

УДК 621.3

О.В. Барабаш, В.В. Зуйко

Національна академія оборони України, Київ

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КОСМІЧНОЇ РОЗВІДКИ В УМОВАХ ВПЛИВУ ПРОТИВНИКА

*В статті запропонована методика оцінки стійкості структури системи космічної розвідки, яка ґрунтується на визначенні ймовірності зв'язності між парами вершин графу, що описує структуру. Обчислення даного показника проводиться на основі перебірних методів за розробленим алгоритмом. Представлена методика надає можливість побудувати оптимальну структуру системи космічної розвідки за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на показники стійкості функціонування в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.*

**Ключові слова:** структурна система космічної розвідки, стійкість структури, ймовірність зв'язності графа структури, оптимізація структури.

### Вступ

Ефективне ведення операцій та бойових дій в сучасних умовах неможливе без інформаційного забезпечення з боку космічної розвідки. Тому в Україні, так як і в розвинутих країнах світу, створена система космічної розвідки (СКР).

Під СКР розуміють цілеспрямоване організаційно-технічне об'єднання органів управління, розвідувальних органів та засобів космічної розвідки, що знаходяться у командно-інформаційних відносинах та зв'язках між собою, з іншими системами та зовнішнім середовищем. Дана система при підготовці та проведенні військових операцій виконує такі завдання [1]: своєчасне попередження про можливі війни й інші події, що можуть загрожувати корінним інтересам країни; спостереження за навчаннями і маневрами, виявлення їх цілей і завдань, районів проведення, складу сторін, визначення основних оперативно-тактичних нормативів; встановлення місць розташування ракетних частин, виявлення аеродромів базування літаків-носіїв, районів бойового патрулювання авіаносних груп; виявлення систем управління збройними силами, сухопутних угруповань, авіаційних та протиповітряних сил і засобів, їх бойового складу, місць розташування і характеру дій, районів зосередження резервів, розкриття заходів щодо маскуванню тощо.

Для якісного виконання завдань розвідки необхідно мати таку структуру системи космічної розвідки, яка б була спроможна функціонувати в умовах впливу противника. Взагалі, якщо розглядати структуру системи космічної розвідки, потрібно зауважити, що на її функціонування впливають різні дестабілізуючі фактори. Під зовнішніми факторами можна розуміти фактори, які існують об'єктивно. Вони визначаються:

складом, характером, формами та способами дій противника;

можливістю вогневого впливу на систему космічної розвідки;

можливістю засобів інформаційного впливу та радіоелектронного придушення засобів;

можливістю противника щодо проведення заходів по обмеженню інформаційного простору та дезінформування;

характером фізико-географічних умов оперативно-стратегічного напрямку.

Під внутрішніми факторами будемо розуміти суб'єктивні фактори, що впливають на функціонування системи космічної розвідки. Такі фактори залежать від суб'єкта (органів управління) і їх вплив може бути змінений при проведенні певних заходів. До внутрішніх факторів можна віднести:

склад, структуру, можливості та стан сил і засобів космічної розвідки;

укомплектованість і рівень підготовки особового складу;

форми та способи збору і обробки інформації про противника;

ступень укомплектованості та стан засобів зв'язку;

ступень автоматизації інформаційно-аналітичної діяльності та інші.

В сукупності фактори першої та другої груп створюють умови, в яких система космічної розвідки буде вирішувати свої завдання та від яких буде залежити ступень реалізації цільової функції всієї системи.

Тому для обґрунтування структури системи космічної розвідки в операціях Збройних Сил, яка буде функціонувати в умовах впливу внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів постає актуальне питання щодо побудови стійкої структури.

**Постановка завдання у загальному вигляді.** Необхідно розробити та обґрунтувати методику оцінки стійкості структури системи космічної розвідки в операціях оперативного угруповання військ (сил)

на основі обчислення імовірнісного показника стійкості структур: імовірності зв'язності вершин графу, що описує структуру системи космічної розвідки. Даний показник характеризує спроможність системи функціонувати при виході з ладу декількох ліній зв'язку між пунктами обробки інформації в наслідок дестабілізуючих впливів зі сторони противника.

Суттєвий вклад в рішення завдання побудови системи космічної розвідки внесли такі вчені: Сівов М.С., Мосов С.П., Козелков С.В., Присяжний В.І., Волошин В.І., Кухарський І.А., Кучук Г.А. [2 – 7]. Основним напрямком цих робіт є розвиток теорії побудови системи космічної розвідки, наземного комплексу обробки видової розвідувальної інформації, побудови космічного угруповання для ведення різних видів космічної розвідки. В більшості робіт було висвітлено напрямки оптимізації структури системи космічної розвідки за критеріями максимуму ефективності. В якості показників ефективності обирались різні показники, що характеризують якість обробки інформації, об'єм розвідувальної інформації, оперативність її обробки та доставки її споживачам, тощо. Однак питанням стійкості системи до зовнішніх і внутрішніх впливів під час функціонування системи не приділялась увага.

Питанням функціональної стійкості складних технічних і організаційних систем були присвячені роботи Машкова О.А., Барабаша О.В., Кравченко Ю.В. [8 – 10]. Дослідження цих вчених були спрямовані на забезпечення функціональної стійкості динамічних об'єктів, обчислювальних систем, автоматизованих систем управління, радіонавігаційних систем, тощо. Але системи космічної розвідки не розглядались і показники функціональної стійкості для таких об'єктів не вводились. В той же час використання імовірності зв'язності графу, що описує структуру системи космічної розвідки, в якості показника стійкості структури дозволить побудувати структуру системи космічної розвідки в операціях оперативного угруповання військ (сил), яка буде із заданим ступенем протистояти внутрішнім і зовнішнім дестабілізуючим факторам.

**Метою даної статті є** розробка і обґрунтування методики оцінки стійкості структури системи космічної розвідки на основі обчислення запропонованого показника стійкості – імовірності зв'язності між пунктами обробки розвідувальної інформації, а також розробка алгоритму, що реалізує вищезазначену методику.

### Математична модель системи космічної розвідки та формалізація постановки завдання

Суть методики оцінки стійкості структури полягає в обчисленні показника стійкості для будь-якої структури, а також у визначенні оптимальної

структури системи космічної розвідки за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на параметри стійкості.

В якості математичної моделі, що описує структуру СКР доцільно обрати неорієнтований граф  $G(V, E)$ , де вершинами  $v_i$  графу  $G(V, E)$  є пункти обробки розвідувальної інформації, а його ребра  $e_{ij}$  – лінії інформаційного обміну між ними, тобто  $V = v_i$ ,  $E = e_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ . Вихідний граф, схематично зображений на рис. 1, відображає можливу структуру системи космічної розвідки в операціях управління військами (силами), надалі ОУВ (с).

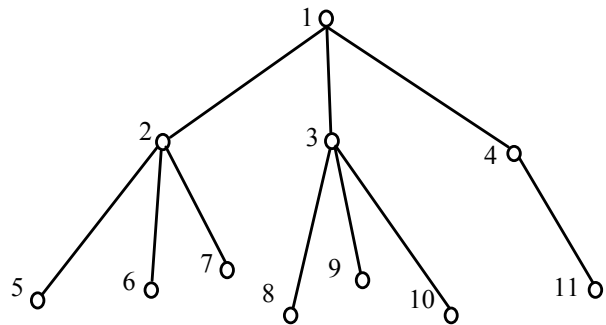


Рис. 1. Вихідний граф структури системи космічної розвідки в операції ОУВ(с)

Вихідний граф може бути заданий матрицею суміжності  $A(n \times n)$  та початковими ймовірностями передачі даних по заданій лінії передачі даних

$$A = \|a_{ij}\|, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n},$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } e_{ij} \text{ існує;} \\ 0, & \text{якщо } e_{ij} \text{ не існує,} \end{cases} \quad (1)$$

де  $a_{ij}$  – елемент матриці суміжності  $A$ ;

$$p_{\text{поч } ij} = \begin{cases} 0, 1 & \text{при } a_{ij} = 1; \\ 0, & \text{при } a_{ij} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

де  $p_{\text{поч } ij}$  – ймовірність передачі інформації між  $v_i$  і  $v_j$  по існуючій лінії обміну інформації.

В результаті вирішення оптимізаційної задачі необхідно знайти оптимальну структуру, яка описується графом:

$$G_{\text{опт}}(V_1, E_1), \quad V_1 = V; \quad E = E_1, \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_m); \quad (3)$$

причому вартість цієї структури повинна бути мінімальна ( $S \rightarrow \min$ ).

В (3)  $X$  – це буде вий вектор можливих ребер графу структури, яку треба відшукати:  $x_i = 1$  – означає існування ребра графу,  $x_i = 0$  – в іншому випадку. На рис. 2 представлена модернізована матриця суміжності  $A_{\text{CM}} = \|a_{\text{CM } ij}\|$ . В даній матриці  $a_{\text{CM } ij} = 0$  означає факт неможливості улаштування лінії зв'язку між пунктами обробки інформації  $i, j$ ;  $a_{\text{CM } ij} = 1$  –

обов'язкові лінії зв'язку між пунктами  $i, j$ , тобто існування ребра у вихідному графі (рис. 1);  $a_{CM\ ij} = x$  – може приймати значення 1 або 0, що означає можливе обладнання ліній зв'язку між парами пунктів.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	1	x	0	x	x	x	x	0
2		0	x	x	1	1	1	x	0	x	0
3			0	x	x	0	x	1	1	1	0
4				0	x	x	x	0	0	x	1
5					0	x	x	x	x	x	1
6						0	x	x	x	x	0
7							0	x	0	x	0
8								0	x	x	x
9									0	x	x
10										0	x
11											0

Рис. 2. Модернізована матриця суміжності, симетрична відносно головної діагоналі

Таким чином, задача зводиться до відшукування сукупності додаткових ребер до вихідного графу  $G(V, E)$ , яка описується булевим вектором  $X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , з урахуванням заявлених обмежень та критерію.

Для вирішення цієї оптимізаційної задачі введемо обмеження щодо необхідної ймовірності зв'язності структури  $P_{ij}$ , під якою розуміється ймовірність того, що всі вершини графа  $G(V, E)$  будуть зв'язані. Запишемо обмеження зв'язності для графа у вигляді:

$$P_{ij} \geq P_{ij}^{зад}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad i \neq j. \quad (4)$$

Тобто потрібно знайти оптимальний граф за обраним критерієм мінімальної вартості, який відповідає обмеженням за вимогою зв'язності.

Для визначення вартості доцільно використати існуючу модель вартості побудови або оренди каналів обміну даними [10]:

$$S_G = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{ij} \cdot a_{ij}; \quad (5)$$

$$S_{ij} = S_{ij}^{кан} \cdot E_n + S_{ij}^{ар},$$

де  $S_{ij}^{кан} = k \cdot l_{ij}$  – витрати на встановлення лінії обміну даними;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт повернення вартості;

$S_{ij}^{ар}$  – витрати на оренду ліній обміну даними.

$$S_{ij}^{ар} = \begin{cases} -a_1 + b_1 \lg l_{ij}, & \text{якщо } l_{ij} < l_1; \\ -a_2 + b_2 \lg l_{ij}, & \text{якщо } l_1 < l_{ij} < l_2; \\ -a_3 + b_3 \lg l_{ij}, & \text{якщо } l_{ij} > l_2. \end{cases} \quad (6)$$

де  $l_{ij}$  – довжина лінії обміну даними;

$a_i, b_i$  – коефіцієнти апроксимації залежності витрат від довжини лінії обміну даними.

## Виклад основного матеріалу

Задача розрахунку ймовірності зв'язності структури є по своїй суті комбінаторною і пов'язана з необхідністю перебору всіх можливих варіантів підграфів графу  $G(V, E)$ .

Введемо до розгляду функцію  $\delta(G_m)$ . Тоді для кожного підграфа:

$$\delta(G_m) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } G_m \text{ зв'язний;} \\ 0, & \text{якщо } G_m \text{ незв'язний.} \end{cases} \quad (7)$$

Властивість зв'язності двох будь-яких вершин графа полягає в існуванні хоча б одного маршруту між ними.

Таким чином на підставі викладеного можна розрахувати ймовірність зв'язності  $P_{\mu\nu}$  [10]:

$$P_{\mu\nu} = \sum_{i=1}^{2^m} \delta(G_i) \prod_{j=1}^m p_j^{d_{ij}} \cdot (1-p_j)^{1-d_{ij}}, \quad (8)$$

$$\mu, \nu = \overline{1, n}; \quad \mu \neq \nu,$$

де  $m$  – число ребер графу;

$d_{ij}$  – елемент матриці двійкового лічильника  $D$  розмірності  $2^m \times m$ , де  $i$  – номер рядка;  $j$  – номер стовпця;

$p_j$  – початкова ймовірність передачі інформації по  $j$ -му ребру;

$G_i$  – підграф, який відповідає  $i$ -му рядку матриці  $D$ .

Розрахунок виразу (8) виконується на основі побудови мулевої матриці  $D = \|d_{ij}\|$  з  $m$  стовпцями та  $2^m$  рядками.

Кожний рядок матриці являє собою двійкове число від 000...0 до 111...1. Індекс  $j$  позначає номер елемента матриці в рядку, а  $i$  – номер рядка. Значення  $d_{ij} = 1$  означає наявність  $j$ -го ребра в підграфі  $G_i$ ,  $d_{ij} = 0$  – протилежний випадок.

Таким чином алгоритм вирішення цієї оптимізаційної задачі має вигляд, як наведено на рис. 3.

Алгоритм оснований на переборі двійкового вектору з одиничним кроком та закінчується після повного перебору.

Алгоритм складається з циклу визначення мінімальної вартості та двох вкладених циклів визначення умов параметрів підграфу.

В результаті розрахунків за даним алгоритмом визначається оптимальний підграф з усіх підграфів структури системи космічної розвідки.

Але потрібно зауважити, що з точки зору практичної реалізації даної методики, основні складності для алгоритмізації представляє розрахунок функції  $\delta(G_i)$  та обмеження обчислювальної потужності, які пов'язані з великою розмірністю задачі.

Результати розрахунків оцінки стійкості структури системи космічної розвідки за удосконаленою методикою наведено на рис. 4.

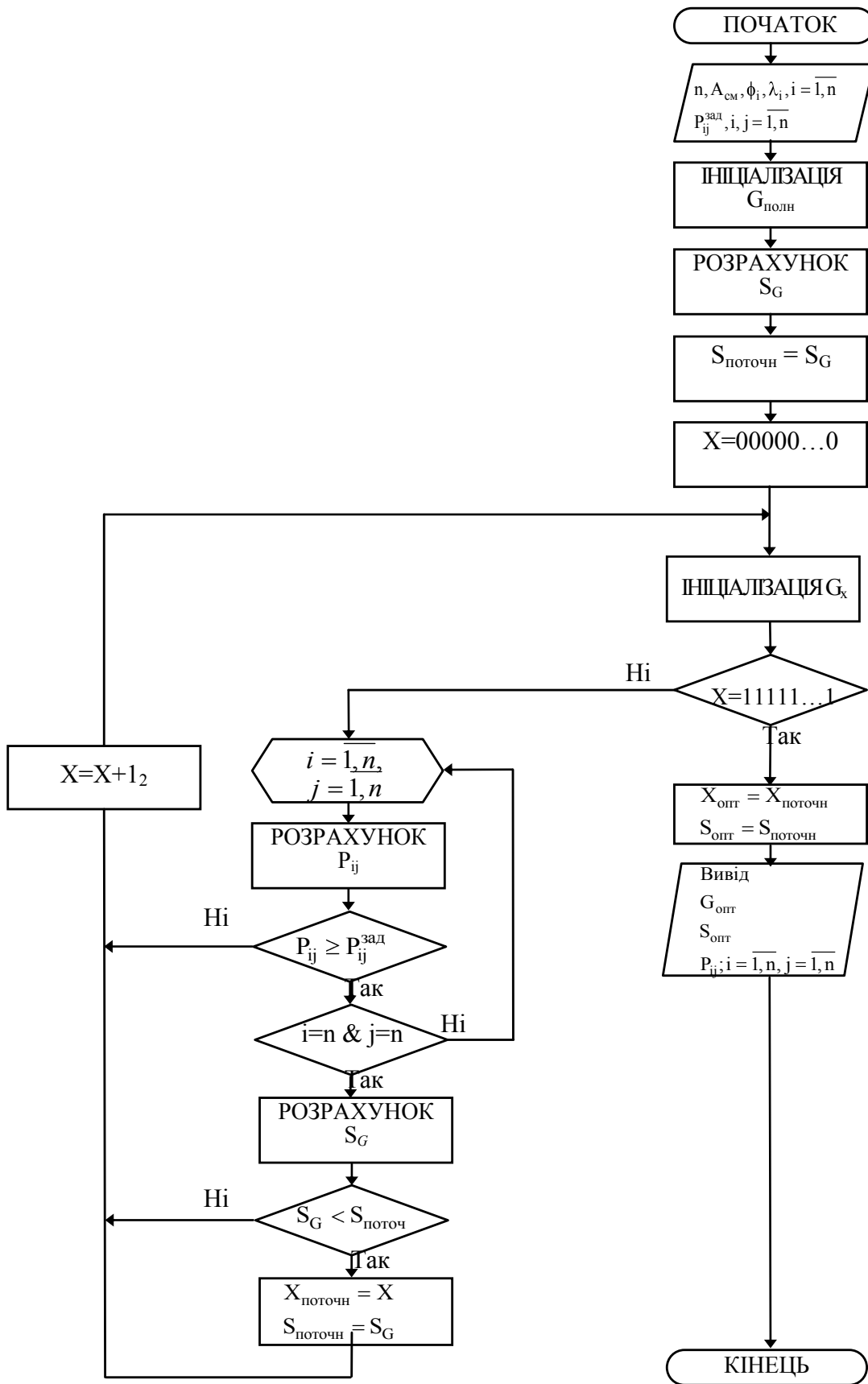


Рис. 3. Алгоритм вирішення задачі вибору оптимальної структури системи космічної розвідки

На рис. 4 а представлено граф, який описує існуючу структуру системи космічної розвідки та його оцінка щодо показника стійкості, яка показує, що існуюча структура системи космічної розвідки не відповідає вимогам стосовно стійкості цієї системи, вона знаходиться на межі стійкості, тобто стійкого

функціонування. За рахунок зміни зв'язності маємо можливість підвищувати стійкість всієї структури системи.

Оцінку запропонованої структури системи космічної розвідки за допомогою удосконаленої методики наведено на рис. 4 б.

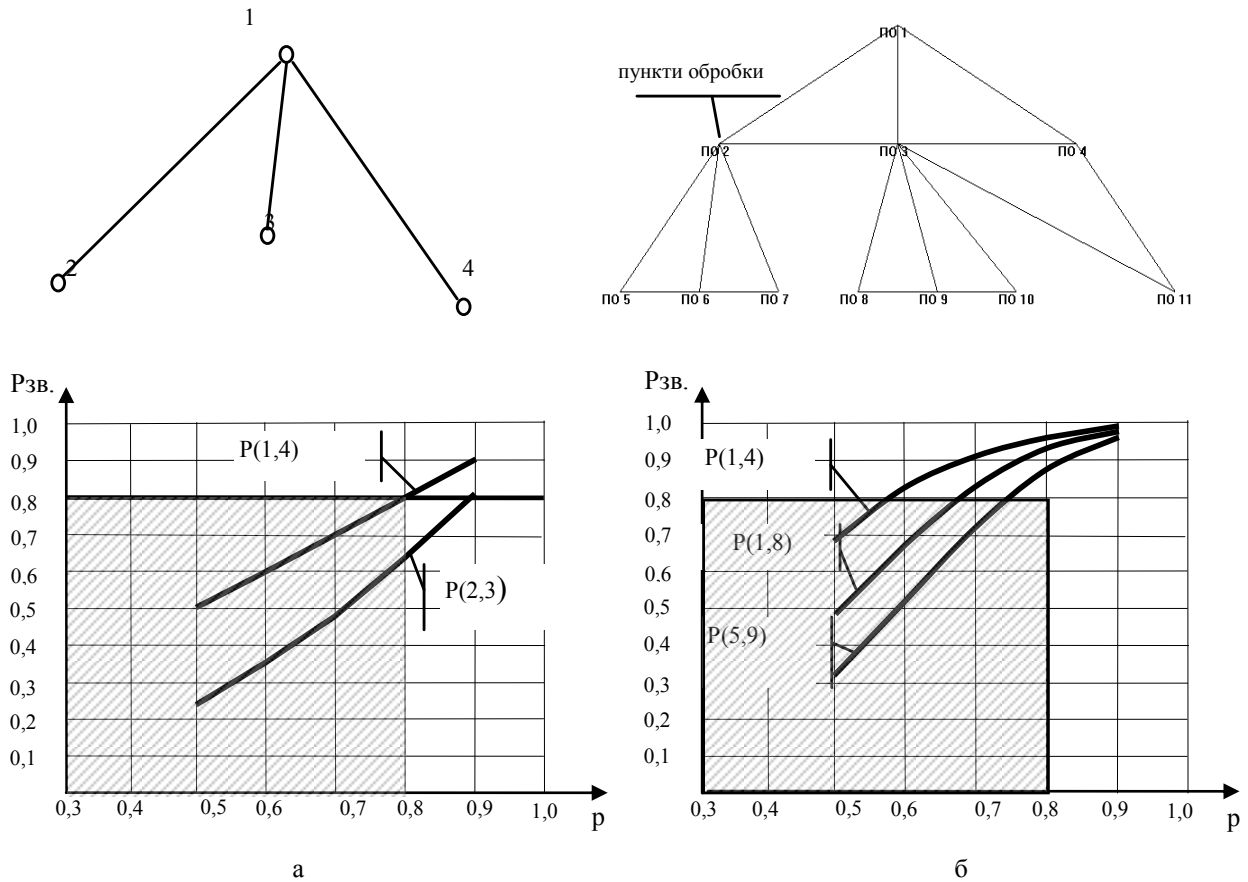


Рис. 4. Структури та графіки залежностей значень показників імовірності зв'язності структури системи космічної розвідки (для основних напрямків обміну інформацією) в оборонній операції управління військами (силами): а – існуючої; б – запропонованої

На рис. 5 наглядно наведено, що оптимізація структури СКР дає можливість підвищити значення

показника стійкості структури, тобто імовірність її зв'язності, у середньому на 21%.

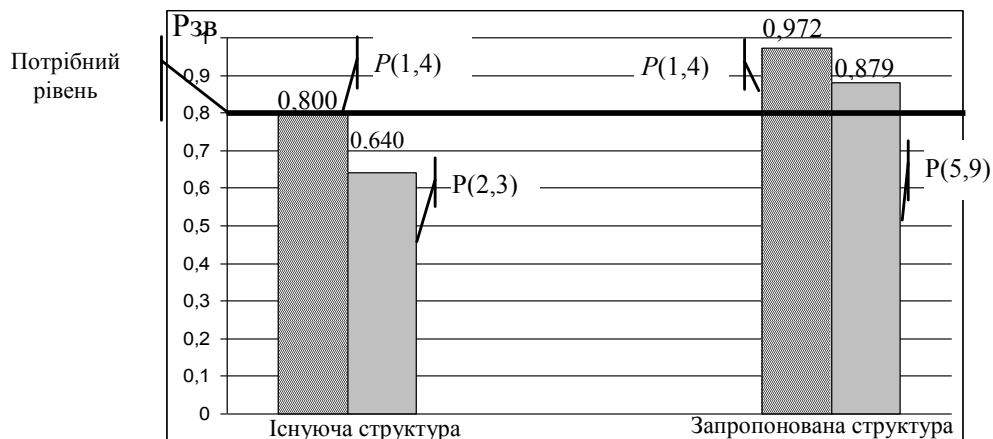


Рис. 5. Значення показника імовірності зв'язності існуючої та запропонованої структури системи космічної розвідки

## Висновки

1. Запропоновано в якості математичної моделі структури системи космічної розвідки використовувати стандартну графову модель, де в якості вершин графу виступають пункти обробки розвідувальної інформації, а ребер – лінії зв'язку та передачі інформації між пунктами.

2. Визначено, що для оцінки стійкості структури системи космічної розвідки від внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих впливів доцільно використовувати імовірнісний показник, а саме – імовірність передачі інформації між двома пунктами обробки інформації. Такий показник в теорії графів отримав назву імовірності зв'язності між парою вершин.

3. Запропоновано методику оцінки стійкості структури та алгоритм обчислення імовірності зв'язності між кожною парою вершин графу, що описує структуру. Побудова раціональної структури з використанням запропонованої методики дозволила підвищити на 21% стійкість структури космічної розвідки.

4. Запропоновану методику можна використовувати для інших великих організаційних структур, на які накладаються вимоги стійкості під час функціонування до зовнішніх і внутрішніх впливів.

## Список літератури

1. Артюшин Л.М. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції: моногр. / Л.М. Артюшин, С.П. Мосов, Д.В. П'ясовський, В.Б. Толубко. – К.: НАОУ, 2002. – 208 с.

2. Організація балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами: підручник / Під заг. ред. М.С. Сівова. – К.: НАОУ, 2007. – 508 с.

3. Мосов С.П. Про підхід до формування в Україні аерокосмічної розвідки і спостереження / С.П. Мосов, В.І. Присяжний, М.М. Степаненков // Вісник воєнної розвідки. – 2000. – № 1. – С. 38-40.

4. Мосов С.П. Системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення: військовий аспект / С.П. Мосов, В.І. Волошин // Труды академії. – К.: НАОУ. – 2001. – № 39. – С. 41-44.

5. Барабаш О.В. Аналіз інформаційно-аналітичної діяльності служби космічної розвідки / О.В. Барабаш, І.А. Кухарський, В.В. Зуйко // Труды академії. – К.: НАОУ. – 2007. – № 76. – С. 115-118.

6. Королєв А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королєв, Г.А. Кучук, А.А. Паишев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

7. Козелков С.В. Перспективи використання космічних систем дистанційного зондування Землі для вирішення завдань військового призначення / С.В. Козелков, Д.П. Пашков // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2008. – № 4(16). – С. 133-137.

8. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

9. Кравченко Ю.В. Функциональна стійкість – властивість складних технічних систем / Ю.В.Кравченко, О.В. Барабаш // Труды академії. – К.: НАОУ. – 2002. – №40. – С. 225-229.

10. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем: моногр. / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

Надійшла до редколегії 10.09.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Е. Асланян, Національна академія оборони України, Київ.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ПРОТИВНИКА

О.В. Барабаш, В.В. Зуйко

В статье предложена методика оценки стойкости структуры системы космической разведки, которая основана на определении вероятности связности между парами вершин графа, которая описывает структуру. Вычисление данного показателя проводится на основе переборных методов за разработанным алгоритмом. Представленная методика предоставляет возможность построить оптимальную структуру системы космической разведки за критерием минимума стоимости при ограничениях на показатели стойкости функционирования в условиях влияния внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

**Ключевые слова:** структура, система космической разведки, стойкость структуры, вероятность связности графа структуры, оптимизация структуры.

## METHOD OF ESTIMATION OF FIRMNESS OF STRUCTURE OF SYSTEM OF SPACE SECRET SERVICE IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF OPPONENT

O.V. Barabash, V.V. Zuyko

The method of estimation of firmness of structure of the system of space secret service, which is based on determination of probability of compendancy between the pair of tops column which describes a structure, is offered in the article. The calculation of this index is conducted on the basis of fastidious methods after the developed algorithm. Method gives possibility to build the optimum structure of the system of space secret service after the criterion of a minimum of cost at limits on the indexes of firmness of functioning in the conditions of influence of external and internal destabilizing factors.

**Keywords:** structure, system of space secret service, firmness of structure, probability of compendancy of count of structure, optimization of structure.