

*Зуйко Віталій Володимирович (кандидат військових наук, доцент)*

*Зотов Сергій Валентинович (кандидат військових наук)*

*Брезицький Едуард Юрійович*

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ РІЗНОРІДНИХ ЗАСОБІВ ОБРОБКИ ПІДСИСТЕМИ КОСМІЧНОЇ РОЗВІДКИ В СИСТЕМІ КОСМІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Досвід ведення бойових дій свідчить про необхідність вдосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення та ситуаційної обізнаності керівного складу Збройних Сил України. Внаслідок відсутності прямого і оперативного доступу органів військового управління до інформації, отриманої за допомогою космічних засобів, обмежених можливостей щодо використання матеріалів космічного знімання відмічається низький рівень ситуаційної обізнаності відповідних командувачів (начальників). З метою покращення ситуаційної обізнаності керівного складу Збройних Сил України інформацією від космічних засобів спостереження створюється система космічної підтримки Збройних Сил України яка складається з підсистем, зокрема, підсистеми космічної розвідки яку можна виділити, як одну з першочергових для обґрунтування і впровадження під час проведення операцій та активних бойових дій. Метою статті є вибір методу оптимізації розподілу різномірних засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки, для виконання завдання інформаційно-аналітичного забезпечення операції (бойових дій). Застосовано метод потенціалів як більш доцільний в його реалізації та оперативний під час проведення розрахунків. Зазначений метод дає змогу обґрунтувати шляхи і напрями підвищення оперативності процесу збору й обробки розвідувальної інформації для оптимального, за критерієм мінімуму ресурсних витрат, складу сил і засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки Збройних Сил України. Підходи до оптимізації розподілу різномірних засобів і визначення організаційно-штатних структур космічної підтримки присвячені низка робіт, але задачами визначення оптимального складу засобів обробки від космічних систем видового спостереження не розглядалось. У статті запропоновано розв'язання задачі розподілу об'єктів розвідки з метою мінімізації витрат ресурсу на створення комплексу засобів обробки за критерієм мінімуму економічних витрат. Запропоновано розв'язання вищезазначеної задачі як багатоіндексної транспортної задачі лінійного програмування, а саме, триаксильної транспортної задачі. Наведений підхід передбачає використання відомого методу розв'язання багатоіндексних транспортних задач, а саме, методу потенціалів для оптимізації розподілу різномірних засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки, для виконання завдання інформаційно-аналітичного забезпечення операції (бойових дій). Реалізація запропонованого підходу до складу підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки надає можливість з мінімальними затратами обґрунтувати структуру інформаційно-аналітичних підрозділів (постів) космічної підтримки, які спроможні виконувати завдання збору й обробки розвідувальної інформації в органах військового управління на різних рівнях.

**Ключові слова:** космічна підтримка, космічна розвідка, інформаційно-аналітичне забезпечення, оптимізація розподілу засобів, триаксильна транспортна задача, метод потенціалів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Враховуючи досвід ведення бойових дій з початком широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України з одного боку та обмежені можливості органів військового управління щодо використання результатів космічної діяльності для забезпечення підтримки прийняття рішень з іншої, виникає нагальна потреба подальшого вдосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення та ситуаційної обізнаності керівного складу Збройних Сил України (далі – ЗС України). Також потрібно відзначити проблему невідповідності нинішнього

стану космічної діяльності у сфері оборони України сучасним загрозам і завданням забезпечення обороноздатності держави, необхідності суттєвого удосконалення її системотворної ланки – космічної діяльності в ЗС України.

Космічна діяльність у сфері оборони – наукові космічні дослідження, створення та застосування (використання) космічної техніки, космічних інформаційних технологій, космічних продуктів і космічних послуг військового та/або подвійного призначення, використання космічного простору в інтересах оборони [1]. Результатом космічної діяльності є спеціальна космічна інформація,

космічні продукти і космічні послуги, що отримуються, створюються та використовуються в процесі космічної діяльності у сфері оборони. Для забезпечення органів військового управління спеціальною космічною інформацією в інтересах виконання визначених оперативних (оперативно-тактичних, тактичних) завдань в операційній зоні (операційному районі, на полі бою) під час проведення операцій (бойових дій) повинні бути здійсненні відповідні заходи з космічної підтримки операцій (бойових дій).

Згідно зі стандартом АЖР-3.3, космічна підтримка (en: space support) операцій (бойових дій) містить всі дії, які забезпечують спроможності через космічний простір (en: capabilities through space) для підтримки операцій (бойових дій) угруповань військ (сил). З метою підвищення ситуаційної обізнаності керівного складу ЗС України, органів військового управління може бути створена система космічної підтримки ЗС України. Вона може включати підрозділи (групи) космічної підтримки в Генеральному штабі, оперативно-стратегічних угрупованнях військ та повітряних командуваннях Повітряних Сил ЗС України. Зокрема, вже є відповідні рішення щодо створення вищезазначеної системи. Система космічної підтримки має декілька підсистем, а саме: підсистему управління та координації, космічної розвідки, контролю та аналізу космічної обстановки, координатно-часового і навігаційного забезпечення, супутникового зв'язку та підсистему метеорологічної підтримки [2]. Підсистему космічної розвідки можна виокремити як одну з першочергових для обґрунтування і впровадження під час проведення операцій та активних бойових дій збройними силами, тому актуальним завданням є оптимізація розподілу різномірних засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки, що вирішує завдання інформаційно-аналітичного забезпечення операції (бойових дій). Для вирішення даного завдання необхідно розглянути спроможності щодо обробки інформації від космічних систем видового спостереження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації розподілу різномірних засобів та визначенню раціональних організаційно-штатних структур підрозділів космічної підтримки присвячені роботи [3–6]. В [3] запропоновано підхід до знаходження оптимального рішення задачі розподілу зусиль сил і засобів протиповітряної оборони, але врахована імовірність ураження вогневими засобами на відміну від імовірності своєчасності обробки інформації від космічних систем видового спостереження. За допомогою розроблених підходів в [4], можна визначати пріоритетність альтернативних варіантів організаційно-штатних структур підрозділів космічної підтримки з використанням методів експертного оцінювання, а також графічного наведення результатів, але питання оптимального розподілу засобів обробки у

процесі забезпечення спеціальною космічною інформацією органи військового управління в інтересах виконання визначених оперативних завдань в операційній зоні під час проведення операцій, наприклад, в оперативно-стратегічних угрупованнях військ або повітряних командуваннях не розглядалось.

**Мета статті.** Вибір методу оптимізації розподілу різномірних засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки Збройних Сил України, для виконання завдання інформаційно-аналітичного забезпечення операції (бойових дій).

### Виклад основного матеріалу дослідження

Припустимо, для виконання завдань з обробки інформації видової космічної розвідки необхідно виконати  $Z_j$  часткових завдань  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{k-1}, Z_k$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$ . Кожне з  $Z_j$  часткових завдань складатиметься з викриття  $m$  типів об'єктів космічної розвідки. Тоді всю множину об'єктів космічної розвідки, які викриваються під час вирішення  $Z_j$  часткового завдання, можна подати як  $\{q_{ij}\}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}$ , де  $m$  – максимальна кількість типів об'єктів космічної розвідки, які викриваються для вирішення  $j$ -го завдання).

Відповідно до сформованої множини об'єктів розвідки  $\{q_{ij}\}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}$ ) для вирішення завдань з обробки розвідувальної інформації необхідно визначити сукупність засобів обробки. Кожний  $j$ -й засіб обробки повинен відповідати рівню управління, на якому він виконує завдання. Загальна кількість інформаційно-аналітичних підрозділів (постів) складатиме  $n$ , за таких умов на кожному з них встановлюються різномірні технічні засоби обробки – програмно-технічні комплекси (далі – ПТК), загальною чисельністю  $p$ . Загалом, кожен із  $k$  типів зазначених технічних засобів ( $k = \overline{1, p}$ ) може виконувати завдання з обробки розвідувальної інформації, що надходять від засобів космічної розвідки різних за типом об'єктів розвідки, які мають різні характеристики. Насамперед, кожен тип засобу обробки для кожного типу об'єкта розвідки характеризується відповідним часом обробки  $t_{ijk}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}$ ) та ймовірністю правильного розпізнавання  $P_{ijk}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}$ ), де  $i$  – тип об'єкта розвідки,  $j$  – пункт прийому й обробки,  $k$  – тип ПТК.

Для остаточного формалізованого узгодження часткових завдань із обробки інформації про об'єкти космічної розвідки – множини об'єктів розвідки, із засобами обробки – множинами пунктів прийому й обробки та ПТК, подамо множину об'єктів розвідки у вигляді  $\{q_{ijk}\}$  ( $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}$ ). Наприклад, для забезпечення розвідувальною інформацією органи військового управління можливо визначити

часткові завдання як обробка інформації про об'єкти розвідки для забезпечення прийняття адекватних рішень у відповідних штабах (службах), відповідного рівня, тобто, Генеральному штабі, оперативно-стратегічних угрупованнях військ та повітряних командуваннях Повітряних Сил ЗС України (рис. 1). Тоді  $k=3$ .

У межах виконання кожного  $j$ -го завдання можуть бути поставлені завдання з викриття  $\xi$  типів об'єктів космічної розвідки,  $\xi=1,2,\dots,n_j$ ; тоді  $\{Q_{jn}^{okp}, \dots, Q_{jn}^{okp}\}$  – множина об'єктів розвідки,  $j=1,2,\dots,k$ , де  $n_j$  – максимальна кількість типів об'єктів розвідки, які викриваються під час вирішення  $j$ -го завдання. Припустимо, що об'єкти розвідки функціонально незалежні. Кожний з типів об'єктів космічної розвідки характеризується ймовірністю  $P_{викр_{ij}}(\tau_{обр})$  викриття (розпізнавання) як функції від часу

обробки космічних знімків із заданою деталізацією  $\tau_{обр}$  (до виду, класу, типу) відповідним засобом. За результатами військово-економічного аналізу формується матриця  $\|C_{jn_j\delta_j}\|$  економічних витрат, що характеризує економічні аспекти вирішення завдань виявлення та розпізнавання кожного об'єкта розвідки  $\xi$ -ого типу відповідним засобом обробки  $i$ -го виду. Елементи матриці  $\|C_{jn_j\delta_j}\|$  формуються із урахуванням складності викриття відповідного об'єкта, де  $C_{jn_j\delta_j} = C_{jn_j} \cdot M_{j\delta_j}$ ;  $C_{jn_j}, M_{j\delta_j}$  – відповідно вартість одного комплексу обробки  $i$ -го типу та їх кількість, яка необхідна для викриття об'єкта розвідки з визначеними показниками оперативності (своєчасності обробки)  $P_{со}^{nomp}_{n_j}$ .

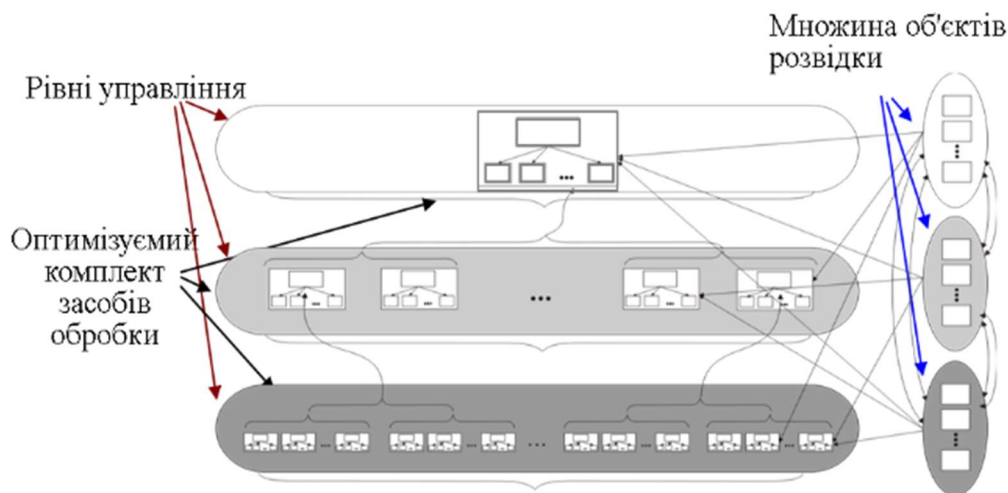


Рис. 1. Вихідні дані щодо постановки задачі оптимального розподілу неоднорідних засобів обробки розвідувальної інформації

У процесі постановки задачі оптимізації різномірних засобів обробки необхідно враховувати особливості прийняття рішення за результатами космічної розвідки. Це є певною важливою особливістю постановки задачі оптимізації засобів обробки підсистеми космічної розвідки, які, з одного боку, вимагають урахування показників вирішення задач за призначенням (викриття об'єктів розвідки), а з іншого показників, що характеризують створене угруповання сил та засобів  $S_{opt}^{okp}$  як розподілену систему обміну інформацією.

Вибір методу вирішення задачі оптимізації розподілу різномірних засобів обробки наземного інформаційного комплексу системи космічної розвідки. У процесі вирішення задачі оптимізації розподілу засобів обробки будемо спиратися на методи вирішення задач лінійного програмування [8–10], а саме на багатоіндексні транспортні задачі лінійного програмування.

Нехай будемо мати  $m$  рівнів задач обробки розвідувальної інформації з метою виявлення об'єктів противника (рівень ланки управління), та матиме  $p$  типів об'єктів противника, які призначені для обробки  $n$  типів засобів обробки видової космічної інформації.

Будемо рахувати, що визначені наступні дані:

$C_{ijk}$  – вартість обробки знімка, яка залежить від кількості об'єктів різних типів на даному знімку та кількості знімків, які залежать від рівня задачі (рівня управління);

$a_{ij}$  – загальна кількість об'єктів розвідки, яку необхідно обробити на всіх рівнях обробки;

$b_{jk}$  – загальна кількість об'єктів розвідки відповідного рівня задачі  $m$  (ланки управління), визначається задачами розвідки відповідного рівня управління;

$C_{ik}$  – кількість об'єктів розвідки, яку необхідно обробити на відповідному рівні, для досягнення заданого рівня ефективності в операції.

Поставимо завдання розподілу об'єктів розвідки з метою мінімізації витрат ресурсу на створення комплекту засобів обробки, тобто потрібно звести до критерію мінімуму економічних витрат. Введемо набір змінних  $\{Q_{ijk}\}$ , де компонента  $Q_{ijk}$  чисельно рівняється кількості об'єктів обробки  $k$ -го типу  $i$ -м комплектом обробки  $j$ -го завдання (рівня управління).

Тоді задача може бути сформульована наступним чином [7]:

знайти набір  $Q^{*opt} = \{Q^{opt}_{ijk}\}$ , який мінімізує

$$F(S) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p c_{ijk} Q_{ijk} \rightarrow \min \quad (1)$$

та відповідає наступним обмеженням:

$$\sum_{k=1}^p Q_{ijk} = a_{ij}, i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{ijk} = b_{jk}, j \in J, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n Q_{ijk} = c_{ik}, i \in I, k \in K \quad (4)$$

$$Q_{ijk} \geq 0, i \in I, j \in J, k \in K. \quad (5)$$

Коефіцієнти  $c_{ijk}$  цільової функції (1) і компоненти  $Q_{ijk}$  створюють багатоіндексні матриці  $\{c_{ijk}\}$  і  $\{Q_{ijk}\}$ . Як бачимо з (2)–(4), у даній задачі обмеження накладені на суми змінних у кожному одномірному розтині (аксіальні або осьові суми). У силу цього модель (1)–(5) можна вважати триаксальною транспортною задачею.

Найбільш простий та розповсюджений метод вирішення багатоіндексної транспортної задачі є метод потенціалів. Привабливість цього методу у відносно легкій його реалізації та оперативності розрахунків.

Розглянемо порядок вирішення триаксальної транспортної задачі розподілу засобів обробки розвідувальної інформації, яка отримана за допомогою космічних систем видової розвідки, методом потенціалів. Процес розв'язання задачі за допомогою методу потенціалів складається з попереднього етапу, на якому визначається початковий опорний план, та кінцевого числа однотипних ітерацій, які складають основний етап роботи алгоритму рішення задачі. Кожна ітерація основного етапу складається з двох кроків. На першому кроці за допомогою критерію оптимальності перевіряється оптимальність опорного плану, якій отриманий у результаті попередньої ітерації. Якщо план оптимальний то процес рішення закінчується. У противному випадку виконується другий крок ітерації, на якому формується новий опорний план з меншим

значенням цільової функції задачі [8].

Розглянемо попередній етап вирішення триаксальної транспортної задачі, а саме, побудови початкового опорного плану. Для побудови початкового опорного плану використаємо метод послідовного розподілу. В основі методу послідовного розподілу лежить наступне міркування [8]. Виберемо будь-якій елемент  $Q_{1j1k1}$  матриці  $\{Q_{ijk}\}$  та припустимо його рівним  $Q_{1j1k1} = \min\{a_{i1}, b_{j1}, c_{k1}\}$ .

Елемент  $Q_{1j1k1}$  входить до трьох обмежень [8]:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p Q_{1j1k} = a_{i1}; \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p Q_{ij1k} = b_{j1}; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij1k} = c_{k1}.$$

Якщо для визначеності

$$\min\{a_{i1}, b_{j1}, c_{k1}\} = a_{i1},$$

то перше з обмежень буде виконано, а для двох інших мають місце

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p Q_{ij1k} < b_{j1}; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij1k} < c_{k1}.$$

Введемо  $b'_{j1} = b_{j1} - a_{i1}$  та  $c'_{k1} = c_{k1} - a_{i1}$ . Зараз, прийняв значення решти змінних у перетині  $Q_{i1}^{jk}$  рівним нулю, можна виключити цей перетин з матриці  $\{Q_{ijk}\}$ , зменшив таким чином розмірність матриці на одиницю. В результаті виконаних операцій отримуємо нову усічену матрицю  $\{Q_{ijk}\}$  розміру  $(m-1) \times n \times p$  та новий вектор обмежень

$$B' = \{a_1, \dots, a_{i-1}, a_{i+1}, \dots, a_m, b_1, \dots, b_j, \dots, b_n, c_1, \dots, c_{k-1}, \dots, c_p\}.$$

Вказана процедура може бути продовжена. Елемент  $Q_{ijk}$  матриці призначень, якій на черговому кроці вводиться у множину ненульових компонент плану будемо називати ведучим. З метою упорядкування вибору чергового ведучого елемента зручно в якості ведучого на першому кроці вибирати елемент  $Q_{111}$ , а на кожному з наступних кроків – елемент  $Q_{ijk}$  з мінімальними значеннями індексів  $i, j, k$ .

Дамо формальний виклад алгоритму. Припустимо, проведено  $v$  кроків процедури в результаті чого отримані:

$I_+^{(v)} = \{1, 2, \dots, i_v\}$  – множина номерів перетин орієнтації  $(jk)$  з відомими значеннями змінних  $Q_{ijk}$ ;

$J_+^{(v)} = \{1, 2, \dots, j_v\}$  – множина номерів перетин орієнтації  $(ik)$  з відомими значеннями змінних;

$K_+^{(v)} = \{1, 2, \dots, k_v\}$  – множина номерів перетин орієнтації  $(ij)$  з відомими значеннями змінних;

$I_-^{(v)} = \{i_v + 1, \dots, m\}, J_-^{(v)} = \{j_v + 1, \dots, n\}, K_-^{(v)} = \{k_v + 1, \dots, p\}$  – множина перетин орієнтації  $(jk), (ik), (ij)$  з невідомими значеннями частини змінних  $Q_{ijk}$ ;

$\{Q_{ijk}^{(v)}\}$  – матриця змінних, яка включає підматрицю  $\{Q_{ijk}^{(v)}\}$ ,  $i \in I_-^{(v)}, j \in J_-^{(v)}, k \in K_-^{(v)}$ , з невідомими значеннями елементів;

$$B^{(v)} = \{0, \dots, 0, a_{i_v+1}^{(v)}, \dots, a_m^{(v)}, 0, \dots, 0, b_{j_v+1}^{(v)}, \dots, b_n^{(v)}, 0, \dots, 0, c_{k_v+1}^{(v)}, \dots, c_p^{(v)}\} - \tilde{V} = \{\tilde{u}_{11}, \tilde{u}_{12}, \dots, \tilde{u}_{mn}, \tilde{v}_{11}, \tilde{v}_{12}, \dots, \tilde{v}_{np}, \tilde{\omega}_{11}, \tilde{\omega}_{12}, \dots, \tilde{\omega}_{mp}\}$$

вектор обмежень.

Відзначимо, що перед першим кроком, коли  $v=0$ ,

$$I_+^{(0)} = \emptyset, J_+^{(0)} = \emptyset, K_+^{(0)} = \emptyset,$$

$$I_-^{(0)} = I, J_-^{(0)} = J, K_-^{(0)} = K, i_0 = 0, j_0 = 0, k_0 = 0,$$

$$B^{(0)} = \{a_1, \dots, a_m, b_1, \dots, b_n, c_1, \dots, c_p\}.$$

На черговому,  $(v+1)$  – м, кроці розрахункова процедура проводиться відповідно до відношень:

$$Q_{i_v+1, j_v+1, k_v+1}^{(v+1)} = \min\{a_{i_v+1}^{(v)}, b_{j_v+1}^{(v)}, c_{k_v+1}^{(v)}\} = d_v;$$

$$a_{i_v+1}^{(v+1)} = a_{i_v+1}^{(v)} - d_v; b_{j_v+1}^{(v+1)} = b_{j_v+1}^{(v)} - d_v; c_{k_v+1}^{(v+1)} = c_{k_v+1}^{(v)} - d_v;$$

$$i_{v+1} = \begin{cases} i_{v+1}, \text{ якщо } d_v = a_{i_v+1}^{(v)}; \\ i_v \text{ в протилежно му випадку;} \end{cases}$$

$$j_{v+1} = \begin{cases} j_{v+1}, \text{ якщо } d_v = b_{j_v+1}^{(v)}; \\ j_v \text{ в протилежно му випадку;} \end{cases}$$

$$k_{v+1} = \begin{cases} k_{v+1}, \text{ якщо } d_v = c_{k_v+1}^{(v)}; \\ k_v \text{ в протилежно му випадку.} \end{cases}$$

Потім здійснюється перехід до виконання наступного,  $(v+1)$  – го, кроку.

Припустимо, у результаті проведення  $(q-1)$  – і ітерації отриманий опорний план

$$S^{(q-1)} = \{Q_{ijk}^{(q-1)}\}$$
 та відома матриця коефіцієнтів

$$C^{(q-1)} = \{c_{ijk}^{(q-1)}\}. \text{ На першій ітерації, коли } q=1,$$

використовується початковий опорний план

$$S^{(0)} = \{Q_{ijk}^{(0)}\}, \text{ якій отриманий на попередньому етапі,}$$

і матриця  $C^{(0)} = \{c_{ijk}^{(0)}\}$  яка співпадає з матрицею

$C = \{c_{ijk}\}$  коефіцієнтів цільової функції.

Введемо множину суттєвих індексних елементів

$$R_{q-1} = \{(ijk) : Q_{ijk}^{(q-1)} > 0\}.$$

Далі розглянемо зміст  $q$ -й ітерації основного етапу алгоритму.

**Крок 1.** Для перевірки оптимальності опорного плану  $\{Q_{ijk}^{(q-1)}\}$  вирішують систему лінійних рівнянь

$$u_{ij} + v_{jk} + \omega_{ik} = c_{ijk}^{(q-1)}, (ijk) \in R_{q-1}. \quad (6)$$

Система (6) складається з  $mnp-(m-1)(n-1)(p-1)$  рівнянь, які містять  $mnp-(m-1)(n-1)(p-1)$  невідомих, та є невизначеною. Дійсно,

$$mnp-(m-1)(n-1)(p-1) = mnp + np + mp - (m+n+p-1) < mnp + np + mp.$$

Для отримання одного з рішень системи можна дорівняти нулю змінні

$$u_{i,j} = 0, j \in \{1, 2, \dots, n\};$$

$$v_{j,k} = 0, k \in \{1, 2, \dots, p\};$$

$$\omega_{i,k_1} = 0, i \in \{1, 2, \dots, i_1 - 1, i_1 + 1, \dots, m\}$$

для трьох будь-яких значень індексів  $i_1 \in I; j_1 \in J; k_1 \in K$ . Припустимо

– одне з рішень системи (6).

Числа  $\tilde{u}_{ij}, \tilde{v}_{jk}, \tilde{\omega}_{ik}, i \in I, j \in J, k \in K$ , будемо називати попередніми потенціалами.

Для знаходження оптимального плану  $\{Q_{ijk}^{(q-1)}\}$  необхідним є виконання вимоги:

$$c_{ijk}^{(q)} = c_{ijk}^{(q-1)} - (\tilde{u}_{ij} + \tilde{v}_{jk} + \tilde{\omega}_{ik}) \geq 0, i \in I, j \in J, k \in K. \quad (7)$$

Якщо існує хоча б один індексний елемент  $(ijk)$ , для якого  $c_{ijk}^{(q)} < 0$ , то план може бути поліпшений і може виконуватись другий крок ітерації.

**Крок 2.** Розрахуємо

$$\min_{(ijk) \in E} \{c_{ijk}^{(q)}\} = c_{i^* j^* k^*}^{(q)} \text{ та вирішимо систему}$$

лінійних рівнянь

$$\sum_{(ijk) \in R_{q-1}} P_{ijk} \theta_{ijk} = -P_{i^* j^* k^*}. \quad (8)$$

відносно невідомих  $\theta_{ijk}, (ijk) \in E = I \times J \times K$ .

$P_{ijk}$  – вектори-стовбці матриці умов, яку визначимо через  $\Pi$ .

Система (8) містить  $\mu = mnp + np + mp$  рівнянь та  $\rho = mnp - (m-1)(n-1)(p-1)$  невідомих. Можна стверджувати, що в силу основної властивості опорного плану  $\{Q_{ijk}^{(q-1)}\}$  – лінійної незалежності векторів  $P_{ijk}, (ijk) \in R_{q-1}$ , – система (8) має єдине рішення.

Нехай  $\{\theta'_{ijk}\}, (ijk) \in R_{q-1}$ , – рішення системи (8).

Введемо підмножину індексних елементів

$$R_{q-1}^- = \{(ijk) : \theta'_{ijk} < 0\}.$$

Очевидно, що  $R_{q-1}^- \neq \emptyset$ . Розрахуємо

$$\theta_0^{(q)} = \frac{Q_{i_1 j_1 k_1}^{(q-1)}}{\theta'_{i_1 j_1 k_1}} = \max_{(ijk) \in R_{q-1}^-} \{Q_{ijk}^{(q-1)} / \theta'_{ijk}\} \quad (9)$$

та визначимо значення компонент нового опорного плану  $S^{(q)} = \{Q_{ijk}^{(q)}\}$  за виразом:

$$Q_{ijk}^{(q)} = Q_{ijk}^{(q-1)} - \theta_{ijk}^{(q)} \theta_0^{(q)}, \quad (10)$$

$$\text{де } \theta_{ijk}^{(q)} = \begin{cases} 1, (ijk) = (i^* j^* k^*); \\ \theta'_{ijk}, (ijk) \in R_{q-1}; \\ 0, (ijk) \notin R_{q-1} \text{ і } (ijk) \neq (i^* j^* k^*). \end{cases} \quad (11)$$

В результаті відпрацьованих операцій в новому опорному плані  $S^{(q)} = \{Q_{ijk}^{(q)}\}$  з'являється нова позитивна компонента  $Q_{i^* j^* k^*}^{(q)} = -\theta_0^{(q)} > 0$  та з множини позитивних виключається компонента  $Q_{i_1 j_1 k_1}^{(q)}$ . За таких умов:

$$R_q = \{R_{q-1} \setminus (i_1 j_1 k_1)\} \cup (i^* j^* k^*).$$

Набір  $\{Q_{ijk}^{(q)}\}$ , який отриманий за допомогою зазначеного способу:

а) є планом триаксильної транспортної задачі розподілу засобів обробки розвідувальної інформації;

б) забезпечує менше значення цільової функції (4) порівняно з планом  $\{Q_{ijk}^{(q-1)}\}$ , тобто

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p c_{ijk} Q_{ijk}^{(q)} < \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p c_{ijk} Q_{ijk}^{(q-1)}.$$

Після виконання другого кроку здійснюється перехід до наступної,  $(q+1)$  – і, ітерації. Розрахунковий процес продовжується доти, доки не буде виконаний критерій оптимальності (7).

У наведеному вигляді розв'язання задачі (1) – (5) забезпечує отримання виконання завдання оптимізації, але без урахування обмежень за показником своєчасності обробки ( $P_{co}^{nomp}_{n_j}$ ). Тому для його урахування необхідно провести перевірку виконання обмеження на своєчасність обробки шляхом перевірки для отриманого набору  $Q^{*opt} = \{Q^{opt}_{ijk}\}$  спроможності його своєчасної обробки на створеному комплекті засобів обробки підсистеми космічної розвідки системи космічної підтримки ЗС України щодо заданої кількості інформаційно-аналітичних підрозділів (постів) та засобів обробки на них.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Отже, у статті наведено розв'язання задачі оптимізації розподілу різнорідних засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки Збройних Сил України. Застосовано метод потенціалів як більш доцільний в його

реалізації та оперативний у процесі проведення розрахунків. Зазначений метод дає змогу обґрунтувати шляхи і напрями підвищення оперативності процесу збору й обробки розвідувальної інформації при оптимальному, за критерієм мінімуму ресурсних витрат, складі сил і засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки Збройних Сил України. Запропоновано розв'язання задачі розподілу об'єктів розвідки з метою мінімізації витрат ресурсу на створення комплекту засобів обробки за мінімумом критерію економічних витрат. Запропоновано розв'язання вищезазначеної задачі, як багатоіндексної транспортної задачі лінійного програмування, а саме, триаксильної транспортної задачі.

Метод дозволяє обґрунтувати шляхи і напрями підвищення оперативності процесу збору й оброблення розвідувальної інформації при оптимальному, за критерієм мінімуму ресурсних витрат, складі сил і засобів обробки підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки ЗС України.

Подальшим напрямом досліджень над запропонованим підходом є проведення математичного моделювання та оцінка ефективності підсистеми космічної розвідки в системі космічної підтримки ЗС України за показником оперативності збору та обробки розвідувальної інформації від космічних систем розвідки та спостереження.

### Список бібліографічних посилань

1. Військовий стандарт 01.048.001 (01). Космічна діяльність у сфері оборони. Терміни та визначення. [Чинний від 29.08.2019.] Вид. офіц. Київ : Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації МО України, 2019. 43 с. 2. Стандарт НАТО АЖР-3.3 Союзницька об'єднана доктрина повітряних і космічних операцій. Видання Б. Версія 1, квітень 2016 року (NATO Standard AJP-3.3 Allied joint doctrine for air and space operations. Edition B, Version 1, April 2016. Published by the NATO Standardization Office (NSO)), 2016. 103 с. URL: <https://jarcc.org> (дата звернення 21.11.2023). 3. Кулініч І. І., Базіло С. М., Войтех К. Я., Зверев О. О., Купрій В. М. Підхід до оптимізації розподілу зусиль сил і засобів протиповітряної оборони з метою забезпечення зенітного ракетного прикриття військ та об'єктів *Sciences of Europe*. 2020. Вип. 57. С. 50–53. 4. Лещенко С. П., Кожушко Я. М., Іщенко Д. А. Оцінка варіантів визначення раціональних організаційно-штатних структур органів (підрозділів) космічної підтримки. *Системи озброєння і військова техніка*. 2022. Вип. 1 (69). С. 56–70. 5. Rakushev M., Matsko O., Permiakov O., Lavrinchuk O., Koshlan O., Varlamov I. The Technique of Operational Processing of Heterogeneous Surveillance Data in Assessing Situation in Geographic Information Systems. *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*.

2021. Proceedings. P. 149–153. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678766. 6. Ракушев М. Ю., Зуйко В. В., Зотов С. В., Янчевський С. Л. Аналіз галузі дистанційного зондування Землі високої просторової розрізненості для вирішення завдань у сфері національної безпеки та оборони. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень*. 2020. Вип. 3(70). С. 121–128. 7. Зуйко В. В., Шолохов С. М. Постановка задачі векторної оптимізації складу сил та засобів видової космічної розвідки в операціях. *Труди академії*. 2009. Вип. 8 (88). С. 103–108. 8. Шарпов О. Д., Дербенцев В. Д., Семьонов Д. Є. Дослідження операцій : навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2014. 154 с. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/htm> (дата звернення 21.11.2023). 9. Сікора Я. Б., Щехорський А. Й., Якимчук Б. Л. Методи оптимізації та дослідження операцій : навч. посіб. Житомир: ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. 148 с. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/33082/1> (дата звернення 21.11.2023). 10. Ємець О. О., Пічугіна О. С., Мацій О. Б., Коробчинський К. П. Лінійне програмування для студентів напрямів підготовки 122 Комп'ютерні науки та 121 Інженерія програмного забезпечення : навч. посіб. Харків: ХНАДУ, 2019. 102 с. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/3448/1> (дата звернення 21.11.2023).

**PRACTICAL ASPECTS OF USING THE METHOD OF OPTIMIZING THE DISTRIBUTION OF HETEROGENEOUS MEANS OF PROCESSING THE SPACE INTELLIGENCE SUBSYSTEM IN THE SPACE SUPPORT SYSTEM OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**

*Zuiko Vitalii (candidate of military sciences, associate of professor)*

*Zotov Sergii (candidate of military sciences)*

*Brezitskyi Eduard*

*National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** The experience of conducting combat shows the need to improve information and analytical support and situational awareness of the leadership of the Armed Forces of Ukraine. As a result of the lack of direct and operational access of the military administration to the information obtained with the help of space means, limited possibilities regarding the use of space shooting materials, a low level of situational awareness of the relevant commanders (chiefs) is noted. In order to improve the situational awareness of the leadership of the Armed Forces of Ukraine, a system of space support of the Armed Forces of Ukraine is being created using information from space surveillance tools, which consists of several subsystems, in particular, a subsystem of space intelligence, which can be singled out as one of the primary ones for justification and implementation during operations. The purpose of the article is to choose a method for optimizing the distribution of disparate means of processing the space intelligence subsystem in the space support system, to fulfill the task of information and analytical support of the operation (combat operations). Research methods. The method of potentials is applied, as it is relatively easy to implement and operational when making calculations. The specified method makes it possible to substantiate the ways and directions of increasing the efficiency of the process of collecting and processing intelligence information with the optimal composition of forces and means of processing the space intelligence subsystem in the system of space support of the Armed Forces of Ukraine, according to the criterion of minimum resource costs.

**Analysis of recent researches and publications.** Approaches to the optimization of the distribution of heterogeneous means and the definition of organizational and staff structures of space support are devoted to a number of works, but the tasks of determining the optimal composition of means of processing from space systems of species observation were not considered.

**Presenting the main material.** The article proposes a solution to the problem of distribution of intelligence objects with the aim of minimizing resource costs for creating a set of processing tools according to the minimum criterion of economic costs. The solution of the above-mentioned problem is proposed as a multi-index transport problem of linear programming, namely, a triaxial transport problem. The given approach involves the use of a well-known method of solving multi-index transport problems, namely, the method of potentials for optimizing the distribution of heterogeneous means of processing the space intelligence subsystem in the space support system, to perform the task of information and analytical support for operations (combat operations).

**Elements of scientific novelty.** The implementation of the proposed approach to the composition of the space intelligence subsystem in the space support system provides an opportunity with minimal costs to justify the structure of information and analytical units (posts) of space support, which are capable of performing the tasks of collecting and processing intelligence information in military management at various levels.

**Practical significance of the article.** The results of the study make it possible to substantiate the ways and directions of increasing the efficiency of the process of collecting and processing intelligence information with the optimal composition of forces and means of processing the space intelligence subsystem in the space support system of the Armed Forces of Ukraine, according to the criterion of minimum resource costs.

**Conclusion and the perspectives of future researches.** A further direction of research on the proposed approach is to conduct mathematical modeling and evaluate the effectiveness of the space intelligence subsystem in the space support system of the Armed Forces of Ukraine based on the efficiency of collecting and processing intelligence information from space intelligence and surveillance systems.

**Keywords:** space support, space intelligence, information and analytical support, the task of optimizing the distribution of processing tools, triaxial transport task, the method of potentials.

## References

- Viys'kovyy standart 01.048.001 (01), (2019) *Kosmichna diyal'nist' u sferi oborony. Terminy ta vyznachennya*. VST 01.048.001 (01):2019. Kyiv: Vyd. ofits. Kyiv.
- Standart NATO AJP-3.3, (2016) *Soyuznyts'ka ob'yednana doktryna povitryanykh i kosmichnykh operatsiy*, vydannya B, versiya 1, kviten' 2016 roku (NATO Standard AJP-3.3 Allied joint doctrine for air and space operations. Edition B, Version 1, April 2016. URL: <https://japcc.org> (дата звернення 21.11.2023).
- Kulinich, I. I., Bazilo, S. M., Voytekh, K. Y., Zvyeryev, O. O., Kupriy, V. M., (2020). An approach to optimizing the distribution of air defense forces and means to ensure anti-aircraft missile cover of troops and facilities. *Sciences of Europe*. 57, 50-53.
- Leshchenko, S. P., Kozhushko, Y. M., Ishchenko, D. A., (2022). Evaluation of options for determining rational organizational and staffing structures of bodies (subdivisions) of space support. *Systemy ozbroymyha i viys'kova tekhnika*. 1 (69), 56-70.
- Rakushev, M., Matsko, O., Permiakov, O., Lavrinchuk, O., Koshlan, O., Varlamov, I., (2021). The Technique of Operational Processing of Heterogeneous Surveillance Data in Assessing Situation in Geographic Information Systems. *IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory*. Proceedings, 149-153. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678766.
- Rakushev, M. Yu., Zuyko, V. V., Zotov, S. V., Yanchevskiy, S. L., (2020). Analysis of the field of remote sensing of the Earth with high spatial resolution for solving tasks in the field of national security and defense. *Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Studies*. 3(70), 121-128.
- Zuiko, V. V., Sholokhov, S. M., (2009). Setting the problem of vector optimization of the composition of forces and means of special space reconnaissance in operations. *Trudy akademiyi*. 8 (88), 103-108.
- Sharapov, O. D., Derbentsev, V. D., Semyonov, D. E., (2014). *Operations Research: a study guide*. Kyiv : KNEU, [online]. Available at: <http://socrates.vsau.org/b04213/htm.pdf> [Accessed : 21 November 2023].
- Sikora, Y. B., Shcheporskyi, A. Y., Yakymchuk, B. L., (2019). *Methods of optimization and operations research: a study guide*. Zhytomyr : ZHDU im. Ivana Franka, [online]. Available at: <http://eprints.zu.edu.ua/33082/1.pdf> [Accessed : 21 November 2023].
- Yemets', O. O., Pichuhina, O. S., Matsyy, O. B., Korobchyns'kyi, K. P., (2019). *Linear programming for students of 122 Computer Science and 121 Software Engineering: a study guide*. Kharkiv : HNADU, [online]. Available at: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/3448/1.pdf> [Accessed : 21 November 2023].