – зниженню уражаючої дії зовнішнього електромагнітного впливу на об'єкти ураження до рівня їх граничної електромагнітної стійкості. В подальшому пропонується на основі визначених та обґрунтованих показників електромагнітної стійкості обґрунтувати технічні вимоги до створення захисту радіоелектронної апаратури інформаційних систем технічних засобів.

Ключові слова: інформаційні системи, радіоелектронна апаратура, електромагнітна стійкість.

Вступ

В сучасних умовах на озброєнні Збройних Сил України (далі – ЗС України) перебуває досить велика номенклатура матеріальних засобів. До їх складу входять технічні засоби, що обладнані інформаційними системами до складу яких входить радіоелектронна апаратура (далі – РЕА), що досить уразлива до зовнішніх електромагнітних впливів (далі – ЕМВ). Тому питання захисту цих об'єктів стає все більш актуальним.

Постановка проблеми. З досвіду російсько-української війни та проведення операції Об'єднаних сил [1] у ЗС України все частіше поширюється використання інформаційних технологій і, як функціональна їх складова, різного роду інформаційні системи, що розміщують як на стаціонарних, так і на технічних засобах. Крім того, через перехід на стандарти НАТО тенденція до збільшення кількості таких об'єктів поширюється. Слід зазначити, що до складу цих систем входить велика кількість РЕА, яка досить уразлива до сучасних видів перспективної зброї і заснована на використанні ЕМВ.

Тому вирішення питання щодо пошуку шляхів захисту інформаційних систем технічних засобів та їх впровадження є актуальною проблемою в сучасних умовах бойового використання ЗС України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що проблемам захисту РЕА інформаційних систем від ЕМВ різного виду походження надається значна увага як в нашій країні, так і в світі. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що до систем управління, керування, спеціального, робочого обладнання та інформаційних систем сучасних зразків технічних засобів входить велика кількість РЕА і ця тенденція з часом поширюється з одного боку, а імовірність ураження цих агрегатів з боку противника, терористичних груп чи ЕМВ природного походження збільшується з іншого боку [2; 3].

В роботах [4; 5] визначено фізичні механізми впливу потужного ЕМВ на елементну базу РЕА і запропоновано розробити комплексний метод створення захисту, який складається з двох складових, а саме захисту самого зразка технічних засобів та захисту об'єкту зберігання цих засобів від зовнішнього ЕМВ. Однак, в цих роботах, на думку авторів, не достатньо чітко були вибрані та обґрунтовані показники і критерії електромагнітної стійкості (далі – ЕМС) бо саме за цими параметрами формуються технічні вимоги до створення захисту РЕА інформаційних систем.

Метою статті є обґрунтування показників електромагнітної стійкості радіоелектронної

апаратури інформаційних систем до зовнішніх електромагнітних впливів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Рішення цього завдання пов'язане з необхідністю обґрунтувати узагальнений кількісний показник ЕМС радіоелектронної апаратури в межах якого РЕА спроможна виконувати свої функції і зберігати параметри в межах, встановлених у технічному завданні, під час і після ЕМВ із заданими параметрами. Відповідно цих вимог необхідно вибрати і обґрунтувати часткові показники.

На нашу думку, обрані часткові показники мають врахувати: параметри критичного навантаження РЕА і його математичні імовірнісні характеристики; екрануючі властивості РЕА; показники ЕМС радіоелектронної апаратури (максимальні значення енергії, напруги, струму, за яких з заданим рівнем ймовірності ще забезпечується робота РЕА у нормальному режимі) [6; 7].

З метою розроблення ефективного захисту РЕА логістичного забезпечення на ОЦЗ, пов'язаних з зовнішнім ЕМВ необхідно визначити показники і критерії, які характеризують об'єкти ураження (кіл електрообладнання і РЕА), джерело ЕМВ та механізм їх взаємодії.

До першої групи показників і критеріїв, що характеризують об'єкти ураження, а це саме структурні елементи РЕА, слід віднести наступні [7]:

а) режим роботи (ввімкнений стан; вимкнений стан);

б) характеристика приймальних пристроїв (ширина діаграми спрямованості приймальних пристроїв радіоелектронної апаратури; рівень бокових пелюсток засобів, які працюють в діапазоні довжин хвиль (радіолокаційні, навігаційні, зв'язку); коефіцієнт підсилення приймальних антен; робоча довжина хвилі приймальних пристроїв; ширина смуги пропускання приймальних пристроїв);

в) граничні рівні потужності (енергії), при яких настає функціональне ураження елементів РЕА;

г) ступінь захищеності елементної бази (характеристика пристроїв екранування; характеристика захисних пристроїв);

д) монтаж кабелів та дротів живлення (функціонального зв'язку між електронними блоками (вузлами, тощо)), їх довжина та ступінь екранування тощо.

Для даної групи показників перш за все необхідно мати інформацію щодо граничних рівнів потужності (енергії) ураження РЕА, на яку передбачається ЕМВ.

Із всієї номенклатури елементів електронної техніки найбільш уразливими є чутливі елементи приймальних пристроїв (різноманітні детектори та змішувальні надвисокочастотні діоди, фотоприймачі), а також інші елементи сучасної мікроелектроніки (польові транзистори,

інтегральні мікросхеми тощо). Стійкість елементів електронної техніки залежить як від конструктивно-технологічного виконання, так і від параметрів потужності джерела ЕМВ (друга група показників).

Під час розгляду питань, пов'язаних зі стійкістю РЕА до впливу магнітних полів, необхідно враховувати її антенні властивості, режими роботи, екранування, розміщення, особливості проходження сигналів, що впливають, тощо. На підставі цих даних можна оцінити оптимальні параметри випромінювання, які дадуть можливість вірогідно оцінити вплив на електронне обладнання та оцінити можливості протидії джерелам потужного ЕМВ.

До критеріїв і показників, які характеризують джерело потужного ЕМВ відносяться такі:

а) режим роботи (безперервне випромінювання; випромінювання серії (пачки) імпульсів; випромінювання поодиноким імпульсом);

б) форма імпульсу, що випромінюється (відео імпульс (електромагнітна зброя));

в) характеристики імпульсу, що випромінюється (тривалість імпульсу; тривалість фронтів відео імпульсу або тривалість зростання та спаду надвисокочастотного (далі – НВЧ) – імпульсу; полярність для відео імпульсу; довжина хвилі (діапазон довжин хвиль) випромінювання (для оптичного і НВЧ-випромінювання) або несуча частота (частота запобігання); потужність (енергія, інтенсивність) випромінювання;

г) характеристики системи випромінювання (форма та ширина діаграми спрямованості випромінювання (для радіодіапазону); розходження променя лазерного випромінювання, тощо).

До характеристик, які обумовлюють взаємозв'язок між джерелом потужного ЕМВ і приймального пристрою, на яке воно діє, відносяться такі:

а) взаємна орієнтація діаграм спрямованості джерела потужного випромінювання та приймального пристрою, на який здійснюється вплив;

б) відстань між джерелом і апаратурою, на яку воно діє. Відстань між джерелом випромінювання та об'єктом впливу можна поділити на зони А, Б, В, Г, Д (рис. 1);

в) збіг довжин величини хвилі випромінювання, що діє, і робочої довжини хвилі засобу, на який здійснюється вплив (в оптичному і мікрохвильовому діапазоні);

г) смуговий або поза смуговий вплив тощо.

Серед такої широкої групи вищезазначених характеристик необхідно визначити основні, що найбільш співпадають із досягненням кількісних величин, які відповідають меті щодо зниження уражальної дії зовнішнього ЕМВ на об'єкти ураження до рівня їх граничної ЕМС. Тобто мова йде про критерій ЕМС, який являє собою відношення величин і умов, що за результатами випробувань дозволяють (з використанням розрахункових і експериментальних даних) з

визначеним ступенем достовірності стверджувати, що імовірність збереження робочого стану кіл електрообладнання і РЕА від ЕМВ буде не менше допустимого значення.

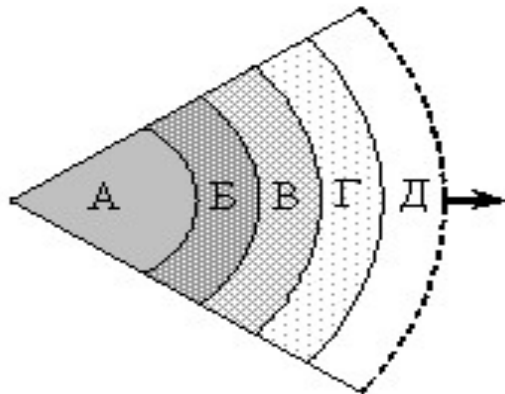


Рис. 1. Умовні зони дії потужного електромагнітного впливу на радіоелектронну апаратуру інформаційних систем:

А – досягнення функціонального ураження всієї радіоелектронної апаратури; Б – досягнення часткового функціонального ураження та тривалого функціонального подавлення; В – досягнення тривалого та короткочасного функціонального подавлення; Г – досягнення короткочасного або часткового функціонального подавлення; Д – безпечна [6].

ЕМС окремих кіл електрообладнання і РЕА інформаційних систем технічних засобів включає в себе поняття їх працездатності і безпеки. Працездатність – це спроможність кіл РЕА виконувати свої функції і зберігати параметри в межах заданих норм, а безпека – це властивість даної апаратури, що полягає у відсутності її спрацювання у випадку коли може трапитись поразка об'єкту. Тому якісними основними критеріями ЕМС радіоелектронної апаратури є такі:

- а) збереження робочого стану РЕА інформаційних систем під час дії ЕМВ;
- б) відсутність несанкціонованого спрацювання РЕА інформаційних систем від ЕМВ.

Кількісні критерії ЕМС окремих РЕА інформаційних систем можна використовувати співвідношення параметрів струмів і напружень, що наводяться в колах виробів, що оцінюються (x_i)

з допустимим значенням ($x_{iД}$):

за збереженням працездатності $\max x_i \leq x_{iД} / u_p$, де u_p – заданий квантіль рівня імовірності; по безпеці $\max x_i \leq 0,1x_{iД}$.

Параметри $x_{iД}$ відповідають параметрам критичного навантаження. Слід зазначити, що будь-який ЕМВ являється для РЕА навантаженням, яке складається з діючого первинного навантаження (Z), і діючого вторинного навантаження (X), що виникає в даній апаратурі під

дією первинного навантаження. З цієї точки зору нас цікавить вторинне навантаження, яке є реакцією РЕА інформаційних систем на зовнішній вплив (Z) і представляється за виразом:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{G}(\omega) \dot{K}(\omega) \cdot e^{\omega t} d\omega,$$

де $\dot{G}(\omega)$ – спектральна функція зовнішнього впливу Z ;

$\dot{K}(\omega)$ – комплексний коефіцієнт передачі РЕА.

Під час оцінювання ЕМС окремих РЕА інформаційних систем в загальному випадку величина вторинного навантаження $x(t)$ розглядається як випадкова величина, що розподіляється за нормальним законом. Під рівнем вторинного навантаження приймаємо значення його енергії в відповідному спектрі частот. Рівень вторинного навантаження, що викликає відказ РЕА інформаційних систем, називають критичним навантаженням (γ).

Висновки та перспективи подальших досліджень

Виходячи з цих міркувань, приймаємо узагальнений кількісний показник ЕМС радіоелектронної апаратури як ймовірність ($P_{ст}$), що РЕА інформаційних систем спроможні виконувати свої функції і зберігати параметри в межах, встановлених у технічному завданні, під час і після ЕМВ із заданими параметрами. Як часткові кількісні критерії ЕМС радіоелектронної апаратури пропонується використовувати такі показники:

параметри критичного навантаження РЕА інформаційних систем;

математичне сподівання критичного навантаження m_v ;

його середньоквадратичне відхилення σ_v ;

коефіцієнт варіації відхилення σ_v , що дорівнює σ_v / m_v ;

коефіцієнт запасу стійкості $\eta = m_v / m_x$, де замість математичного сподівання критичного m_v

і діючого m_x навантаження використовується їх середнє значення; екрануючі властивості РЕА інформаційних систем;

показники ЕМС кіл електрообладнання і РЕА (максимальні значення енергії, напруги, струму, за яких з заданим рівнем ймовірності ще забезпечується робота РЕА інформаційних систем у нормальному режимі) [8].

На основі визначених та обґрунтованих показників ЕМС, в подальшому проведемо обґрунтування вимог до створення захисту РЕА інформаційних систем технічних засобів, що лежать в основі запропонованого захисту.

Література

1. **Середа Ю. О.** Створення пошарового захисту об'єкту зберігання технічних засобів логістичного забезпечення від зовнішнього електромагнітного впливу. *Проблеми управління та застосування сил і засобів логістичного забезпечення в операціях (бойових діях) за досвідом відбиття збройної агресії росії та проведення операції Об'єднаних сил (АТО):* Тези доп. наук.-практ. сем. (Київ, 23 черв. 2022). Київ, 2022. С. 82. 2. **Ковтуненко О. П., Богучарський В. В., Слюсар В. І., Федоров П. М.** Зброя на нетрадиційних принципах дії (стан, тенденції, принцип дії та захист від неї) : [монографія]. Полтава, 2006. 247 с. 3. **Кравченко В. И.** Оружие на нетрадиционных физических принципах. Электромагнитное оружие. Харків : [ХНМТ], 2009. 266 с. 4. **Кравченко В. И.** Электромагнитное оружие : [монографія]. Хаків : [ХПИ], 2008. 185 с. 5. **Сівак В. А., Воробйов О. М., Середа Ю. О.** Порівняння енергетичних показників впливу сучасної електромагнітної зброї і критеріїв стійкості електрообладнання та радіоелектронної апаратури технічних засобів логістичного забезпечення. *Збірник наукових праць Національної академії державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького.* 2021. № 1(84). С. 254–271. 6. **Авчинников С. А.** Науково технічні проблеми розробки електромагнітної зброї. *Системи озброєння і військова техніка.* 2008. № 2(14). С. 18–22. 7. **Балюк Н. В., Кечиев Л. Н., Степанов П. В.** Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. Москва: ООО «Группа ИДТ». 2007. 478 с.

SELECTION AND JUSTIFICATION OF INDICATORS OF ELECTROMAGNETIC RESISTANCE OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT OF INFORMATION SYSTEMS TO EXTERNAL ELECTROMAGNETIC INFLUENCES

Oleh Vorobiov (Doctor of Technical Sciences, Professor)¹

Volodymyr Tkachenk¹

Mykhailo Bambulyak²

Serhiy Tygai (Candidate of Military Sciences)²

¹ *National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

² *Kamyanets-Podilskiy National University named after Ivan Ohienko, Kamyanets-Podilskiy, Ukraine*

The article is devoted to solving the problems of ensuring the protection of radio-electronic equipment of information systems of the technical means of the Armed Forces of Ukraine from external electromagnetic influences. The analysis of scientific works in this field was carried out and it was determined that the direction of creating protection will be the development of a complex method of creating protection, which consists of two components, namely the protection of radio-electronic equipment of information systems of technical means and the protection of the object of storage of these means from external electromagnetic influence. The article is devoted to solving the problems of ensuring the protection of radio-electronic equipment of information systems of the technical means of the Armed Forces of Ukraine from external electromagnetic influences. The analysis of scientific works in this field was carried out and it was determined that the direction of creating protection will be the development of a complex method of creating protection, which consists of two components, namely the protection of radio-electronic equipment of information systems of technical means and the protection of the object of storage of these means from external electromagnetic influence. In the future, it is proposed to justify the technical requirements for the creation of protection of radio-electronic equipment of information systems of technical means on the basis of determined and substantiated indicators of electromagnetic resistance.

Key words: *information systems; radio-electronic equipment; electromagnetic stability.*

References

1. **Sereda, Y. A.** Creation of layer-by-layer protection of the object of storage of technical means of logistic support against external electromagnetic influence. Problems of management and application of forces and means of logistical support in operations (combat operations) based on the experience of repelling armed aggression of Russia and conducting the operation of the United Forces (ATO): Thesis of the addendum. science and practice family (Kyiv, June 23, 2022). Kyiv, 2022, 82. 2. **Kovtunencko, O. P., Bogucharskyi, V. V., Slyusar, V. I., Fedorov, P. M.** Weapons based on non-traditional principles of action (status, trends, principle of action and protection against it): [monograph]. Poltava, 2006, 247. 3. **Kravchenko, V. I.** Weapons based on unconventional physical principles. Electromagnetic weapons. Kh.: [KhNMT], 2009, 266. 4. **Kravchenko, V. I.** Electromagnetic weapons: [monograph]. Kh.: [KhPI], 2008. 185. 5. **Sivak, V. A.** Rowing of energy indicators in addition to the current electromagnetics and criteria for the efficiency of electrical control and radioelectronic equipment of technical problems in logical safety, Book of Science Works of the National Academy of State Bridging Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, 2021, 1(84), 254–271. 6. **Avchinnikov, S. A.** Scientific and technical problems of the development of electromagnetics. Systems of health and safety and technology, 2008, 2(14), 18–22. 7. **Balyuk, N. V., Kechiev, L. N., Stepanov, P. V.** Powerful electromagnetic impulse: impact on electronic means and methods of protection. Moscow: IDT Group LLC, 2007, 478.