

УДК 355:24

Д. А. Іщенко, В. А. Кирилюк, І. А. Павленко, Д. В. Пясковський, А. М. Стариков

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ ДО ВПЛИВУ ЗБРОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ІМПУЛЬСУ

*У роботі проаналізовано основні технології створення зброї електромагнітного імпульсу та оцінено параметри очікуваного електромагнітного поля, утворюваного при її застосуванні, варіанти її впливу на різні типи радіоелектронної апаратури. Запропоновано методику оцінювання стійкості радіоелектронних засобів військових об'єктів до впливу зброї електромагнітного імпульсу за значенням коефіцієнта безпеки, яка передбачає: декомпозицію радіоелектронної системи на елементи, коефіцієнт безпеки яких оцінюють; розрахунок параметрів електромагнітного імпульсу; визначення напруг, що можуть наводитися на елементах системи та струмів, що в них протікатимуть. Коефіцієнт безпеки розраховують як відношення наведеної внаслідок впливу електромагнітного імпульсу напруги (струму) або виділеної енергії (потужності) до відповідного гранично-допустимого параметра. Коефіцієнтом безпеки системи вважають мінімальне із значень коефіцієнтів безпеки її критичних елементів. Критерієм стійкості розглядається забезпечення коефіцієнта безпеки не менше ніж заданий.*

**Ключові слова:** зброя електромагнітного імпульсу, стійкість, коефіцієнт безпеки

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Досвід ведення сучасних бойових дій у ході антитерористичної операції на території Донецької і Луганської областей підтверджує чільне місце радіоелектронної боротьби (РЕБ) у збройній боротьбі як ефективного методу дезорганізації управління і потребує прогнозування нових засобів, форм, способів впливу з використанням електромагнітного спектра та відповідного до них радіоелектронного захисту військових об'єктів і систем.

Стійкість радіоелектронних засобів (РЕЗ) військових об'єктів і систем є визначальним чинником щодо їх радіоелектронного захисту, а її оцінювання – першим етапом діяльності щодо радіоелектронного захисту. На сучасному етапі розвитку потреба захисту військових об'єктів і систем від електромагнітного імпульсу (ЕМІ) є новою. Її складова – потреба оцінювання стійкості РЕЗ до впливу зброї ЕМІ, за відсутності єдиного, прийнятного для розробників та військ, понятійного апарату та порядку оцінювання, обумовлюють часткову проблему радіоелектронного захисту військових об'єктів і систем від ЕМІ зброї ЕМІ. Відсутність стандартів (норм) і кількісних показників щодо захисту РЕЗ військових об'єктів від впливу зброї ЕМІ обмежує можливості щодо їх радіоелектронного захисту при застосуванні новітньої зброї ЕМІ та створення перспективних РЕЗ, стійких до впливу потужного ЕМІ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання радіоелектронного захисту РЕЗ військових об'єктів, зокрема, від впливу зброї ЕМІ досить широко висвітлені в значній кількості робіт. Ряд робіт присвячено загальним питанням створення електромагнітної зброї та її характеристикам [1–3], але не містять конкретних числових показників

створюваного ЕМІ. Питання захисту від ЕМІ розглядаються без наведення узагальненого критерію його відповідності вимогам, що висуваються. У роботах [4, 5] побудовано модель розповсюдження потужних ЕМІ. Узагальнені характеристики уразливого впливу ЕМІ наведено у [6–8]. Роботи [7–14] присвячені оцінюванню захищеності деяких систем, а [7, 8, 12] – впливу ЕМІ на конкретні елементи. Питання технічних заходів захисту від ЕМІ розглядається у роботах [8, 13–16]. У той же час в останніх проаналізованих роботах не висвітлено питання формування узагальненого критерію оцінювання стійкості РЕЗ військових об'єктів до впливу зброї ЕМІ.

**Постановка завдання дослідження.** Не вирішеною раніше частиною проблеми оцінювання ефективності радіоелектронного захисту є визначення стійкості РЕЗ військових об'єктів до впливу потужного ЕМІ. Відповідно метою статті є:

оцінювання числових показників потужного ЕМІ;

розроблення методики оцінювання стійкості РЕЗ військових об'єктів до впливу потужного ЕМІ, яка б враховувала різницю у впливі потужного ЕМІ на різні елементи системи та різний внесок елементів системи у її функціонування, а також формулювання критерію оцінювання стійкості.

Нехай:

елемент радіоелектронної системи розглядається як межа членування радіоелектронної системи з погляду вирішення конкретного завдання і поставленої мети;

вважається, що зброя ЕМІ – це спеціально розроблені і виготовлені неядерні засоби генерування потужного ЕМІ або послідовності імпульсів для ураження особового складу, військової техніки та матеріальних цінностей противника.

**Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінювання числових показників ЕМІ.** На сьогодні відома значна кількість конструкцій потужних генераторів, що можуть використовуватись для створення електромагнітної зброї [1–3]. Загалом вони поділяються на дві групи: низькочастотні (НЧ) та високочастотні (ВЧ).

НЧ генератори формують відеоімпульси, спектр яких знаходиться в межах до декількох МГц. Це створює певні труднощі в застосуванні компактних антенних систем, узгоджених із параметрами таких імпульсів. Тому практична реалізація зброї на НЧ генераторах потребує величезних антен, інакше більшість потужності генератора буде втрачатись.

ВЧ генератори використовують для отримання радіоімпульсів, спектр яких (для відомих генераторів) знаходиться у діапазоні понад 500 МГц. Однією з особливостей електромагнітної зброї на ВЧ генераторах є те, що вона дозволяє фокусувати енергію в напрямку на ціль за допомогою порівняно компактних антен.

НЧ та ВЧ генератори також суттєво відрізняються за характером проникнення випромінювання у радіоелектронну апаратуру, оскільки воно відбувається за рахунок наведення струмів на елементах апаратури, які є співмірними з довжиною хвилі. Відповідно, НЧ випромінювання проникає переважно через дротову інфраструктуру – телефонні лінії, кабелі живлення та інформаційного обміну. Тому обмежена спектральна смуга випромінювання таких генераторів робить їх вплив на радіоелектронну апаратуру досить вибіркоким. ВЧ випромінювання проходить прямо через антену або через конструктивні (у тому числі діелектричні) отвори, вентиляційні канали тощо. Ступінь

такого проникнення суттєво залежить від форми і розмірів отворів та спектра радіоімпульсу.

На сьогодні відомі такі основні типи потужних генераторів, які можуть бути використані для створення електромагнітної зброї:

НЧ генератори: вибухомагнітний генератор (Flux Compression Generator, FCG); магніто-гідродинамічний генератор (Magneto-HydroDynamic Generator, MHDG); генератор із лазера на вільних електронах; плазмоструменевий генератор; генератор на рефлекс-тріоді; SOS генератор (Semiconductor Opening Switch).

ВЧ генератори: віркатор або осцилятор з віртуальним катодом (Virtual Cathode Oscillator, Viricator); SG генератор (Spark Gap); широкосмугові магнетрони; релятивістські клістри; гіротрони.

Із наведених типів генераторів доцільно детальніше розглядати лише ті, які мають більшу ефективність та вже використовуються для створення електромагнітної зброї (за результатами аналізу відкритих іноземних джерел).

Вибухомагнітний генератор (ВМГ) здатний генерувати імпульси тривалістю десятки – сотні мікросекунд. Даний тип генераторів має один із найбільших значень коефіцієнта корисної дії – до 15%. За непідтвердженими даними, ВМГ може формувати імпульси потужністю до 20 ТВт, проте на практиці відомі автономні зразки такої зброї забезпечують потужність не більше 900 МВт.

Віркатор (Viricator) на сьогодні є найбільш поширеним серед інших ВЧ генераторів. За даними іноземних джерел, він здатний формувати радіоімпульси потужністю до 40 ГВт у дециметровому і сантиметровому діапазонах хвиль. Типове значення потужності випромінювання автономних зразків електромагнітної зброї на віркаторах (з урахуванням їх низького коефіцієнта корисної дії) становить близько 80 МВт.

Перспективні зразки зброї ЕМІ у середньостроковій перспективі навряд чи матимуть принципово вищу потужність випромінювання, що видно з динаміки розвитку такої зброї. Основним напрямком подальшого розвитку електромагнітної зброї, ймовірно, стане доведення існуючих (переважно дослідних) зразків до таких, що справді можуть масово та ефективно застосовуватись у реальних бойових діях.

Таким чином, аналіз наявної інформації зі створення зброї ЕМІ показує, що автономні мобільні зразки такої зброї забезпечують потужність випромінювання не більше 1 ГВт для низькочастотних зразків та 100 МВт – для високочастотних. У середньостроковій перспективі суттєве збільшення зазначених потужностей мало ймовірно.

Густина потоку потужності  $W$  ЕМІ та напруженість поля  $E$ , яку він створює, можуть бути розраховані за такими формулами [3]:

$$W = \frac{P_{nc} G_{nc}}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

$$E = \frac{\sqrt{60 P_{nc} G_{nc}}}{R}, \quad (2)$$

де  $W$  – густина потоку потужності ЕМІ, Вт/м<sup>2</sup>;

$E$  – напруженість поля ЕМІ, В/м;

$P_{nc}$  – потужність передавача ЕМІ, Вт;

$G_{nc}$  – коефіцієнт підсилення антени передавача ЕМІ;

$R$  – відстань від передавача ЕМІ, м.

Коефіцієнт підсилення антени  $G_{nc}$  для НЧ ЕМІ доцільно прирівняти до 1, оскільки використання спрямованих антен у такому частотному діапазоні технічно неможливе. Даний коефіцієнт для ВЧ ЕМІ доцільно прирівняти до 10, оскільки ймовірно використання слабоспрямованих антен. Тоді аналіз виразів (1) і (2) показує, що і для НЧ, і для ВЧ ЕМІ результати розрахунків будуть однаковими, оскільки добуток  $P_{nc} G_{nc}$  однаковий для обох класів генераторів.

Відповідно, у результаті розрахунків для максимальних енергетичних показників відомих та перспективних автономних зразків електромагнітної зброї (1 ГВт) отримаємо очікувані значення напруженості електричного поля, створюваного ЕМІ, та густини потоку потужності випромінювання, які наведено в табл. 1.

*Таблиця 1*

Амплітудні значення напруженості електричного поля та густини потоку потужності випромінювання для потужності генератора ЕМІ 1 ГВт

Найменування параметра	Значення параметра для відстані, м		
	10	100	1000
напруженість електричного поля, В/м	25000	2400	245
густина потоку потужності, Вт/м <sup>2</sup>	800000	8000	79

Наведені результати розрахунків доцільно використовувати як очікувані числові показники потужності ЕМІ (електромагнітних полів) сучасних та перспективних зразків зброї ЕМІ.

***Розроблення методики оцінювання стійкості РЕЗ військових об'єктів до впливу зброї ЕМІ.***

Вихідними даними для оцінювання стійкості до впливу ЕМІ є його характеристики. Загалом ЕМІ обстановка характеризується напруженістю полів електричного  $E$  і магнітного  $H$  у заданий момент часу, що описується функцією електромагнітного поля.

Для опису ЕМІ з погляду його впливу на радіоелектронну апаратуру використовують функцію спадання поля [17]:

$$\begin{cases} H(t) = H_m e^{-\alpha t}, \\ E(t) = E_m e^{-\alpha t}, \end{cases}$$

де  $H(t)$  – напруженість магнітного поля за межами екрана в час  $t$ ; А/м;

$E(t)$  – напруженість електричного поля за межами екрана в час  $t$ ; В/м;

$H_m$  – максимальна напруженість магнітного поля, А/м;

$E_m$  – максимальна напруженість електричного поля, В/м;

$\alpha$  – коефіцієнт загасання імпульсу.

Водночас такий опис не враховує наростання сигналу та закон змінення частоти імпульсу, що не повною мірою дозволяє оцінити ефективність екранування апаратури та застосування фільтрів.

Удосконалений опис функції електромагнітного поля має вигляд:

$$\begin{cases} H(t) = H_m \left( \frac{nt}{e\alpha} \right)^n e^{-\alpha t + j\omega(t)t}, \\ E(t) = E_m \left( \frac{nt}{e\alpha} \right)^n e^{-\alpha t + j\omega(t)t}, \end{cases}$$

де  $\omega(t)$  – закон зміни частоти імпульсу;

$n$  – параметр наростання сигналу.

Оцінені значення параметрів електромагнітного поля для проаналізованих типів електромагнітної зброї на відстані 100 м наведено в табл. 2.

Для розв'язання практичних задач з оцінювання впливу ЕМІ, крім наведених вище, використовують такі його параметри:

$t_n$  – час наростання амплітуди поля до максимального значення, с;

$t_c$  – час спаду амплітуди поля до рівня 0,1 відносно максимального значення, с;

$\tau_{0,5}$  – тривалість імпульсу по рівню 0,5, с;

$W_s$  – густина потоку енергії ЕМІ, Дж/м<sup>2</sup>.

Таблиця 2

Основні параметри електромагнітного поля, створюваного зброєю ЕМІ на відстані 100 м за потужності генератора ЕМІ 1 ГВт

Тип генератора	$H_m$ , А/м	$E_m$ , В/м	$n$	$\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> /с	$\Delta f$ , МГц
Низькочастотний	40–60	до 10 <sup>4</sup>	0,02–0,05	0,5–10	12–100
Високочастотний	25–30	до 10 <sup>4</sup>	0,1–0,4	0,1–0,5	500–1000

**Вибір критерію оцінювання стійкості.** У загальному випадку критерієм стійкості РЕЗ військових об'єктів є збереження працездатності під час і після дії ЕМІ.

Залежно від рівня складності і функціонального призначення РЕЗ військових об'єктів критерії стійкості можуть бути сформульовані таким чином.

Для простих схем:

відсутність на виході помилкових сигналів або допустимий час втрати працездатності;

допустимі спотворення форми вихідного сигналу;

допустима величина втрати інформації;

відсутність короткочасних збоїв або зривів коливань;

допустима величина зміни амплітуди (випрямлячів, стабілізаторів тощо) вихідної напруги або часу, протягом якого ці порушення допускаються.

Для вузлів і блоків апаратури: відсутність на виході хибних команд, видача яких не допустима; допустимий час відновлення параметрів апаратури після дії ЕМІ.

Показником стійкості елемента системи є коефіцієнт безпеки  $K_i$ , який визначають відношенням наведеної внаслідок впливу ЕМІ напруги (струму) або виділеної енергії (потужності) до відповідного гранично-допустимого параметра:

$$K_i = 20 \lg \frac{U_e}{U_d} = 20 \lg \frac{I_e}{I_d} = 10 \lg \frac{E_e}{E_d} = 10 \lg \frac{P_e}{P_d}, \quad (3)$$

де  $U_e$  – наведена напруга, В;

$U_d$  – гранично-допустима напруга, В;

$I_e$  – наведений струм, А;

$I_d$  – гранично-допустимий струм, А;

$E_e$  – виділена енергія, Дж;

$E_d$  – гранично-допустима енергія, Дж;

$P_e$  – виділена потужність, Вт;

$P_d$  – гранично-допустима потужність, Вт.

Стійкість системи в цілому кількісно характеризується мінімальним значенням коефіцієнта безпеки елементів, що входять до її складу:

$$K_c = \min\{K_i\}, \quad (4)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт безпеки  $i$ -го елемента системи.

Критерієм стійкості при цьому є значення  $K_c$  не менше ніж задане. За лінгвістичною шкалою стійкість системи оцінюється як «задовільна» та «незадовільна».

Для оцінювання захищеності РЕЗ військових об'єктів від зброї ЕМІ необхідно розглядати РЕЗ як електронну або електротехнічну систему. Це дозволяє здійснити декомпозицію системи на окремі елементи (ділянки) радіоелектронної апаратури, проаналізувати призначення кожного з них і виділення основних елементів, від яких залежить робота системи. Такими елементами зазвичай є підсистеми (блоки) живлення, антени (антенно-фідерні системи), інформаційно-комунікаційні підсистеми, апаратура перетворення (приймально-передавальні пристрої) тощо. Можлива і більш детальна декомпозиція систем до компонентів радіоелектронної апаратури. Ступінь декомпозиції визначається неоднорідністю значень коефіцієнта безпеки для елементів системи радіоелектронної апаратури, а також ступенем уніфікації та модульності апаратури.

Для кожного елемента системи радіоелектронної апаратури визначають можливі значення струмів і напруг, наведених від впливу ЕМІ, з урахуванням послаблюючої дії екрану.

Максимальне значення наведеної електрорушійної сили знаходять у такий спосіб [17]:

$$U_{eH} = \mu_0 H_{el} S, \quad (5)$$

$$U_{eE} = \frac{E_B l}{\eta}, \quad (6)$$

де  $\mu_0 = 1,2563706 \cdot 10^{-6}$  Гн/м – магнітна стала;

$H_{el}$  – максимальна напруженість магнітного поля навколо елемента, А/м;

$S$  – еквівалентна площа наведення, м<sup>2</sup>;

$l$  – еквівалентна довжина наведення, м;

$\eta$  – коефіцієнт екранування;

$E_B$  – максимальна напруженість електричного поля навколо елемента, В/м.

Максимальне значення наведеного струму визначають як

$$I_e = \frac{U_e}{R}, \quad (7)$$

де  $R$  – опір кола, Ом.

При розрахунку значень напруженості електричного поля слід враховувати ефекти екранування.

Так максимальне значення напруженості електричного поля всередині екрана становить [17]:

$$E_{em} = E_m \frac{3\omega\epsilon_0 a}{2\sigma d}, \quad (8)$$

де  $E_{em}$  – максимальна напруженість електричного поля всередині екрана, В/м;

$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$  Ф/м – електрична стала;

$d$  – товщина стінки екрана, м;

$a$  – радіус екрана, м;

$\sigma$  – питома провідність матеріалу екрана, См/м.

Максимальне значення напруженості електричного поля при розташуванні екрана в ґрунті [17]:

$$E_{em} = E_m \frac{3\omega\epsilon_0 a}{2\sigma d} \sqrt{\sigma_g^2 + (\epsilon_g \omega)^2}, \quad (9)$$

де  $E_{em}$  – максимальна напруженість електричного поля всередині екрана, В/м;

$\epsilon_g$  – відносна електрична проникність ґрунту;

$\sigma_g$  – питома провідність ґрунту, См/м.

Максимальне значення напруженості магнітного поля всередині екрана [17]:

$$H_{em} = H_m \frac{R_s}{\sqrt{R_s^2 + L_s^2}}, \quad (10)$$

де  $H_{em}$  – максимальна напруженість магнітного поля всередині екрана, А/м;

$L_s$  – еквівалентна послідовна індуктивність екрана, Гн;

$R_s$  – еквівалентний послідовний опір екрана, Ом (для сферичного екрана  $L_s = \frac{2\pi\mu_0 a}{9}$ ;

$R_s = \frac{2\pi}{3d\sigma}$ ).

Значний вплив на якість екранування чинить наявність в екрані отворів. Знаходження складових магнітного поля в будь-якій точці всередині екранованої камери за наявності отворів описують такими виразами [16]:

$$H_r = \frac{4R^3 H_0 \sin \varphi \sin \theta}{3\pi r^3}, \quad (11)$$

$$H_{\varphi} = \frac{2R^3}{3\pi r^3}, \quad (12)$$

$$H_{\theta} = \frac{2R^3}{3\pi r^3} H_0 \sin \varphi \sin \theta, \quad (13)$$

де  $H_0$  – дотичне магнітне поле поза камерою, А/м;

$R$  – радіус отвору, м;

$r$  – відстань від центра отвору до точки вимірювань, що розглядається, м;

$\varphi$  і  $\theta$  – відповідно азимутальний кут відносно  $H_0$  і полярний кут відносно нормалі до отвору.

Усереднені значення послаблення поля для різних форм отворів наведено в табл. 3 [18].

*Таблиця 3*

Значення коефіцієнтів послаблення поля для різних форм отворів

Форма отвору	Коефіцієнт послаблення поля $\alpha$	
	Електричного $\alpha_E$	Магнітного $\alpha_H$
Колове, радіусом $r_0$	$\frac{2,4}{r_0}$	$\frac{1,84}{r_0}$
Прямокутне, шириною $b$ і довжиною $a$ (вектор $H_i$ орієнтований паралельно малій стороні отвору)	$\pi \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}$	$\frac{\pi}{b}$

Отже, методика оцінювання стійкості військових об'єктів, радіоелектронних засобів та електронних пристроїв до впливу потужного електромагнітного імпульсу містить такі складові:

- 1) визначення ЕМІ обстановки, що очікується (за невідомих параметрів поля для розрахунків беруться такі:  $E_m = 10^4$  В/м;  $H_m = 25$  А/м;  $t_n = 10^{-8}$  с;  $t_c = 10^{-6}$  с);
- 2) умовна декомпозиція електронної або електротехнічної системи на окремі елементи (ділянки), аналіз призначення кожного з них і виділення основних елементів, від яких залежить робота системи;
- 3) визначення за виразами (5–7) можливих значень струмів і напруг в елементах системи, наведених від впливу ЕМІ, з урахуванням послаблюючої дії екрана (вирази (8–10)) та наявності отворів у екрані (вирази (11–13), табл. 3);
- 4) розрахунок за виразом (3) коефіцієнта безпеки елементів системи та його лінгвістичного відповідника;
- 5) розрахунок за виразом (4) коефіцієнта безпеки системи та оцінювання стійкості системи за лінгвістичною шкалою;
- 6) оцінювання запасу стійкості системи, якщо  $K > 40$  дБ, то стійкість задовільна.

За умови отримання меншого запасу стійкості визначаються елементи з найменшим значенням коефіцієнта стійкості (найбільш уразливі місця (елементи) системи) та необхідні організаційні й інженерно-технічні заходи щодо підвищення стійкості вразливих елементів і системи в цілому з урахуванням економічної доцільності. Для вибору конкретних технічних рішень щодо забезпечення радіоелектронного захисту РЕЗ



військових об'єктів від впливу потужного ЕМІ необхідно враховувати характеристики та розміщення апаратури цих об'єктів.

**Висновок.** Запропонована методика оцінювання стійкості радіоелектронних засобів військових об'єктів до впливу зброї ЕМІ дозволяє оцінити їх стійкість з урахуванням екранування за наявності отворів, визначити найбільш уразливі критичні елементи системи та оцінити необхідні організаційні та інженерно-технічні заходи щодо підвищення стійкості. Напрямок подальших досліджень є розроблення методики оцінювання стійкості радіоелектронних засобів військових об'єктів до впливу електромагнітної зброї інших типів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко В. И. Электромагнитное оружие / В. И. Кравченко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2008. – 185 с.
2. Столярчук А. В. Принципы создания комплексированного ВМГ / А. В. Столярчук, В. И. Чумаков // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития : 2-й Международный радиоэлектронный форум : сб. науч. трудов. – Х. : АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. – Т. 6. – С. 92–95.
3. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / [Э. И. Асиновский, Е. Ф. Лебедев, А. А. Леонтьев и др.] ; под ред. В. Е. Фортова. – М. : Наука, 2002. – 399 с. – ISBN 5-02-002602-6.
4. Модель распространения мощных электромагнитных излучений, наведенных комбинированными взрывом магнитными генераторами / Д. Б. Кучер, А. И. Харланов, И. В. Медведь и др. // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2010. – № 4. – С. 41–45.
5. Коломиец Е. В. Оценка электромагнитных полей внутри здания при поражении его молнией / Е. В. Коломиец // Сборник докладов седьмой научно-технической конференции по электромагнитной совместимости ЭМС-2002. – СПб, 2002. – С. 67–72.
6. Кравченко В. И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства / В. И. Кравченко. – Х. : Изд-во «НТМТ», 2010. – 292 с. – ISBN 978-617-578-005-3.
7. 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», 2009. – 478 с. – ISBN: 978-5-94833-083-9.
8. Кравченко В. И. Грозазащита радиоэлектронных средств : справочник / В. И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.
9. Ермаков Г. В. Особенности блокирования радиоприемных устройств управления взрывными устройствами с магнитными антеннами / Г. В. Ермаков, И. И. Зима // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития : 3-й Международный радиоэлектронный форум : сб. науч. трудов. – Х. : АНПРЭ, ХНУРЭ, 2008. – С. 186–188.
10. Особенности воздействия мощных электромагнитных излучений на радиоэлектронные средства УКВ диапазона / Д. Б. Кучер, С. В. Тараненко, В. П. Макогон та ін. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х. : ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2008. – Вип. 3(18). – С. 44–47.

11. Measurement of the Division of Lightning Return Stroke Current Among the Multiple Arresters and Grounds of a Power Distribution Line / Carlos T. Mata, Vladimir A. Rakov, Keith J. Rambo та ін. // IEEE Transactions on power delivery, Vol. 18 № 4, October 2003. – P. 1203 – 1208.
12. Моделирование теплового механизма в полупроводниках при импульсном воздействии ЭМП / Ю. Ф. Лонин, В. И. Чумаков, А. В. Столярчук та ін. // ВАНТ, Серия «Яд.-физ. иссл.», 2004. – № 2. – С. 203–205.
13. Коротков С. В. Методы обеспечения стойкости перспективных систем радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи к воздействию мощных импульсных электромагнитных помех : дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.12.13 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» / Владимир Викторович Воскобович. – М. – 2002. – 175 с.
14. Кучер Д. Б. Мощные электромагнитные излучения и сверхпроводящие защитные устройства / Д. Б. Кучер. – Севастополь : Ахтиар, 1997. – 240 с.
15. Барсуков В. С. Электромагнитный терроризм: защита и противодействие / В. С. Барсуков // Специальная техника. – М. – 2003. – № 6. – С. 25–36.
16. Рикетс Л. У. Электромагнитный импульс и методы защиты / Рикетс Л. У., Бриджем Дж., Майлетта Дж. Э. ; [пер. с англ. В. Л. Литвинова, Ю. И. Чуракова] ; под ред. Н. А. Ухина. – М. : Атомиздат, 1979. – 327 с.
17. 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. – 127 с.
18. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин, А. И. Куприянов, В. Г. Пономарев, Л. Н. Шустов. – М. : Вузовская книга, 2007. – 468 с.

Подано 01.08.2016

**Д. А. Ищенко, В. А. Кирилюк, И. А. Павленко, Д. В. Пясковский, А. Н. Стариков.  
МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ  
СРЕДСТВ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ОРУЖИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА**

*В работе проведен анализ основных технологий создания оружия электромагнитного импульса и осуществлено оценивание параметров ожидаемого электромагнитного поля, создаваемого при его применении, оценены варианты воздействия оружия электромагнитного импульса на разные типы радиоэлектронной аппаратуры. Предложена методика оценивания устойчивости радиоэлектронных средств военных объектов к воздействию оружия электромагнитного импульса по значению коэффициента безопасности, предполагающая: декомпозицию радиоэлектронной системы на элементы, коэффициент безопасности которых оценивается; расчет параметров электромагнитного импульса; определение напряжений, которые могут наводиться на элементах системы, и токов, которые в них будут протекать. Коэффициент безопасности рассчитывают как отношение наведенного вследствие воздействия электромагнитного импульса напряжения (тока) или выделенной энергии*

(мощности) к гранично-допустимому параметру. В качестве коэффициента безопасности системы принимают минимальное из значений коэффициентов безопасности ее критических элементов. Критерием устойчивости рассматривается обеспечение коэффициента безопасности не менее заданного.

**Ключевые слова:** оружие электромагнитного импульса, устойчивость, коэффициент безопасности

**D. A. Ishchenko, V. A. Kyrylyuk, I. A. Pavlenko, D. V. Pjaskovskiy, A. M. Starikov.  
METHODS OF ESTIMATING THE STABILITY OF RADIO-ELECTRONIC MEANS  
OF MILITARY FACILITIES TO THE EFFECTS OF AN ELECTROMAGNETIC  
PULSE WEAPON**

*The paper analyzes the key technologies create an electromagnetic pulse weapon and carried out assessment of the expected parameters of the electromagnetic field generated in its application. Estimated impact of variations of electromagnetic pulse weapons for different types of electronic equipment. The method of estimating the stability of radio-electronic means of military facilities to the effects of electromagnetic pulse weapons by value safety factor. The technique involves: decomposition of electronic system elements, the safety factor is estimated; calculation of electromagnetic pulse parameters; determining voltages, which are induced on the elements of the system is the current that will flow therein. The safety factor is calculated as the ratio of the induced voltage due to electromagnetic (current) pulse or the released energy (power) to the boundary permissible characteristics. As a system safety factor taking the minimum of the values of safety factors of its critical elements. The criterion of stability is considered a safety factor to ensure no less than the specified value.*

**Keywords:** electromagnetic pulse weapons, stability, safety factor