

*Маишталір Вадим Віталійович (доктор історичних наук, професор)<sup>1</sup>*

*Шовкошитний Ігор Іванович (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)<sup>1</sup>*

*Єфіменко Ірина Василівна<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Національний університет оборони України, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Національна академія Служби безпеки України, Київ, Україна*

## МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНОРІДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ЗАХИСТУ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО ЕВРИСТИЧНОГО МЕТОДУ ВИРІШАЛЬНИХ МАТРИЦЬ

Насичення бойових порядків засобами зв'язку, радіоелектронної розвідки, радіонавігації та радіоелектронного подавлення породжує проблему їх сумісного, одночасно ефективного та безпечного застосування в єдиному фізичному, електромагнітному просторі та у часі. Для вирішення проблеми або зменшення можливих негативних наслідків неузгодженого застосування радіоелектронних засобів у межах угруповань військ (сил) плануються та здійснюються заходи радіоелектронного захисту. Проведення таких заходів потребує оцінювання з метою вибору найкращих варіантів. Наразі комплексних аналітичних методик і моделей для оцінювання ефективності системи різномірних організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту не існує. Проте для пошуку рішень можуть бути застосовані евристичні методи, які ґрунтуються на правилах та експертному досвіді прийняття рішень. З урахуванням цього, стаття присвячена вирішенню актуального наукового завдання, яке полягає у висвітленні моделі оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту в угрупованні військ (сил) на основі модифікованого евристичного методу вирішальних матриць. Крім того, запропоновано блок-схему моделі та структуру дерева цілі, яку розроблено з урахуванням змісту радіоелектронного захисту. Викладені пропозиції щодо модифікації методу вирішальних матриць та його адаптації для вирішення задачі оцінювання ефективності заходів радіоелектронного захисту. Під час проведення дослідження у статті застосовано положення системного підходу, евристичний метод вирішальних матриць, методи експертного оцінювання та парних порівнянь і формальної логіки. Поєднання таких методів дало змогу системно підійти до формування розглянутої моделі. Наукова новизна полягає у запропонованій моделі, яка базується на модифікованому евристичному методі вирішальних матриць. На відміну від базової версії методу, у модифікованому методі вперше побудована структура дерева проблеми оцінювання рівня ефективності різномірних заходів радіоелектронного захисту, використано спрощений формалізований підхід до отримання та оброблення експертних даних, реалізовано додатковий рівень оцінювання ефективності, що дає змогу здійснювати послідовну зортку оцінок заходів і завдань радіоелектронного захисту. Практична значущість отриманих результатів дослідження для воєнно-оборонної сфери зводиться до можливості застосування запропонованої моделі та модифікованого евристичного методу для оцінювання слабо формалізованих складних неоднорідних систем з отриманням оцінок за відсутності чіткої шкали критеріїв за принципом «найбільш вагомого кластера». Доцільність та можливість практичного застосування моделі підтверджено висвітленими прикладами розрахунків, які проведені для декількох варіантів вхідних даних.

**Ключові слова:** радіоелектронний захист, організаційно-технічні заходи, оцінювання ефективності, евристичні методи, модифікований метод вирішальних матриць.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід ведення бойових дій в російсько-українській війні, що відрізняється високою технологічністю, свідчить про стале зростання масштабів застосування радіоелектронних засобів (далі – РЕЗ) у системах управління військами (силами) і зброєю. Загалом, *радіоелектронний захист* являє собою комплекс організаційно-технічних заходів і дій, спрямованих на

забезпечення стійкої роботи своїх систем управління військами (силами) і зброєю [2]. Вони організовуються та проводяться з метою забезпечення стійкої роботи систем і засобів управління своїми військами (силами) та зброєю в умовах ведення противником радіоелектронної боротьби (далі – РЕБ) та взаємного впливу РЕЗ. Насичення бойових порядків засобами зв'язку, радіоелектронної розвідки, радіонавігації та радіоелектронного

подавлення породжує проблему їх сумісного, одночасно ефективного і безпечного застосування в єдиному фізичному, електромагнітному просторі та в часі. Зазначене підтверджується бойовим досвідом. Наприклад, у Силах оборони України досі відсутня ефективна система контролю власних засобів радіоелектронної боротьби, що в тактичній ланці призводить до зриву виконання завдань власними безпілотними літальними апаратами [1]. Відмічаються часті випадки ненавмисного, так званого, «дружнього подавлення» навігаційних приймачів, радіоліній управління та передачі даних. Для вирішення проблеми або зменшення можливих негативних наслідків неузгодженого застосування РЕЗ в межах угруповань військ (сил) зазвичай плануються та здійснюються заходи радіоелектронного захисту (далі – РЕЗт), що передбачають проведення комплексу організаційно-технічних заходів і дій, спрямованих на забезпечення стійкої роботи своїх систем управління військами (силами) і зброєю. Вони організуються і проводяться з метою забезпечення стійкої роботи систем й засобів управління своїми військами (силами) й зброєю в умовах ведення противником радіоелектронної боротьби та взаємного впливу РЕЗ. Проведення таких заходів потребує оцінювання з метою вибору найкращих варіантів взаємного розміщення та застосування РЕЗ різного призначення. Проте, оскільки заходи РЕЗт є доволі різномірними, оцінювання їх ефективності потребує розроблення відповідного методичного апарату, який з одного боку має враховувати сутність і специфіку окремих заходів, а з іншого – давати змогу системно оцінювати цю сукупність різномірних заходів. Наразі комплексних аналітичних методик і моделей для оцінювання ефективності системи заходів РЕЗт не існує. Але на практиці для пошуку рішень, оцінювання складних систем часто застосовуються евристичні методи, що ґрунтуються на правилах логіки та експертному досвіді прийняття рішень у ситуаціях, де ідеальний або оптимальний розв'язок не є доступним або непрактичним. Ці методи використовуються для визначення наближених рішень у складних або недостатньо формалізованих задачах. Подібні методи можуть бути використані й у галузі оцінювання заходів РЕЗт. Ураховуючи тенденції російсько-української війни, у якій застосовується значна кількість різномірних РЕЗ, подібні питання є, безумовно, актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зміст заходів радіоелектронного захисту частково розглянуті у [2; 3], де наведена загальна характеристика організаційних і технічних методів щодо захисту РЕЗ від активних радіозавад, високочотної зброї, електромагнітного і іонізуючого випромінювань, забезпечення електромагнітної сумісності (далі – ЕМС). Натомість питання оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту в наведених публікаціях системно не розглядалися. Переважна більшість авторів віддає

перевагу методичним положенням оцінювання ефективності лише окремих завдань (заходів) [4; 5]. Проте очевидно, що сукупність заходів РЕЗт необхідно розглядати як складну систему, особливо якщо мова йде про необхідність оцінювання її ефективності.

Загалом питанням оцінювання складних систем присвячена значна кількість наукових публікацій. Багатьма авторами підкреслюється нетривіальність подібних завдань і необхідність застосування системного підходу до їх розв'язання. Зокрема, відповідно до [6; 7] якість функціонування об'єкта оцінюється сукупністю властивостей, що мають кількісне вираження (критерії якості). За таких умов, вибір властивостей об'єкта здійснюється особою, яка приймає рішення (далі – ОПР), і яка, спираючись на власні знання та досвід, має здійснити декомпозицію задачі, результатом чого, зазвичай, є ієрархічна структура. Складність задачі визначається кількістю рівнів ієрархічної декомпозиції властивостей об'єктів, а розв'язання задачі здійснюється переважно за допомогою механізму скалярної згортки векторного критерію [6]. Проте визнається, що в кожному конкретному випадку залежно від об'єкта оцінювання та його властивостей, глибина декомпозиції може бути різною. У [7] визначено, що центральною проблемою є композиція критеріїв за рівнями ієрархії, що є основою для формування скалярних згорток, а також розглянуто необхідні та достатні умови отримання векторної оцінки об'єкта. У [8; 9] викладена сутність методу вирішальних матриць, запропонованого академіком Г. С. Поспеловим. Базова версія методу, в основу якого також було покладено принцип ієрархій, розглядалась як засіб стратифікованого уявлення проблеми з великою невизначеністю, поступового її розкладання на підпроблеми із покроковим отриманням оцінок. Метод призначався для використання під час створення складних виробничих комплексів, реалізації великих проєктів і організації вирішення інших аналогічних проблем. З огляду на це, передбачалось визначення впливу на проєктований об'єкт фундаментальних науково-дослідних робіт для того, щоб у подальшому здійснювати їх планування та проводити розподіл матеріальних ресурсів між ними. Оскільки метод передбачав використання експертних оцінок, які напряму отримати досить складно, автором було запропоновано спосіб отримання від експертів достатньо об'єктивних і достовірних оцінок [9; 10]. Зокрема, з метою полегшення задачі, автором методу було запропоновано поетапне оцінювання за відповідними рівнями: «напрями (підпроблеми), що вирішуються – дослідно-конструкторські роботи (ДКР), що необхідно провести за цими напрямками – прикладні науково-дослідні роботи (НДР), що мають передувати прикладним роботам – фундаментальні НДР, які мають бути проведені». Передбачалося, що ступінь зв'язку між цими рівнями може бути подана у вигляді поетапно отримуваних експертних оцінок ступенів внеску (корисності) певної роботи одного

рівня в роботу (задачу) наступного рівня в такій послідовності: «фундаментальні НДР → прикладні НДР → ДКР → напрями або підпроблеми, що вирішуються». Водночас слід наголосити, що метод створювався для вирішення задач у галузі створення великих наукоємних проєктів. Тому його використання без певної адаптації у галузі оцінювання ефективності заходів РЕЗт є неможливим.

Отже проведений аналіз досліджень і публікацій дає змогу зробити висновок, що методик та моделей для комплексного оцінювання ефективності заходів РЕЗт не існує.

**Метою статті** є розроблення моделі оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту на основі модифікованого евристичного методу вирішальних матриць, що може бути корисним для органів

управління в процесі планування застосування радіоелектронних засобів угруповань військ (сил).

### Виклад основного матеріалу дослідження

Перед визначенням ввідних даних, які будуть використані у моделі, пропонується розглянути складові радіоелектронного захисту (рис. 1). Оскільки сили і засоби, що залучаються в угрупованні військ (сил) до виконання завдань із радіоелектронного захисту РЕЗ, є доволі різномірними, а система заходів поєднує технічні та організаційні (слабко формалізовані) заходи, у моделі оцінювання ефективності заходів РЕЗт пропонується використати один з якісних евристичних методів системного аналізу, який може бути доцільним в умовах відсутності чіткого опису закономірностей системи у вигляді аналітичних залежностей.



Рисунок 1 – Складові радіоелектронного захисту

Загалом, основна ідея евристичних методів полягає у тому, щоб швидко знаходити прийнятні або задовільні рішення, не претендуючи на гарантовану оптимальність. Такі методи можуть бути ефективними у випадках, коли задача має значний обсяг даних, велику кількість варіантів розв'язку або коли вона складно формалізується математично. Зокрема, для розв'язання задач оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів РЕЗт пропонується застосувати модифікований метод вирішальних матриць, базова версія якого розроблена як засіб стратифікованого відображення проблеми зі значною невизначеністю з послідовним поділом на підпроблеми та покроковим отриманням оцінок із залученням експертів [8; 10].

Ураховуючи, що отримання від них прямих об'єктивних і достовірних оцінок впливу окремих завдань РЕЗт на її очікуваний рівень є практично неможливим, задачу пропонується розглядати у вигляді декількох рівнів: проблема – складові РЕЗт – заходи, що виконуються за цими складовими – рівні виконання зазначених заходів. З метою пояснення послідовності розв'язання задачі оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів РЕЗт в угрупованні військ (сил) на основі модифікованого евристичного методу вирішальних матриць розроблена узагальнена блок-схема моделі, що наведена на рис. 2, та проведена формалізація ввідних даних.

Зокрема, складові РЕЗт позначимо так:

$a_1$  – захист РЕЗ від радіоелектронної розвідки

противника;

$a_2$  – захист РЕЗ управління військами (силами) і зброєю від ураження самонавідною на випромінювання зброєю;

$a_3$  – захист РЕЗ від радіоелектронного подавлення (далі – РЕП) противника;

$a_4$  – захист від іонізуючого та електромагнітного випромінювання;

$a_5$  – захист РЕЗ від ураження електромагнітною зброєю противника;

$a_5$  – виконання заходів щодо забезпечення ЕМС

РЕЗ.

Заходами, що проводяться в інтересах зазначених складових РЕЗт, є:

$b_1$  – РЕП відповідних РЕЗ противника;

$b_2$  – введення противника в оману демонстративними діями, імітацією, радіодезінформацією;

$b_3$  – проведення органами управління (далі – ОУ) та частинами (підрозділами) угруповання військ (сил) організаційно-технічних заходів;

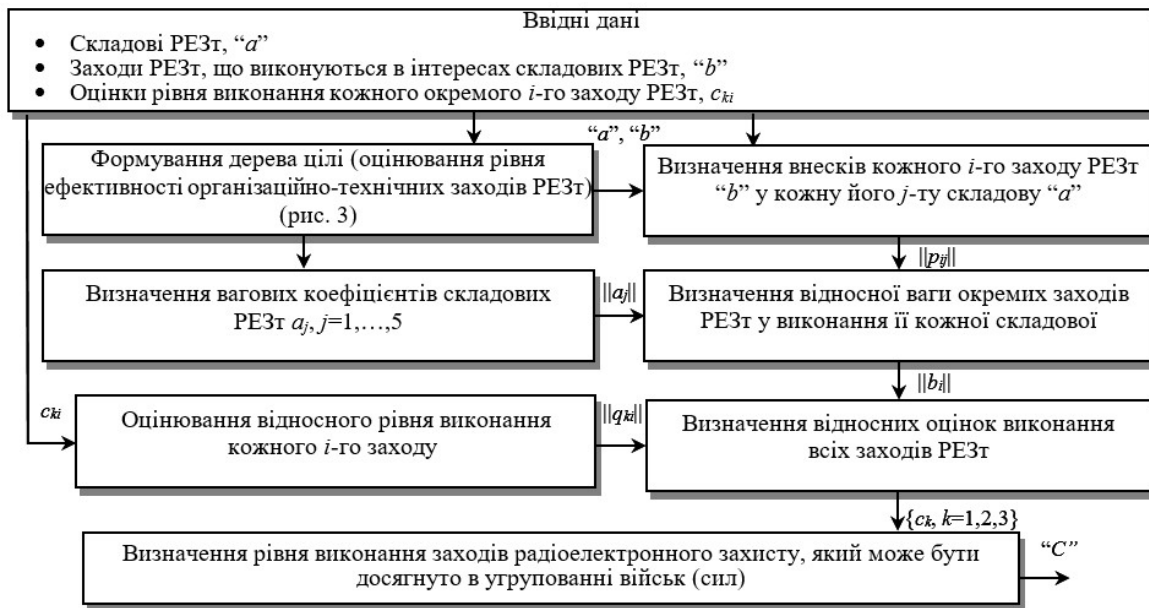


Рисунок 2 – Узагальнена блок-схема моделі оцінювання ефективності різномірних організаційно-технічних заходів РЕЗт в угрупованні військ (сил) на основі модифікованого евристичного методу вирішальних матриць

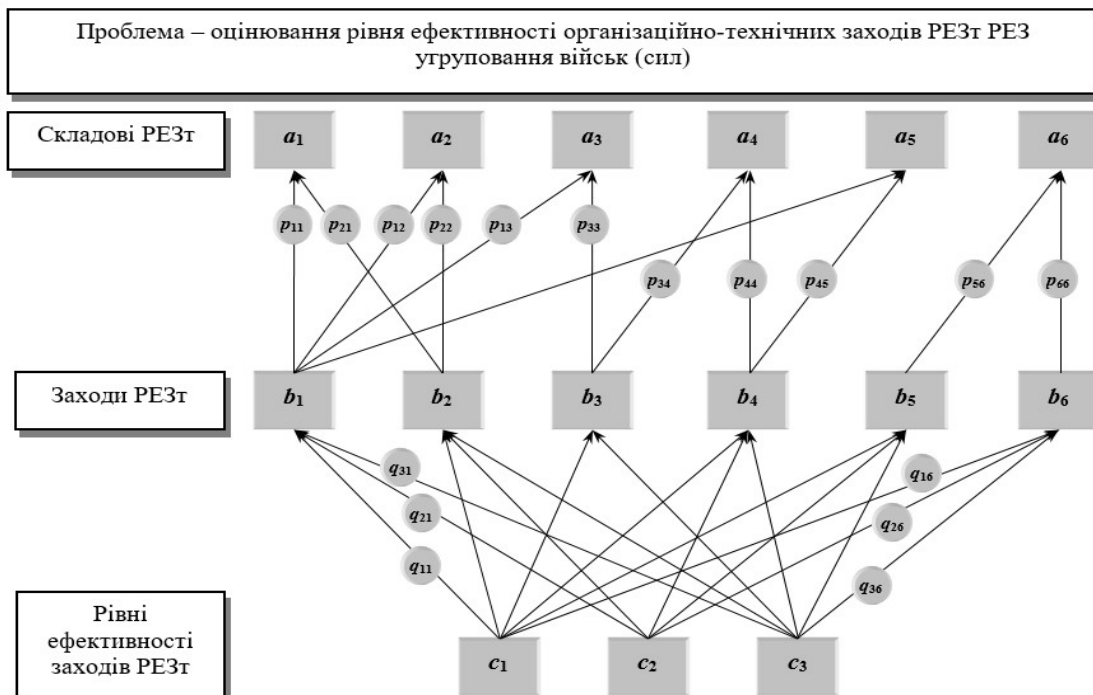


Рисунок 3 – Структура дерева цілі (ціль – оцінювання рівня ефективності організаційно-технічних заходів РЕЗт угруповання військ (сил))

$b_4$  – виконання окремих завдань підтримки РЕБ;  
 $b_5$  – забезпечення дотримання норм частотно-територіального рознесення РЕЗ;  
 $b_6$  – реалізація можливостей з контролю за виконанням штабами, військами заходів РЕЗт.

Приклад структури дерева цілі, що розроблено з урахуванням змісту РЕЗт, її складових і окремих заходів (рис. 1), наведена на рис. 3.

Методом вирішальних матриць передбачено, що вагові коефіцієнти складових РЕЗт  $a_j$  оцінюються безпосередньо експертами з виконанням умови їх нормування до 100 з метою виключення дрібних значень ( $a_j < 1$ ):

$$\sum_{j=1}^{na} a_j = 100, na = 6. \quad (1)$$

Але для спрощення роботи експертів пропонується визначити лише порядок важливості складових РЕЗт в цілих числах  $a_j$  у діапазоні  $j \in [1; na]$  за мірою убування їх важливості та з нормуванням до 10. Враховуючи це, для порівняння складових РЕЗт потрібно використовувати надійний та простий метод парних порівнянь з перебором усіх можливих комбінацій [11].

Якщо декілька складових РЕЗт будуть однаково важливі, їм виставляється однакова числова оцінка, а діапазон оцінок відповідно зменшуватиметься. Вагові коефіцієнти складових РЕЗт визначаються за виразом:

$$a_j = \frac{\alpha_j}{\sum_{j=1}^{na} \alpha_j} \cdot 10, \quad \sum_{i=1}^{na} a_j = 10. \quad (2)$$

Надалі оцінюється внесок ( $p_{ij}$ ) кожного  $i$ -го заходу РЕЗт у кожен його  $j$ -ту складову. Відповідно до структури дерева проблеми (рис. 3), враховується, що в інтересах певної складової РЕЗт можуть здійснюватися різні групи заходів, а вагові коефіцієнти (внесок) певного заходу в різні складові, може відрізнятися. Визначення цього внеску здійснюється за наведеним вище підходом. Експертами, на відміну від базового варіанту методу, визначається лише порядковий номер внеску  $i$ -го заходу РЕЗт у його  $j$ -ту складову в цілих числах (можливий діапазон змін  $i \in [1; na]$ ) за мірою убування їх важливості. За таких умов, вагові коефіцієнти заходів РЕЗт визначаються за виразом:

$$p_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^{na} \alpha_{ij}} \cdot 10, \quad \sum_i p_{ij} = 10. \quad (3)$$

Сукупність значень внесків кожного  $i$ -го заходу РЕЗт у кожен його  $j$ -ту складову становлять вирішальну матрицю  $\|p_{ij}\|$ , які разом із отриманими ваговими коефіцієнтами складових РЕЗт ( $a_j$ ) є основою для визначення відносної ваги окремих заходів РЕЗт у виконанні всіх її складових:

$$b_i = \sum_{j=1}^{na} p_{ij} \cdot a_j. \quad (4)$$

Ураховуючи відносну усталеність структури дерева цілі (перелік, зміст та взаємозв'язок складових і заходів РЕЗт практично не змінюється), наведені вище обчислення доцільно здійснювати завчасно до початку оперативного планування в ОУ РЕБ. Ці обчислення дають змогу підготувати основу для прийняття рішення щодо очікуваного рівня ефективності РЕЗт, тобто налаштувати, так званий, «фільтр прийняття рішення».

На етапі планування застосування РЕЗ в угрупованні військ (сил) оперативним складом органів управління (експертами) з використанням наявних даних щодо складу, можливостей угруповання військ (сил) і наявних сил і засобів РЕБ, результатів аналізу оперативних зведень (донесень) оцінюється рівень виконання кожного із заходів РЕЗт. Зазначене оцінювання здійснюється особою, яка приймає рішення на підставі власних висновків або за допомогою відповідних методів (методик, штабних моделей), що у цій статті не розглядаються. У простішому варіанті доцільно використовувати такі рівні:

«захід (заходи) РЕЗт виконуються на достатньому рівні» (їх виконання забезпечує стійку роботу своїх систем управління військами (силами) і зброєю) – числова оцінка  $c_{1i}=3$ ;

«захід (заходи) РЕЗт виконуються обмежено» –  $c_{2i}=2$ ;

«захід (заходи) РЕЗт виконуються на не достатньому рівні» (стійка робота своїх систем управління військами (силами) і зброєю не може бути забезпечена) –  $c_{3i}=1$ .

Оцінювання відносного рівня виконання кожного  $i$ -го заходу здійснюється за підходами, наведеними вище, за такими виразами:

$$q_{ki} = \frac{c_{ki}}{\sum_{k=1}^{nb} c_{ki}} \cdot 10, \quad \sum_k p_{ki} = 10, \quad (5)$$

де  $c_{ki}$  – оцінки рівня виконання кожного окремого заходу РЕЗт, визначені оперативним складом (за окремими частковими методиками).

Сукупність оцінок значень рівня виконання кожного окремого заходу становлять вирішальну матрицю  $\|q_{ki}\|$ , які разом із визначеними ваговими коефіцієнтами заходів РЕЗт ( $b_i$ ) є основою для отримання відносних оцінок виконання всіх заходів РЕЗт:

$$c_k = \sum_{i=1}^6 q_{ki} \cdot b_i, k = 1, 2, 3. \quad (6)$$

Відповідно до обраних рівнів оцінювання вираз (6) матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} c_1 &= q_{11} \cdot b_1 + q_{12} \cdot b_2 + q_{13} \cdot b_3 + q_{14} \cdot b_4 + \\ &\quad + q_{15} \cdot b_5 + q_{16} \cdot b_6, \\ c_2 &= q_{21} \cdot b_1 + q_{22} \cdot b_2 + q_{23} \cdot b_3 + q_{24} \cdot b_4 + \\ &\quad + q_{25} \cdot b_5 + q_{26} \cdot b_6, \\ c_3 &= q_{31} \cdot b_1 + q_{32} \cdot b_2 + q_{33} \cdot b_3 + q_{34} \cdot b_4 + \\ &\quad + q_{35} \cdot b_5 + q_{36} \cdot b_6. \end{aligned} \quad (7)$$



Класичним методом вирішальних матриць не передбачена подальша згортка отриманих значень. Водночас для остаточного прийняття рішення щодо оцінювання рівня ефективності організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту РЕЗ угруповання військ (сил) пропонується здійснити порівняння отриманих відносних оцінок  $\{c_1, c_2, c_3\}$ . Найбільше значення вказуватиме на рівень ефективності виконання заходів РЕЗт, який може бути досягнуто за умови, що задається виразом:

$$"C": \arg \max(c_k), k=1, 2, 3. \quad (8)$$

Тобто, такий підхід дає змогу отримати оцінку складної системи (в цьому випадку – сукупності різнорідних організаційно-технічних заходів РЕЗт) за відсутності чіткої шкали критеріїв за принципом «найбільш вагомого кластера» –  $c_1, c_2$  або  $c_3$  з їх відповідною якісною інтерпретацією.

Для перевірки можливості практичного застосування наведеної вище моделі, наведемо приклади розрахунків для декількох варіантів вхідних даних.

Під час завчасних розрахунків, що проводяться з урахуванням структури дерева цілі (рис. 3), експертами визначаються: вагові коефіцієнти складових РЕЗт ( $a_1; a_2; \dots; a_6$ ); внесок кожного з шести заходів РЕЗт у кожну з шести складових РЕЗт ( $p_{11}; p_{12}; \dots; p_{66}$ ). Нехай визначені такі пріоритети складових РЕЗт (в оберненому порядку):  $\alpha_1=3$  (найвищий пріоритет),  $\alpha_2=3, \alpha_3=2, \alpha_4=1, \alpha_5=1, \alpha_6=2$ .

Вагові коефіцієнти складових РЕЗт відповідно до виразу (2) становитимуть:  $a_1=2,5, a_2=2,5, a_3=1,6, a_4 \approx 1, a_5 \approx 1, a_6=1,66$ .

З урахуванням відомої сутності складових РЕЗт, змісту заходів та їх взаємозв'язку, визначається порядковий номер внеску конкретного заходу РЕЗт у кожну його складову. Наприклад:

- за першою складовою –  $\alpha_{11}=2, \alpha_{12}=3, \alpha_{13}=2, \alpha_{15}=1$ ;
- за другою –  $\alpha_{21}=1, \alpha_{22}=1$ ;
- за третьою –  $\alpha_{33}=2, \alpha_{34}=1$ ;
- за четвертою –  $\alpha_{44}=1, \alpha_{45}=2$ ;
- за п'ятою –  $\alpha_{56}=1$ ; за шостою –  $\alpha_{66}=1$ .

За виразом (3) визначаються вагові коефіцієнти заходів РЕЗт:

$$p_{11}=2,5, p_{12}=3,75, p_{13}=2,5, p_{15}=1,25; p_{21}=5, p_{22}=5; p_{33}=6,66, p_{34}=3,33; p_{44}=3,33, p_{45}=6,66; p_{56}=10; p_{66}=10.$$

За виразом (4) розраховуються значення відносної ваги окремих заходів РЕЗт у виконанні всіх її складових:

$$\begin{aligned} b_1 &= p_{11} \cdot a_1 + p_{12} \cdot a_2 + p_{13} \cdot a_5 = 38,9; \\ b_2 &= p_{21} \cdot a_1 + p_{22} \cdot a_2 = 25; \\ b_3 &= p_{33} \cdot a_3 + p_{34} \cdot a_4 = 11,94; \\ b_4 &= p_{44} \cdot a_4 + p_{45} \cdot a_5 = 10; \\ b_5 &= p_{56} \cdot a_6 = 16,6; \\ b_6 &= p_{66} \cdot a_6 = 16,6. \end{aligned}$$

Маючи результати наведених вище завчасних розрахунків, що формують «фільтр прийняття рішення» у вигляді вирішальної матриці  $\|b_i\|$ , оперативний склад органів управління РЕБ, використовуючи наявні ввідні дані щодо можливостей угруповання військ (сил), наявних сил і засобів РЕБ, а також результатів аналізу

оперативних зведень (донесень), здійснює оцінювання рівня виконання кожного із заходів РЕЗт за допомогою часткових методик та моделей.

Припустимо, що у результаті оцінювання визначено, що 4-ий і 6-ий заходи РЕЗт виконані на достатньому рівні ( $c_{14}=c_{16}=3$ ), 1-ий, 3-ій та 5-ий заходи виконані обмежено ( $c_{21}=c_{23}=c_{25}=2$ ), а 2-ий захід виконано на недостатньому рівні ( $c_{32}=1$ ). З урахуванням цього за виразом (5) оцінюється рівень виконання кожного з шести заходів:  $q_{14}=q_{16}=5; q_{21}=q_{23}=q_{25}=3,33; c_{32}=10$ .

Відповідно до виразів (6) та (7), визначаються відносні оцінки виконання всіх заходів РЕЗт:

$$\begin{aligned} c_1 &= q_{14} \cdot b_4 + q_{16} \cdot b_6 = 5 \cdot 10 + 5 \cdot 16,6 = 133, \\ c_2 &= q_{21} \cdot b_1 + q_{23} \cdot b_3 + q_{25} \cdot b_5 = \\ &= 3,33 \cdot 38,9 + 3,33 \cdot 11,9 + 3,33 \cdot 16,6 = 189,85, \\ c_3 &= q_{32} \cdot b_2 = 10 \cdot 25 = 250. \end{aligned}$$

Відповідно до виразу (8)

$$C = \max(133; 189,85; 250) = 250.$$

Отриманий результат свідчить, що ефективність організаційно-технічних заходів РЕЗт, що проводяться в межах угруповання військ (сил), є низькою. Зазначені заходи виконуються на не достатньому рівні, що не дає змогу забезпечити стійку роботу своїх систем управління військами (силами) і зброєю.

Інший приклад. Припустимо, що в результаті оцінювання визначено, що заходи РЕЗт 1, 2, 3 та 5 виконані на достатньому рівні ( $c_{11}=c_{12}=c_{13}=c_{15}=3$ ), захід 6 виконано обмежено ( $c_{26}=2$ ), а захід 4 – на недостатньому рівні ( $c_{34}=1$ ). За таких умов:

$$\begin{aligned} c_1 &= q_{11} \cdot b_1 + q_{12} \cdot b_2 + q_{13} \cdot b_3 + q_{15} \cdot b_5 = 208,8, \\ c_2 &= q_{26} \cdot b_6 = 166, \\ c_3 &= q_{34} \cdot b_4 = 10 \cdot 10 = 100. \end{aligned}$$

Значення  $C = \max(208,8; 166; 100) = 208,8$ , що свідчить про виконання заходів РЕЗт на достатньому рівні.

Ще один приклад. Припустимо, що в результаті оцінювання визначено, що заходи РЕЗт 3, 4 та 6 виконані на достатньому рівні ( $c_{13}=c_{14}=c_{16}=3$ ), заходи 1 і 2 – обмежено ( $c_{21}=c_{22}=2$ ), а захід 5 – на недостатньому рівні ( $c_{35}=1$ ). За таких умов отримаємо  $\{c_1=122,6; c_2=319,6; c_3=166\} \rightarrow C=319,6$ . Результат свідчить про те, що заходи РЕЗт виконуються обмежено, що не дає змоги повною мірою забезпечити стійку роботу своїх систем управління військами (силами) і зброєю без проведення додаткових заходів. На підставі аналізу отриманих значень відносної ваги окремих заходів РЕЗт ( $b_i$ ) та оцінок їх виконання ( $c_{ki}$ ) можна також визначити основні напрями підвищення ефективності РЕЗт.

Отже, запропонована модель є чутливою до зміни вхідних даних. Отримані результати є логічно зрозумілими та можуть бути використані як основа для розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту.

## Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті запропонована модель оцінювання ефективності різнорідних організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту на основі модифікованого евристичного методу вирішальних матриць, що може бути корисною для органів управління в процесі планування застосування радіоелектронних засобів угруповань військ (сил).

На відміну від базової версії методу вирішальних матриць у модифікованому методі вперше побудована структура дерева проблеми оцінювання рівня ефективності різнорідних заходів радіоелектронного захисту, використано спрощений формалізований підхід до отримання та оброблення експертних даних, реалізовано додатковий рівень оцінювання ефективності, що дає змогу здійснювати послідовну згортку оцінок заходів і завдань радіоелектронного захисту. Запропонована модель на основі модифікованого евристичного методу дає змогу отримати оцінку складної системи за відсутності чіткої шкали критеріїв за принципом «найбільш вагомого

кластера» і може бути використана для оцінювання інших слабо формалізованих складних неоднорідних систем з отриманням оцінок за відсутності чіткої шкали критеріїв.

Доцільність та можливість практичного застосування моделі підтверджено наведеними прикладами розрахунків, що проведені для декількох варіантів вхідних даних. Результати верифікації моделі можуть бути використані для розроблення відповідних рекомендацій стосовно підвищення ефективності організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту в угрупованнях військ (сил).

Перспективою подальших досліджень слід вважати уточнення структури дерева проблеми оцінювання рівня ефективності організаційно-технічних заходів радіоелектронного захисту з декомпозицією проблеми до рівня типових часткових задач (за складовими радіоелектронного захисту), що можуть бути розв'язані за допомогою відносно простих аналітичних методів. Також у моделі в подальшому можуть бути застосовані інші типові варіанти вербально-числових шкал оцінок.

## Список бібліографічних посилань

1. Залата О. Втрати шокують : військовий розповів, як ЗСУ збивають свої ж дрони на мільйони доларів. 25.10.2023. URL: <https://focus.ua/uk/digital/601414-vtrati-shokuyut-vijskovij-rozpoviv-yak-zsu-zbivayut-svoji-zh-droni-na-miljoni-dolariv> (дата звернення 11.04.2024).  
2. Шолохов С. М., Самборський І. І., Вакулєнко О. В., Ніколаєнко Б. А. Завадозахист радіоелектронних засобів. Частина 1. Основи завадозахисту систем зв'язку: навчальний посібник. Київ: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 210 с.  
3. Горопчин А. Я., Романенко І. О., Даник Ю. Г., Пашенко Р. Е. та ін. Довідник з протиповітряної оборони. Київ : МО України, Харків : ХВУ. 2003. 368 с.  
4. Сидоренко Р. Г., Акулінін Г. В., Безверхий С. А., Гончаров А. А. Ефективність заходів радіоелектронного захисту об'єктів від радіометричних систем виявлення за рахунок використання спеціальних покриттів. *Зб. наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 2. С. 106–112.  
5. Ляшенко В. Методика оцінки ефективності захисту кабельних ліній і радіоелектронних засобів стаціонарних пунктів управління від зовнішнього електромагнітного впливу. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2019. № 1(1). С. 111–115. URL :

<https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/197> (дата звернення: 10.04.2024).  
6. Воронін А. М., Савченко А. С. Оцінка складних систем: багатокритеріальний підхід. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. 2023. № 67(6). С. 83–89. DOI: 10.34229/1028-0979-2022-6-7.  
7. Voronin A. Multicriteria decision making for the management of complex systems. USA : IGI Global, 2017. 201 p.  
8. Волкова В. Н. Моделирование систем и процессов. Практикум: навч. посіб. для академічного бакалаврату. 2016. URL : [https://stud.com.ua/24995/medezhment/modelyuvannya\\_sistem\\_i\\_protseviv](https://stud.com.ua/24995/medezhment/modelyuvannya_sistem_i_protseviv) (дата звернення: 10.04.2024).  
9. Стельмашонок Е. В. Моделирование систем и процессов: підручник. 2018. URL: [https://stud.com.ua/174062/tehnika/modelyuvannya\\_protseviv\\_i\\_sistem](https://stud.com.ua/174062/tehnika/modelyuvannya_protseviv_i_sistem) (дата звернення: 10.04.2024).  
10. Волкова В. Н., Денисов А. А. Методы организации сложных экспертиз : учеб. пособ. и методические указания к лабораторным работам по курсам «Теория систем и системный анализ» и «Социология». Санкт-Петербург: Изд. СПбГТУ, 1998. 48 с.  
11. Ядов В. А. Стратегия социологического исследования. Москва : Академкнига, Добросвет. 2003. 596 с.

## A MODEL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF VARIOUS ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES OF RADIOELECTRONIC PROTECTION BASED ON THE MODIFIED HEURISTIC METHOD OF DECISION MATRICES

*Mashtalir Vadym (Doctor of Historical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*  
*Shovkoshytnyi Ihor (Candidate of Military Science, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>*  
*Efimenko Iryna<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup> *National Academy of Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** The use of communications, radio-electronic intelligence, radio-navigation and radio-electronic suppression by the military creates the problem of their simultaneous use in a single physical, electromagnetic space and time. In order to solve the problem or reduce the possible negative consequences of uncoordinated use of radio-electronic means, radio-electronic protection measures are implemented. Evaluation of such measures requires the availability of appropriate mathematical apparatus.

**Research methods.** The article applies the provisions of the system approach, the heuristic method of decision matrices, methods of expert evaluation and pairwise comparisons, and formal logic. The combination of such methods made it possible to systematically approach the formation of the considered model.

**Analysis of recent researches and publications.** At this time, there are no comprehensive analytical methods and models for evaluating the effectiveness of the system of various organizational and technical measures of radio-electronic protection. The main attention is paid to the methodical provisions for evaluating the effectiveness of only certain tasks of radio-electronic protection. However, heuristic methods, which are used in system analysis and are based on rules and expert decision-making experience, can be used to find solutions.

**Presenting the main material.** The article provides a model for evaluating the effectiveness of various organizational and technical measures of radio-electronic protection based on a modified heuristic method of decision matrices. The proposed block diagram of the model and the structure of the goal tree, which was developed taking into account the content of radio-electronic protection, its individual components and measures. Proposals regarding the modification of the decision matrix method and its adaptation for solving the problem of evaluating the effectiveness of radio-electronic protection measures are presented. Verification of the model was carried out according to several variants of the data, the possibility of its practical application was confirmed.

**Elements of scientific novelty.** The scientific novelty lies in the proposed model based on a modified heuristic method of decision matrices. For the first time, the structure of the tree of goals for evaluating the effectiveness of various radio-electronic protection measures was built, and a simplified approach to obtaining and processing expert data was used. An approach has been implemented that allows to obtain an assessment of a complex system in the absence of a clear scale of criteria based on the principle of «the most important cluster».

**Practical significance of the article.** The proposed model and the modified heuristic method of decision matrices can be used in the military and defence field to evaluate complex weakly formalized heterogeneous systems with obtaining evaluations in the absence of a clear scale of criteria.

**Keywords:** radio-electronic protection, organizational and technical measures, efficiency evaluation, heuristic methods, modified method of decisive matrices.

## References

- Zalata, O.,** (2023). The losses are shocking: a military man told how the Armed Forces shoot down their own drones worth millions of dollars, [online]. Available at: <https://focus.ua/uk/digital/601414-vtrati-shokuyut-vijskovij-rozpoviv-yak-zsu-zbivayut-svoyi-zh-droni-na-miljoni-dolariv> [Accessed: 11 April 2024].
- Sholokhov, S. M., Samborskyi, I. I., Vakulenko, O. V., Nikolayenko, B. A.,** (2021). Safety of radio electronic devices. Part 1. Basics of fault protection of communication systems: tutorial. Kyiv: ISZZI KPI named after Igor Sikorskyi, 210.
- Toropchyn, A. Ya., Romanenko, I. O., Danyk, Y. G., Pashchenko, R. E. and others,** (2003). Handbook of air defense. Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine, Kharkiv: KhVU, 368.
- Sydorenko, R. G. Akulinin, G. V., Bezverkhyy, S. A., Goncharov, A. A.,** (2019). Effectiveness of measures of radioelectronic protection of objects from radiometric detection systems due to the use of special coatings. Coll. of science Proceedings of the Kharkiv National University of the Air Force., 2, 106–112.
- Lyashenko, V.,** (2019). Methodology for evaluating the effectiveness of protection of cable lines and radio-electronic means of stationary control points from external electromagnetic influence. Coll. of science Proceedings of the State Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment. 1(1), 111–115, [online]. Available at: <https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/197>. [Accessed: 10 April 2024].
- Voronin, A. M., Savchenko, A. S.,** (2023). Evaluation of complex systems: a multi-criteria approach. *International Scientific Technical Journal «Problems of Control and Informatics»*, 67(6), 83–89. DOI: 10.34229/1028-0979-2022-6-7.
- Voronin, A.,** (2017). Multicriteria decision making for the management of complex systems. USA : IGI Global, 201
- Volkova, V. N.,** (2016). Modeling of systems and processes. Practicum: teaching manual for an academic bachelor's degree. Available at: [https://stud.com.ua/24995/menedzhment/modelyuvannya\\_sistem\\_i\\_protseviv](https://stud.com.ua/24995/menedzhment/modelyuvannya_sistem_i_protseviv). [Accessed: 10 April 2024].
- Stelmashonok, E. V.,** (2018). Modeling of systems and processes: a textbook, [online]. Available at: [https://stud.com.ua/174062/tehnika/modelyuvannya\\_protseviv\\_i\\_sistem](https://stud.com.ua/174062/tehnika/modelyuvannya_protseviv_i_sistem) [Accessed: 10 April 2024].
- Volkova, V. N., Denisov, A. A.,** (1998). Methods of organization of complex expertise: учеб. help and methodological instructions for laboratory work on the courses «System Theory and System Analysis» and «Sociology». St. Petersburg: Izd. SPbHTU., 48.
- Yadov, V. A.,** (2003). Strategy of sociological research. Moscow : Akademknyga, Dobrosvet., 596.