

Анатолій Петрович Волобуєв (канд. техн. наук, с.н.с.)

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## ТЕНЗОР ДОСТУПНОСТІ РАДІОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКРИТТЯ ЗАСОБАМИ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

У статті розглядається актуальне наукове завдання забезпечення необхідного рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення. В якості показника рівня радіомаскування радіостанцій та систем радіозв'язку військового призначення, що розгортаються на їх базі, запропоновано використовувати їх розвідувальну доступність, яка складається з доступності для енергетичного викриття, доступності для викриття за частотою, доступністю для викриття за напрямом, доступністю для визначення місцеположення та доступністю для радіоперехоплення. Запропонована математична модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки противника, основана на застосуванні окремих положень теорії електромагнітного поля та теорії тензорного числення. При цьому доступність радіостанції для енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника подається 4-тензором 4 рангу. Отримані залежності компонентів даного тензору від амплітудно-фазового розподілу струму по розкритку антенної решітки радіостанції, координат та кількості випромінювачів, лінійних розмірів антенної решітки, довжини хвилі, відстані від радіостанції до засобу радіорозвідки противника, абсолютних магнітної і діелектричної проникностей та функції ослаблення операційного району, як середовища розповсюдження радіохвиль.

**Ключові слова:** радіостанція; система радіозв'язку військового призначення; викриття радіостанції; рівень радіомаскування; розвідувальна доступність; тензор доступності радіостанції для енергетичного викриття.

### Вступ

Радіозв'язок по праву є одним з основних родів зв'язку у збройних силах, а часто єдиним можливим, який спроможний забезпечити обмін інформацією в системах управління військами та озброєнням. Стрімкий розвиток систем радіозв'язку військового призначення в світі в останні роки пов'язаний в багатьом з розвитком інформаційних технологій та конвергенцією комп'ютерних та телекомунікаційних мереж, що створило широке коло питань для досліджень.

**Постановка проблеми.** Сьогодні системи радіозв'язку, що розгортаються в інтересах різних ланок управління Збройних Сил України, не спроможні забезпечити необхідного рівня радіомаскування, який диктує сучасний стан систем радіорозвідки розвинених у воєнному відношенні країн світу [1–7]. Таким чином, забезпечення необхідного рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення є актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** за даним напрямом показав, що в межах розв'язання визначеного завдання дослідниками в першу чергу обирався показник рівня радіомаскування та отримувалися його аналітичні залежності від різноманітних характеристик радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційних районів, як середовища розповсюдження радіохвиль, із застосуванням методів математичного моделювання. У відомих джерелах виявлені такі показники рівня радіомаскування:

1. Умовна ймовірність прийняття вірного рішення про наявність радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки, за умови, що цей радіосигнал дійсно є [8–9]:

$$P_{\text{вир}} = 1 - P_{\text{проп}} = 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\frac{P_{\text{пр}}^{\text{пор}}}{N_0} - T\Delta f - \frac{Q}{N_0}}{\sqrt{2 \left( T^2 \Delta f^2 + \frac{Q}{N_0} \right)}} \right) \right],$$

де  $P_{\text{проп}}$  – ймовірність пропуску радіосигналу окремої радіостанції;

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt;$$

$P_{\text{пр}}^{\text{пор}}$  – порогове значення потужності електромагнітного коливання на вході приймача засобу радіорозвідки, при перевищенні якого приймається рішення про наявність корисного сигналу на вході в адитивній суміші з шумом;

$N_0$  – спектральна щільність шуму еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки;

$T$  – тривалість радіосигналу;

$\Delta f$  – ширини спектру радіосигналу окремої радіостанції;

$Q$  – енергія радіосигналу.

2. Ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за

умови роботи всіх радіостанцій системи [9]:

$$P^{ln} = MP^1 \exp((M-1) \ln(1-P_1)),$$

де  $M$  – кількість радіостанцій в системі радіозв'язку військового призначення.

3. Ймовірність енерго-часового контакту засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови роботи всіх радіостанцій системи радіозв'язку [9]:

$$P^{lne} = P^{vir} P^{ln}$$

4. Ймовірність викриття системи радіозв'язку військового призначення за час проведення радіорозвідки знаходиться при застосуванні приблизної формули Муавра-Лапласа [9]:

$$P_{cp}^{vkr} = 1 - \Phi \left( M - P^{lne} \frac{T_p}{T_{p1}} \right) / \sqrt{\frac{(1 - P^{lne}) P^{lne} T_p}{T_{p1}}},$$

де  $T_p$  – час розвідки засобом радіорозвідки;

$$T_{p1} = \frac{2\Delta F}{kC_{min}^2} - \text{час необхідний для однократного}$$

аналізу діапазону частот, що розвідуються;

$C_{min}$  – мінімальна швидкість передавання інформації в системі радіозв'язку військового призначення;

$k$  – кількість приймачів радіорозвідки;

$\Delta F$  – діапазон частот радіорозвідки.

5. Ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови однієї працюючої радіостанції [9]:

$$P^1 = \left( \frac{S}{C} - T^{vir} \right) \Pi,$$

де  $S$  – довжина пакету;

$C$  – швидкість передавання інформації окремою радіостанцією;

$T^{vir}$  – час прийняття вірного рішення про наявність радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки, за умови, що цей радіосигнал дійсно є;

$\Pi$  – середня продуктивність окремої радіостанції.

6. Співвідношення потужності радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки до потужності еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки [10]:

$$q = \frac{Q}{T N_0 \Delta f} = \frac{Q}{N_0 B},$$

де  $B$  – база радіосигналу.

7. Дальність радіорозвідки (в різноманітних частотних діапазонах) [11–12]:

в діапазоні ДХ, наприклад, дальність радіорозвідки оцінюється за емпіричною формулою Остіна:

$$E_{sig} = \frac{300\sqrt{P}}{D_p} \sqrt{\frac{\alpha}{\sin \alpha}} e^{-\frac{0,0014}{\lambda^{0,6}} D_p},$$

де  $E_{sig}$  – напруженість електромагнітного поля в

точці приймання;

$P$  – потужність випромінювання окремої радіостанції;

$\alpha$  – дуга великого кола між точками приймання та передавання;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$D_p$  – дальність радіорозвідки.

8. Ймовірність радіоперехоплення (за умови призначення на один тракт посту перехоплення  $K_{дж}$  джерел випромінювань) [13, 14]:

$$P_{rp} \approx \frac{t_{rp} + \tau_n - 2\tau_0}{K_{дж} (t_n + \tau_n)},$$

де  $t_{rp}$  – тривалість передавання;

$\tau_n$  – час перегляду частоти після настроювання апаратури;

$\tau_0$  – мінімальна тривалість передавання, що необхідно перехопити для отримання необхідної інформації;

$t_n$  – час настроювання тракту перехоплення.

Решта показників є також ймовірнісними, які взагалі розраховуються методом статистичних випробувань. З наведеного вище видно, що перевага надається ймовірнісним показникам. Це легко пояснити з наступних міркувань. Несанкціоноване приймання радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення можливе лише на фоні завад, в умовах змін параметрів операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль та дії інших непередбачуваних факторів. Тому виявлення радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення є випадковим, помилки визначення параметрів радіосигналів – випадкові, а висновки та рішення, які радіорозвідка приймає на основі результатів приймання та оброблення радіосигналу, можуть бути помилковими. Але ймовірнісним показником притаманний суттєвий недолік, а саме, перевірка адекватності таких показників вимагає суттєвих обсягів статистичного матеріалу, що далеко не завжди можливо, особливо якщо мова йде про перспективні системи радіозв'язку військового призначення.

Серед детермінованих показників слід відмітити дальність радіорозвідки, що розраховується за емпіричними формулами, та співвідношення потужності радіосигналу радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки до потужності еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки.

З наведених співвідношень видно, що далеко не всі характеристики радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційного району, які впливають на рівень радіомаскування радіостанцій, враховані у цих співвідношеннях, що не дозволяє якісно вирішити визначене завдання забезпечення необхідного рівня радіомаскування.

Врахувати якомога більше характеристик та

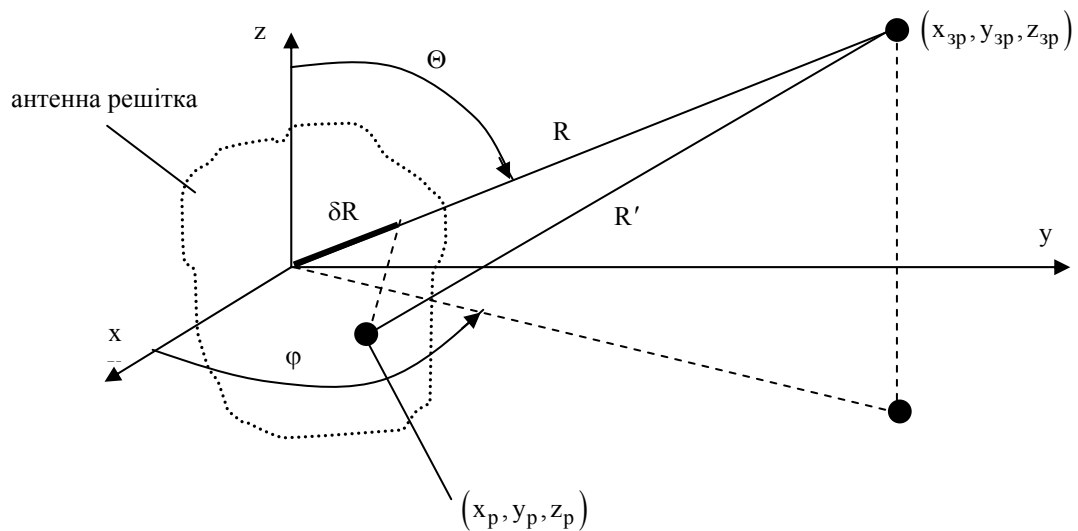
фундаментально підійти до розв'язання даного завдання можливо лише за допомогою теорії електромагнітного поля (ЕМП) [15], яка забезпечує теоретичний аналіз процесу розповсюдження радіохвиль. При чому в якості показника рівня радіомаскування пропонується використовувати розвідувальну доступність радіостанції, яка відображує ступінь легкості, з якою радіостанція може бути викрита засобами радіорозвідки противника. Аналіз процесу викриття радіостанції засобами радіорозвідки противника дозволяє зробити висновок, що такий показник буде складатися з доступності радіостанції для енергетичного викриття, доступності для викриття за напрямом, доступності для викриття за частотою, доступністю для визначення місцеположення, доступності для радіоперехоплення. Зрозуміло, що

базовою складовою буде доступність для енергетичного викриття.

**Мета статті** полягає в розробленні матмоделі енергетичного викриття радіостанції на основі положень теорії ЕМП та отриманні аналітичної залежності доступності радіостанції для енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника від основних характеристик радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційного району.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Розробимо математичну модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки. Нехай радіостанція розгорнута в операційному районі, який будемо вважати 4-простором з декартовою системою координат  $(x, y, z)$  і часом  $t$  (рис. 1).



**Рис. 1. Схема взаємного розміщення радіостанції та засобу радіорозвідки противника в операційному районі**

де  $(x_{zp}, y_{zp}, z_{zp})$  – декартові координати засобу радіорозвідки;  
 $R, \Theta, \varphi$  – сферичні координати засобу радіорозвідки;  
 $(x_p, y_p, z_p)$  – декартові координати р-го випромінювача антенної решітки радіостанції.

$(r_{max} \approx \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right])$ , де  $L$  – максимальний лінійний розмір антени) можна описати антисиметричним 4-тензором 2 рангу ЕМП  $F_{\pi_{kl}}$ :

$$F_{\pi_{kl}} = \frac{\partial A_{\pi_l}}{\partial x^k} - \frac{\partial A_{\pi_k}}{\partial x^l} \quad (k, l = 0, 1, 2, 3)$$

або у розгорнутому вигляді  $F_{\pi_{kl}}$ :

$$\begin{pmatrix} 0 & (\nabla_0 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_0}) & (\nabla_0 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_0}) & (\nabla_0 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_0}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_0}) & 0 & -(\nabla_2 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_2}) & (\nabla_1 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_1}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_0}) & (\nabla_2 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_2}) & 0 & -(\nabla_3 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_3}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_0}) & -(\nabla_1 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_1}) & (\nabla_3 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_3}) & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $A_{\pi_l}, A_{\pi_k}$  – компоненти 4-потенціалу ЕМП на при роботі на передачу між ближньої зони антенної решітки радіостанції  $A_{\pi_k} = (A_{\pi_0}, A_{\pi_1}, A_{\pi_2}, A_{\pi_3}) = (A_{\pi_t}, A_{\pi_x}, A_{\pi_y}, A_{\pi_z})$

$x^k, x^l$  – компоненти 4-вектору  
 $(x^0, x^1, x^2, x^3) = (t, x, y, z);$   
 $(\nabla_0, \nabla_1, \nabla_2, \nabla_3) = \left( \frac{\partial}{\partial x^0}, \frac{\partial}{\partial x^1}, \frac{\partial}{\partial x^2}, \frac{\partial}{\partial x^3} \right) =$   
 $= \left( \frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$  – компоненти 4-вектору

Гамільтона.

$$\begin{pmatrix} 0 & (\nabla_0 A_{z p_1} - \nabla_1 A_{z p_0}) & (\nabla_0 A_{z p_2} - \nabla_2 A_{z p_0}) & (\nabla_0 A_{z p_3} - \nabla_3 A_{z p_0}) \\ -(\nabla_0 A_{z p_1} - \nabla_1 A_{z p_0}) & 0 & -(\nabla_2 A_{z p_1} - \nabla_1 A_{z p_2}) & (\nabla_1 A_{z p_3} - \nabla_3 A_{z p_1}) \\ -(\nabla_0 A_{z p_2} - \nabla_2 A_{z p_0}) & (\nabla_2 A_{z p_1} - \nabla_1 A_{z p_2}) & 0 & -(\nabla_3 A_{z p_2} - \nabla_2 A_{z p_3}) \\ -(\nabla_0 A_{z p_3} - \nabla_3 A_{z p_0}) & -(\nabla_1 A_{z p_3} - \nabla_3 A_{z p_1}) & (\nabla_3 A_{z p_2} - \nabla_2 A_{z p_3}) & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де  $(A_{z p_0}, A_{z p_1}, A_{z p_2}, A_{z p_3})$  – компоненти 4-потенціалу ЕМП в дальній зоні антенної решітки радіостанції (в місці розміщення засобу радіорозвідки противника)

$$A_{z p_\mu} = (A_{z p_t}, A_{z p_x}, A_{z p_y}, A_{z p_z}).$$

Зрозуміло, що ваговою складовою енергетичного викриття радіостанції засобом радіорозвідки противника є процес перетворення 4-тензору ЕМП  $F_{\pi kl}$  (1) в 4-тензор (2)  $F_{z p \mu \nu}$ , що відповідає тензорному рівнянню

$$F_{z p \mu \nu} = d_{e m \mu \nu kl} F_{\pi kl} \quad (3)$$

Спираючись на теорію тензорного числення [16], можна зробити висновок, що  $d_{e m \mu \nu kl}$  є 4-тензором 4 рангу, який має 256 компонентів. Будемо його називати **тензором доступності радіостанції для її енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника**. Сутність доступності радіостанції для її енергетичного викриття полягає в тому, що вона відображує ступінь легкості з якою засобами радіорозвідки противника може бути здійснене енергетичне викриття радіостанції.

Отримаємо залежності компонентів тензора доступності радіостанції для енергетичного викриття від параметрів радіостанції, засобу радіорозвідки та операційного району. Для цього спочатку перетворимо тензорне рівняння (3) до виду

$$F_{z p \mu \nu} F'_{\pi kl} = d_{e m \mu \nu kl} \quad (4)$$

де  $F_{\pi kl} F'_{\pi kl} = I$ .

Як відомо з матричного аналізу компоненти  $F'_{\pi kl}$

При цьому ЕМП в дальній зоні антенної решітки радіостанції ( $r_{\min} \approx \frac{2L^2}{\lambda}$ ) (в місці розміщення засобу радіорозвідки противника) можна описати антисиметричним 4-тензором ЕМП 2 рангу  $F_{z p \mu \nu}$ :

матимуть такий вигляд:

$$F'_{\pi kl} = \begin{pmatrix} \frac{F'_{\pi 00}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 01}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 02}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 03}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 10}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 11}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 12}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 13}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 20}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 22}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 23}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 24}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 30}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 31}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 32}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 33}}{\det F_{\pi}} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $F'_{\pi 00}, F'_{\pi 01}, F'_{\pi 02}, F'_{\pi 03}, F'_{\pi 10}, F'_{\pi 11}, F'_{\pi 12}, F'_{\pi 13}, F'_{\pi 14},$

$F'_{\pi 20}, F'_{\pi 21}, F'_{\pi 22}, F'_{\pi 23}, F'_{\pi 30}, F'_{\pi 31}, F'_{\pi 32}, F'_{\pi 33},$

$F'_{\pi 40}, F'_{\pi 41}, F'_{\pi 42}, F'_{\pi 43}$  – алгебраїчні доповнення

компонентів тензора  $F_{\pi kl}$  в детермінанті  $\det F_{\pi}$ ;

$$F_{\pi kl} = \begin{pmatrix} F_{\pi 00} & F_{\pi 01} & F_{\pi 02} & F_{\pi 03} \\ F_{\pi 10} & F_{\pi 11} & F_{\pi 12} & F_{\pi 13} \\ F_{\pi 20} & F_{\pi 21} & F_{\pi 22} & F_{\pi 23} \\ F_{\pi 30} & F_{\pi 31} & F_{\pi 32} & F_{\pi 33} \end{pmatrix} \rightarrow$$

$$\rightarrow F_{\pi} = \begin{pmatrix} F_{\pi 0} & F_{\pi 8} & F_{\pi 7} & F_{\pi 6} \\ -F_{\pi 8} & F_{\pi 1} & -F_{\pi 9} & F_{\pi 5} \\ -F_{\pi 7} & F_{\pi 9} & F_{\pi 2} & -F_{\pi 4} \\ -F_{\pi 6} & -F_{\pi 5} & F_{\pi 4} & F_{\pi 3} \end{pmatrix} \quad \text{– при}$$

використанні матричних позначень.

Далі отримаємо детермінант  $\det F_{\pi}$ :

$$\det F_{\pi} = (\nabla_0 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 0})^2 (\nabla_3 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 3})^2 + (\nabla_0 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 0})^2 (\nabla_1 A_{\pi 3} - \nabla_3 A_{\pi 1})^2 +$$

$$+ (\nabla_0 A_{\pi 3} - \nabla_3 A_{\pi 0})^2 (\nabla_2 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 2})^2 + 2(\nabla_0 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 0})(\nabla_3 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 3}) \times$$

$$\begin{aligned} & \times (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + 2 (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) \times \\ & \times (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + 2 (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times \\ & \times (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) \end{aligned}$$

та алгебраїчні доповнення компонентів тензору  $F_{n_{kl}}$  в детермінанті  $\det F_{\Pi}$ :

$$F'_{n_{00}} = 0; \quad (7)$$

$$F'_{n_{01}} = (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (8)$$

$$F'_{n_{02}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (9)$$

$$F'_{n_{03}} = (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (10)$$

$$F'_{n_{10}} = -(\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (11)$$

$$F'_{n_{11}} = 0; \quad (12)$$

$$F'_{n_{12}} = -(\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (13)$$

$$F'_{n_{13}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (14)$$

$$F'_{n_{20}} = -(\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (15)$$

$$F'_{n_{21}} = (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}); \quad (16)$$

$$F'_{n_{22}} = 0; \quad (17)$$

$$F'_{n_{23}} = -(\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (18)$$

$$F'_{n_{30}} = -(\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (19)$$

$$F'_{n_{31}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (20)$$

$$F'_{n_{32}} = (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}); \quad (21)$$

$$F'_{n_{33}} = 0. \quad (22)$$

З (7-22) видно, що 112 компонентів тензору дорівнюють нулю. Отже, скористаємося (4,6-22) та доступності радіостанції для енергетичного отримаємо вирази для ненульових компонентів викриття засобами радіорозвідки противника даного тензору з першими індексами 01:

$$\begin{aligned} d_{eB_{0101}} &= (\nabla_0 A_{z_{p1}} - \nabla_1 A_{z_{p0}}) \left( (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \right)^2 - \\ & - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times \\ & \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) \Bigg) \frac{1}{\det F_{\Pi}}; \quad (23) \end{aligned}$$

$$d_{eB0102} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1})^2 + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) + (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (24)$$

$$d_{eB0103} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2})^2 + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (25)$$

$$d_{eB0110} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3})^2 - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (26)$$

$$d_{eB0112} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (27)$$

$$d_{eB0113} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (28)$$

$$d_{eB0120} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1})^2 - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (29)$$

$$d_{eB0121} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0})^2 (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (30)$$

$$d_{eB0123} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0})^2 (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (31)$$

$$d_{eB0130} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2})^2 - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (32)$$

$$d_{e\theta_{0131}} = (\nabla_0 A_{3p_1} - \nabla_1 A_{3p_0}) \left( (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0})^2 (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) \right) \frac{1}{\det F_{\Pi}}. \quad (33)$$

Решта з 132 виразів для ненульових компонентів тензору, що розглядається, отримуються аналогічно. Після цього, спираючись

на [15, 17], 4-потенціал ЕМП  $A_{n_k}$  на межі ближньої зони антенної решітки радіостанції запишемо таким чином:

$$A_{n_1} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^x \exp(-\psi_p^x) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (34)$$

$$A_{n_2} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^y \exp(-\psi_p^y) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (35)$$

$$A_{n_3} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^z \exp(-\psi_p^z) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (36)$$

$$A_{n_0} = \frac{1}{-i\omega\epsilon\mu} \operatorname{div} A_{\Pi}, \quad (37)$$

де  $\mu$  – абсолютна магнітна проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, Гн/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);

$N$  – кількість випромінювачів в антені радіостанції;

$(j_p^x, j_p^y, j_p^z)$  – складові вектору амплітуд щільності електричного струму в випромінювачах антенної решітки радіостанції, яка працює на передачу, а/м<sup>3</sup>;

$(\psi_p^x, \psi_p^y, \psi_p^z)$  – складові вектору фаз щільності електричного струму в випромінювачах антенної

решітки радіостанції, яка працює на передачу;

$$i = \sqrt{-1};$$

$k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$  – хвильове число операційного району;

$$\omega = 2\pi f \text{ – кругова частота поля, Гц;}$$

$\epsilon$  – абсолютна діелектрична проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, ф/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $\epsilon = 10^{-9}/36\pi$  ф/м).

А 4-потенціал ЕМП  $A_{3p_\mu}$  в дальній зоні антенної решітки радіостанції (в районі розміщення засобу радіорозвідки) запишемо таким чином:

$$A_{3p_1} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^x \exp(-\psi_p^x) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (38)$$

$$A_{3p_2} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^y \exp(-\psi_p^y) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (39)$$

$$A_{3p_3} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^z \exp(-\psi_p^z) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (40)$$

$$A_{3p_0} = \frac{1}{-i\omega\epsilon\mu} \operatorname{div} A_{3p}, \quad (41)$$

де  $V$  – функція ослаблення в операційному районі.

Таким чином, підставляючи (34–41) у (6, 23–33) та решту виразів ненульових компонентів розглядаемого тензору, отримаємо шукані залежності 144 компонентів 4-тензору доступності радіостанції для енергетичного викриття від характеристик радіостанції, засобів радіорозвідки та операційного району.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонована математична модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки, основана на застосуванні положень теорії ЕМП та теорії тензорного числення. На відміну від існуючих моделей вона дозволяє підійти до вирішення завдання забезпечення

необхідного рівня радіомаскування більш фундаментально та врахувати більш значну кількість характеристик, що впливають на цей рівень. Дана модель показує, що доступність радіостанції для енергетичного викриття може бути подана 4-тензором 4 рангу, який містить 144 ненульових компонентів, та дозволяє отримати залежності цих компонентів від амплітудно-фазового розподілу струму по розкритті антенної решітки радіостанції, координат та кількості випромінювачів, лінійних розмірів антенної решітки, довжини хвилі, відстані від радіостанції до засобу радіорозвідки противника, абсолютних магнітної і діелектричної проникності та функції ослаблення операційного району.

Тензор доступності радіостанції для

енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника є основою розвідувальної доступності радіостанції, як показника рівня її радіомаскування. Тому в майбутніх роботах доцільно отримати аналітичні залежності решти основних доступностей радіостанції, зокрема доступностей для викриття за напрямом, викриття за частотою, викриття місцезнаходження, доступності для радіоперехоплення та на їх основі отримати аналітичну залежність розвідувальної доступності як окремої радіостанції так і системи радіозв'язку військового призначення в цілому для застосування в ході розв'язання задачі забезпечення необхідного рівня радіомаскування перспективної системи радіозв'язку військового призначення.

### Література

**1. Оружие и технологии России:** энциклопедия. XXI век в 13 т. [Текст] / под ред. зам. Пред. Прав-ва РФ – Министра обороны РФ С. Иванова. – М. : Изд. дом “Оружие и технологии”, 2006. Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. 2006. – 695 с. **2. Фиолентов А.** Французский авиационный комплекс радиоэлектронной разведки SARIG-NG [Текст] / А. Фиолентов // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 4. – С. 44–46. **3. Фароский А.** Средства радиоэлектронной войны ВМС Франции [Текст] / А. Фароский // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 5–6. – С. 75–82. **4. Стрелецкий А.** Мобильный автоматизированный комплекс радиоразведки сухопутных войск США [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 5–6. – С. 40–42. **5. Стрелецкий А.** Система радиоэлектронной разведки сухопутных войск США “Гардрейл коммон сенсор” [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 9. – С. 23–26. **6. Кондратьев А.** Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США “Профет” [Текст] / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37–41. **7. Стрелецкий А.** Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны “Вулфпак” [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27–28. **8. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита [Текст] / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М. : Изд-

во МАИ, 1999. – 240 с. **9. Макаренко С. И.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты [Текст] : монография / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов. – СПб. : Свое изд-во, 2013. – 166 с. **10. Палий А. И.** Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А. И. Палий. – М. : Воениздат, 1981. – 320 с. **11. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие [Текст] / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М. : Изд-во МАИ, 1998. – 248 с. **12. Вартанесян В. А.** Радиоэлектронная разведка [Текст] / В. А. Вартанесян. – М. : Воениздат, 1975. – 255 с. **13. Вартанесян В. А.** Радиопеленгация [Текст] / В. А. Вартанесян, Э. Ш. Гойхман, М. И. Рогаткин. – М. : Воениздат, 1966. – 248 с. **14. Куприянов А. И.** Теоретические основы радиоэлектронной борьбы [Текст] / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М. : Вузовская книга, 2007. – 356 с. **15. Ландау Л. Д.** Краткий курс теоретической физики [Текст]: в 3 кн. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука: Глав. ред. физ.-мат. лит., 1969. Кн.1: Механика. Электродинамика. – 1969. – 271 с. **16. Аквисис В. В.** Тензорное исчисление [Текст] / М. А. Аквисис, В. В. Гольдберг. – М. : Изд-во “Наука”, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1972. – 351 с. **17. Зелкин Е. Г.** Методы синтеза антенн: Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием [Текст] / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с

## ТЕНЗОР ДОСТУПНОСТИ РАДИОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВСКРЫТИЯ СРЕДСТВАМИ РАДИОРАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА

*Анатолий Петрович Волобуев (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

*В статье рассмотрена актуальная научная задача обеспечения необходимого уровня радиомаскировки систем радиосвязи военного назначения. В качестве показателя уровня радиомаскировки радиостанций и систем радиосвязи военного назначения, которые разворачиваются на их базе, предложено использовать их разведывательную доступность, которая состоит из доступности для энергетического вскрытия, доступности для вскрытия по частоте, доступности для вскрытия по направлению, доступностью для определения местоположения и доступностью для радиоперехвата. Предложена математическая модель энергетического вскрытия радиостанции средствами радиоразведки, основанная на применении отдельных положений теории электромагнитного поля и теории тензорного исчисления. При этом доступность радиостанции для энергетического вскрытия средствами радиоразведки противника представляется 4-тензором 4 ранга. Получены зависимости компонентов данного тензора от амплитудно-фазового распределения тока по раскрытию антенной решетки радиостанции, координат и количества излучателей, линейных размеров*



антенной решетки, длины волны, расстояния от радиостанции до средства радиоразведки противника, абсолютных магнитной и диэлектрической проницаемостей и функции ослабления операционного района, как среды распространения радиоволн.

**Ключевые слова:** радиостанция; система радиосвязи военного назначения; уровень радиомаскировки; разведывательная доступность; тензор доступности радиостанции для энергетического вскрытия.

## THE RADIO STATION ACCESSIBILITY TENSOR FOR ENERGY DETECTION BY ENEMY RADIO INTELLIGENCE MEANS

Anatolii P. Volobuiev (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

This paper describes a topical problem of tactical radio system necessary radiocamouflage level support. An intelligence accessibility was proposed like index of radio station and tactical radiosystem radiocamouflage level. The index consist of an accessibility to energy detection, an accessibility to frequency detection, an accessibility to direction detection, an accessibility to location detection and an accessibility to radio interception. An energy detection of radio station by an hostile signals intelligence facilities a mathematical model was proposed. The model was created on base the electromagnetic field theory and the tensor calculus theory. An radio station accessibility to energy detection by an enemy communication intelligence facilities was formatted like 4-tensor of rank 4. Mathematical relations between the tensor components and amplitude-phase distribution of current across array antenna aperture, radiating element coordinates and amount, array antenna linear dimension, wavelength, spacing between a radio station and an enemy communication intelligence facilities, absolute permeability and absolute permittivity, source-attenuation function of an operations area like a radiowaves propagation medium.

**Keywords:** radio station; tactical radiosystem; radiocamouflage level; intelligence accessibility; accessibility tensor of a radio station to energy detection.

### References

1. **Arms and Technologies of Russia:** encyclopedia. XXI Century in 13 t. (2006). [*Oruzhie i tehnologii Rossii: entsiklopediya*], Moscow, "Oruzhie i tehnologii", T. XIII: Sistemyi upravleniya, svyazi i radioelektronnoy borbyi, 695 p.
2. **Fiolentov A.** (2002), French aviation complex electronic intelligence SARIG-NG. [*Frantsuzskiy aviatsionniy kompleks radioelektronnoy razvedki SARIG-NG*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 4, pp. 44–46.
3. **Faroskiy A.** (2001), Means electronic warfare French Navy. [*Sredstva radioelektronnoy voynyi VMS Frantsii*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 5–6, pp. 75–82.
4. **Streletskiy A.** (2001), Mobile automated complex of signals intelligence United States Army. [*Mobilniy avtomatizirovanniy kompleks radiatorazvedki suhoputnyih voysk SShA*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 5–6, pp. 40–42.
5. **Streletskiy A.** (2001), System of electronic intelligence United States Army "Gardreyl Common Sensor". [*Sistema radioelektronnoy razvedki suhoputnyih voysk SShA "Gardreyl kommon sensor"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №9, pp. 23–26.
6. **Kondratev A.** (2008), Promising complex electronic intelligence United States Army "Prophet". [*Perspektivniy kompleks radioelektronnoy razvedki suhoputnyih voysk SShA "Profet"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №7, pp. 37–41.
7. **Streletskiy A.** (2002), American perspective land complex conducting electronic warfare "Wolfpack" [*Amerikanskiy perspektivniy nazemniy kompleks vedeniya radioelektronnoy voynyi "Vulfpak"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №10, pp. 27–28.
8. **Tsvetnov V.V., Demin V.P., Kupriyanov A.I.** (1999), Electronic warfare: radio camouflage and immunity. [*Radioelektronnaya borba: radiomaskirovka i pomehozaschita*], Moscow, MAI, 240 p.
9. **Makarenko S.I., Ivanov M.S., Popov S.A.** (2013), Noise immunity of the system due to the operating frequency Hopping. [*Pomehozaschishennost sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty*], **monografiya**, SPb., Svoe izd-vo, 166 p.
10. **Paliy A.I.** (1981), Electronic warfare (the means and methods of suppression and protection of electronic systems), [*Radioelektronnaya borba (sredstva i sposoby podavleniya i zaschity radioelektronnyih sistem)*], Moscow, Voenizdat, 320 p.
11. **Tsvetnov V.V., Demin V.P., Kupriyanov A.I.** (1998), Electronic warfare: radio reconnaissance and jamming. [*Radioelektronnaya borba: radiatorazvedka i radioprotivodeystvie*], Moscow, MAI, 248 p.
12. **Vartanesyan V.A.** (1975), Radio-electronic intelligence. [*Radioelektronnaya razvedka*]. Moscow, Voenizdat, 255 p.
13. **Vartanesyan V.A., Goyhman E.Sh., Rogatkin M.I.** (1966), Radio direction finding. [*Radiopelengatsiya*], Moscow, Voenizdat, 248 p.
14. **Kupriyanov A.I., Saharov A.V.** (2007), Theoretical foundations of electronic warfare. [*Teoreticheskie osnovyi radioelektronnoy borby*], Moscow, Vuzovskaya kniga, 356 p.
15. **Landau L.D., Lifshic E.M.** Theoretical physics short course in 3 t. (1969) [*Kratkiy kurs teoreticheskoy fiziki*], T.1 Mehanika i elektrodinamika, Moscow, 271 p.
16. **Akivis M.A., Goldberg V.V.** (1972), Tensor calculus. [*Tenzornoe ischislenie*], Moscow, "Nauka", 351 p.
17. **Zelkin, E.G., Sokolov, V.G.** Antennas synthesis methods: Phased-array antennas and continuous antenna aperture (1980), [*Metodi synteza anten: Phazirovannye antennae reshetki i anteny s neprerivnim raszkivom*], Moscow, Sov. radio, 296 p.

Отримано: 14.07.2015 p.