

УДК 528.715 : 629.735 (045)

Козуб Андрій Миколайович

Кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри застосування космічних систем та геоінформаційного забезпечення

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

Білобородов Олег Олександрович

Кандидат технічних наук, начальник науково-дослідної лабораторії

Військова частина А4566, Київ

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКТУ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ
АЕРОКОСМІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ**

***Анотація.** Розробка технологій аерокосмічного моніторингу вимагає вирішення проблеми обґрунтування оптимального комплексу оптико-електронної апаратури для виконання завдань з необхідними показниками оперативності та достовірності результатів. На основі комбінації методів послідовних поступок, послідовних приоритетів та двох функцій у статті розроблена методика векторної оптимізації складу комплексу оптико-електронної апаратури для виконання завдань моніторингу районів різної площі з використанням космічних та повітряних засобів.*

***Ключові слова:** моніторинг районів; комплект оптико-електронної апаратури; технології аерокосмічного моніторингу; ресурсна функція; векторна оптимізація*

Постановка проблеми

Одним з основних проблемних питань, що виникає під час розробки технологій аерокосмічного моніторингу є обґрунтування оптимального (раціонального) комплексу оптико-електронної апаратури для виконання завдань моніторингу районів різного розмаху з необхідними показниками оперативності та достовірності результатів. Результати аналізу завдань аерокосмічного моніторингу та оцінювання можливостей засобів [1; 2] дозволили формалізувати задачу векторної оптимізації комплексу оптико-електронної апаратури для контролю районів з динамічними об'єктами [3]. При розширенні завдань моніторингу на райони різної площі постає актуальне наукове завдання – обґрунтування рішення векторної оберненої задачі оптимального розподілу ресурсу різномірної апаратури за районами для забезпечення необхідного рівня ефективності моніторингу.

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

Методологічні основи розв'язання задач векторної оптимізації досить повно розроблені, наприклад у [4-6]. Методи математичного програмування розглянуті в [7]. Класифікація відомих процедур розв'язання багатокритеріальних задач для різних випадків отримання інформації при визначенні найкращої альтернативи наведені в роботі [6]. Підходи до формалізації пріоритетів

особи, що приймає рішення (ОПР) наведені в [8-10]. Однак, відомі теоретичні та практичні результати не конкретизовані для вирішення завдань розробки раціональних технологій аерокосмічного моніторингу.

Мета статті

З урахуванням результатів формалізованої постановки задачі векторної оптимізації комплексу оптико-електронної апаратури [3], метою статті було розробити методику її вирішення для районів різного розмаху.

Основний матеріал дослідження

Основним завданням аерокосмічного моніторингу зазвичай визначають виявлення та класифікацію об'єктів для оцінювання обставин, прогнозу її розвитку та вироблення заходів превентивного впливу. Практичний досвід тематичної інтерпретації результатів аерокосмічного моніторингу та прийняті імовірнісні моделі прийняття правильного рішення про наявність об'єктів свідчать про істотну залежність інформативності зображень від технічних характеристик оптико-електронної апаратури та умов її застосування. При цьому при інших рівних показниках, потреба збільшення питомої інформативності (кількість правильно виявлених об'єктів на одиницю площі) потребує наближення апаратури до об'єктів контролю (рис. 1). А потреба збільшення обсягу виконаних завдань потребує

віддалення апаратури від об'єктів для збільшення площі моніторингу.

Результати оцінювання кількості виявлених простих об'єктів підтверджують суттєву залежність питомої інформативності даних аерокосмічного моніторингу від просторової розрізненості (рис. 2).

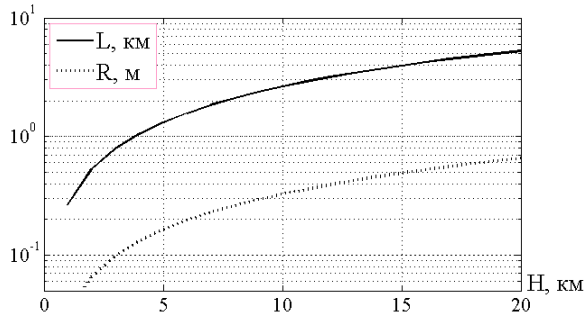
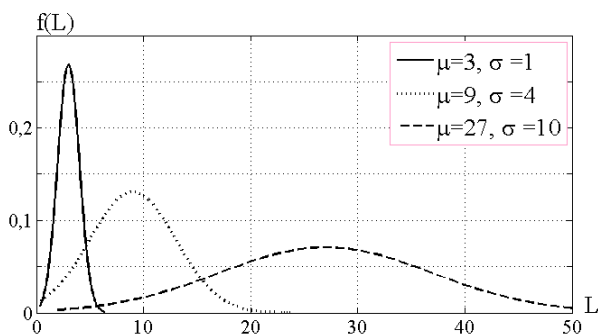
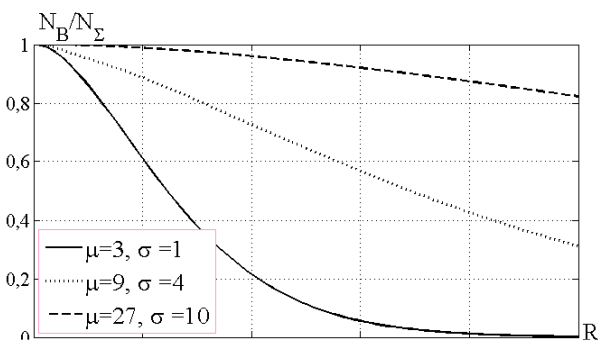


Рисунок 1 – Залежність смуги огляду L та просторової розрізненості R від висоти руху носія оптико-електронної апаратури (поле зору апаратури $\gamma=15$ град., кут поля зору елементарного інформаційного каналу $\gamma_{eik}=15$ град)



а



б

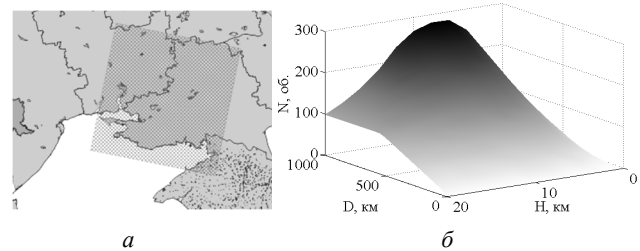
Рисунок 2 – Результати оцінювання кількості виявлених простих об'єктів в межах смуги огляду:
а – закон розподілу розміру об'єктів

$$f(L):P(L_{об.} < L) = \int_0^{L_{об.}} f(L)dL ;$$

б – прогноз частки виявлених об'єктів N_B відносно їх загальної кількості N_{Σ} в районі залежно від просторової розрізненості R

Під час моніторингу районів, розміри яких перевищують дальність дії носія апаратури, до залежності від характеристик оптико-електронної апаратури додається вплив дальності дії D та розмаху призначеного району (рис. 3).

Результати застосування імовірнісних моделей до оцінювання кількості виявлених об'єктів свідчать, що збільшення значення просторового показника при збільшенні висоти польоту не компенсує погіршення просторової розрізненості. Під час проектуванні оптико-електронної апаратури значення вартісних показників обмежують масогабаритні показники та, відповідно, характеристики оптико-електронної апаратури, що визначають якість отримуваних зображень.



а

б

Рисунок 3 – Результати оцінювання кількості виявлених об'єктів: а – просторовий розмах району моніторингу у приморських районах України (200×200 км); б – оцінка кількості виявлених об'єктів N у межах району залежно від висоти руху H та дальності дії D носія апаратури ($\gamma=120$ град., $\gamma_{eik}=15$ град)

Таким чином практична задача визначення достатнього комплексу оптико-електронної апаратури потребує вирішення оптимізаційної задачі навіть для однакових тактико-технічних характеристик. Далі наводиться розв'язання зазначеної задачі для різних характеристик апаратури при виконанні завдань моніторингу районів різного розмаху.

Математичним підґрунтям для розробки методики є проведена в [3] постановка завдання обґрунтування раціонального комплексу засобів моніторингу динамічних об'єктів. Враховуючи результати [1; 3], методика містить три етапи (рис. 4): 1 – формування множини вихідних даних; 2 – визначення множини гіпотетично можливих засобів моніторингу, що можуть виконувати завдання; 3 – вирішення задачі раціонального розподілу ресурсу різномірних засобів для забезпечення необхідної оперативності.

На першому етапі проводиться формування множини вихідних даних, що конкретизують вимоги ОПР до результатів моніторингу, основних показників ефективності застосування комплексу засобів. Для підготовки вихідних даних застосовуються методи: системного аналізу, декомпозиції та синтезу, ідеалізації, формалізації, тощо з одночасним накопиченням інформації

у відповідних базах даних (каталогах). За результатами виконання першого етапу формуються масиви даних про: обставини, що склались (узагальнені дані про характер явищ (об'єктів) в районі моніторингу; умови та фактори, що впливають на ефективність моніторингу; загальні технічні характеристики оптико-електронної апаратури, умови їх застосування; вимоги до оперативності надходження та обробки інформації; прогностичні дані щодо напрямків розвитку обставин тощо.

На другому етапі методики обґрунтовується та формується множина засобів, які гіпотетично придатні для виконання завдань моніторингу районів різного розмаху.

На третьому етапі методики розподіляється ресурс засобів моніторингу за районами та об'єктами для подальшого обґрунтування технології виконання завдань моніторингу районів різного розмаху.

Вирішення завдань I та II етапів у науковому плані труднощів не викликає, тому в статті не деталізується.

Найменш науково обґрунтованим є III етап. Деталізуємо порядок застосування методичного апарату. Сукупність цільових функцій та обмежень на їх параметри має вигляд [1]:

$$\begin{aligned}
 & S_{\text{опт}}^{\text{акм}} \left(P_{j_n, f}^{\text{оес}} (Q_{jzf}) \right) = \\
 & \left\{ \begin{aligned}
 & R_{\Sigma_i}^{\text{акм}} \left(Q_{jzf} \left(P_{\text{інфзаб}}^{\text{пож}} (S_i^{\text{акм}}) \right) \right) = \\
 & = \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^{n_j} \sum_{f=1}^F C_{jzf} \cdot Q_{jzf} \rightarrow \min; \\
 & P_{\text{свз}}^{\text{акм}} (Q_{jzf}) = \sum_{j=1}^{m_{\text{акм}}} \left\langle a_{jzf}^{\text{кз}} \cdot Q_{jzf}^{\text{кз}} (Q_{jzf}) + \right. \\
 & \left. + a_{jzf}^{\text{бпла}} \cdot Q_{jzf}^{\text{бпла}} (Q_{jzf}) + a_{jzf}^{\text{піл}} \times \right. \\
 & \left. \times Q_{jzf}^{\text{піл}} (Q_{jzf}) \right\rangle \rightarrow \min;
 \end{aligned} \right. \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{вз}_i}^y (S_i^{\text{акм}}) \geq P_{\text{вз}_i}^y \text{потр}; \quad (2)$$

$$P_i^{\text{coi}} (S_i^{\text{акм}}) \geq P_{\text{потр}}^{\text{coi}}; \quad (3)$$

$$\bar{P}_{\text{fn}_j}^{\text{викр}} \geq P_{\text{потр}}^{\text{викр}}; \quad (4)$$

$$D_i (S_i^{\text{акм}}) \geq D_{\text{потр}}; \quad (5)$$

$$P_{\text{звз}}^{\text{акм}} \geq P_{\text{звззад}}^{\text{акм}}; \quad (6)$$

$$C_{j_n, f} \geq 0, f = 1, 2, \dots, F, \quad (7)$$

де $R_{\Sigma_i}^{\text{акм}}(\cdot)$ – ресурсні (економічні) затрати, що пов'язані із застосуванням i -го варіанта комплексу оптико-електронної апаратури; $P_{\text{свз}}^{\text{акм}}(Q_{jzf})$ –

складність виконання завдань з моніторингу об'єктів $Q^{\text{оакм}}$ при застосуванні i -го варіанта комплексу оптико-електронної апаратури;

Q_{jzf} – сукупність різнотипних аерокосмічних засобів f -го типу, що вирішують завдання моніторингу об'єктів i -го типу під час виконання j -го завдання, $f = 1 \dots F$, $j = 1 \dots m$; $P_{\text{вз}_i}^y$, $P_{\text{вз}_i}^y \text{потр}$ –

імовірність вирішення у повному обсязі завдань з управління комплектом оптико-електронної апаратури та її потрібний рівень відповідно;

$D_i (S_i^{\text{акм}})$, $D_{\text{потр}}$ – достовірність даних про об'єкти при реалізації i -го варіанта комплексу оптико-електронної апаратури та її потрібний рівень відповідно; $P_i^{\text{виявл}} (S_i^{\text{акм}})$, $P_{\text{потр}}^{\text{виявл}}$ – імовірність виявлення джерела радіовипромінювання засобів передачі даних з космічних апаратів, БпЛА,

пілотованих засобів наземними засобами прийому іконічної інформації та її потрібне значення відповідно; $\bar{P}_i^{\text{coi}} (S_i^{\text{акм}})$, $\bar{P}_{\text{потр}}^{\text{coi}}$ – середня при застосуванні i -го варіанта комплексу засобів

імовірність своєчасного отримання та обробки видових даних органами тематичної інтерпретації та її мінімально допустиме значення відповідно;

$a_{jzf}^{\text{кз}}$, $a_{jzf}^{\text{бпла}}$, $a_{jzf}^{\text{піл}}$ – сукупність вагових коефіцієнтів, що враховують практичну складність виконання завдань моніторингу відповідних районів (об'єктів)

z -го типу, $z = 1, \dots, \infty$; $P_{\text{звз}}^{\text{акм}}$, $P_{\text{звззад}}^{\text{акм}}$ – імовірність

зв'язності структури підсистеми аерокосмічного моніторингу.

Для розв'язання (1)-(7) в рамках загальної методики необхідно деталізувати структурну схему етапу оптимізації розподілу ресурсу оптико-електронної апаратури за районами та об'єктами для подальшого вироблення технології аерокосмічного моніторингу районів різного розмаху. Зазначений порядок повинен дозволяти на практиці під час розв'язання задачі (1)-(7) в рамках третього етапу методики враховувати багатокритеріальні пріоритети ОПР для виявлення різнотипних об'єктів в районі моніторингу.

Проведені дослідження показали, що для розв'язання багатокритеріальної задачі (1)-(7) за необхідності врахування невизначеності пріоритетів ОПР, на етапі III методики доцільно використати метод послідовних поступок (рис. 4). Під час практичної реалізації методу для визначення поступок ОПР та вагових коефіцієнтів відносно важливості критеріальних функцій (1) можна застосувати методи експертного оцінювання. Зокрема, методи частот переваг ОПР, Терстоуна [7],

а також метод системного аналізу – послідовного викриття невизначеності цілей (рис. 5).

Аналіз вартісної критеріальної функції $R_{\Sigma_1}^{акм}(\cdot)$, дозволяє зробити висновок, що задача її екстремізації належить до багатоіндексної двоякої цілочисельної оберненої задачі лінійного програмування. Метод екстремізації суттєво визначається її мірністю та характером сукупності обмежень.

Підходи до вирішення обернених двояких задач досліджені в [6-7]. Однак результати отримані або в умовах розподілу однорідного ресурсу або невисокої індексності (не більше 2) цільової функції та їх використання для отримання однозначного розв'язання задачі оптимізації комплекту засобів аерокосмічного моніторингу ускладнено.

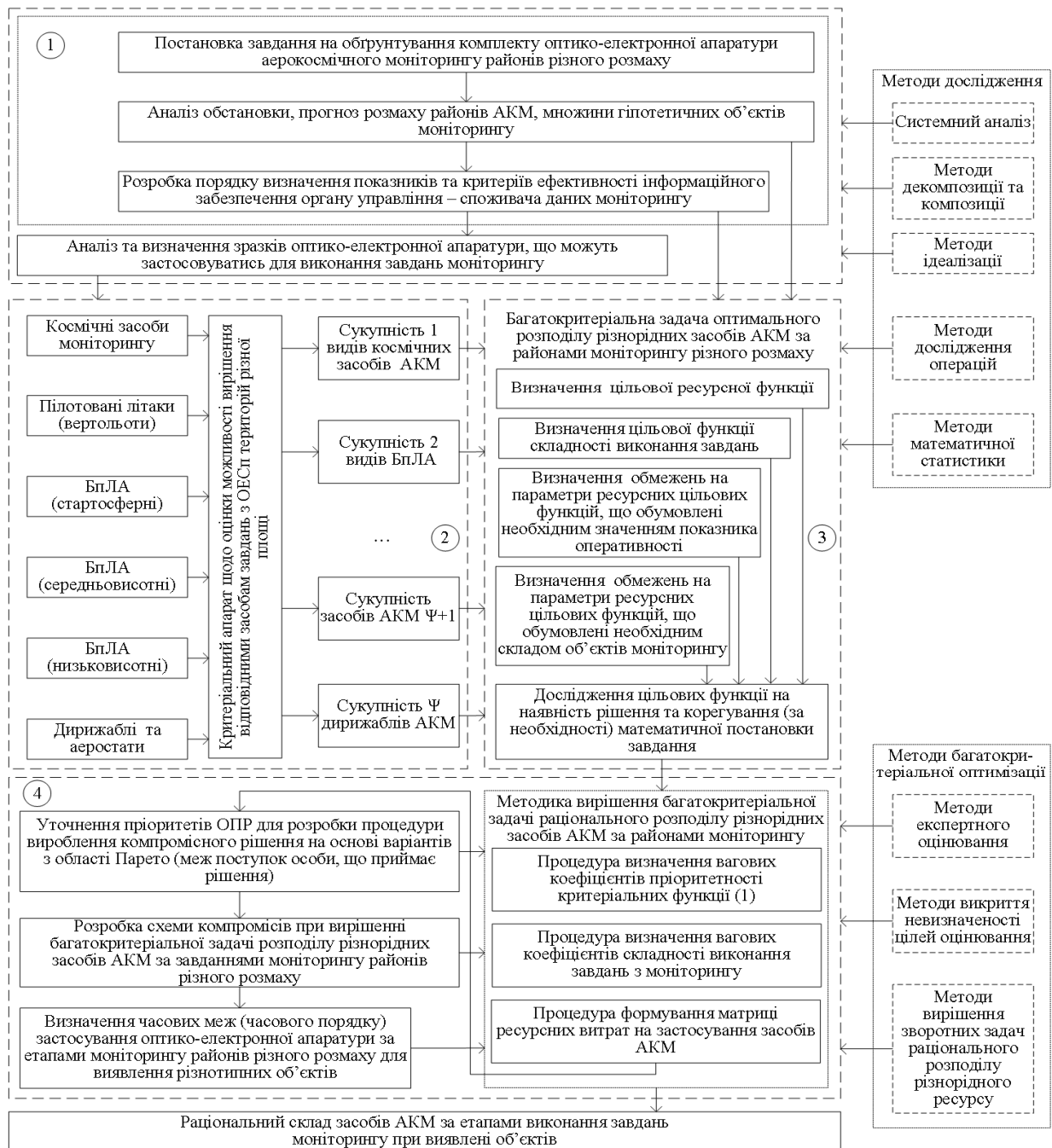


Рисунок 4 – Структурна схема методики обґрунтування комплекту оптико-електронної апаратури для аерокосмічного моніторингу (АКМ) районів різного розмаху

Етап III. Оптимізація розподілу ресурсу оптико-електронної апаратури за районами (об'єктами) для подальшого обґрунтування технології виконання завдань моніторингу районів різного розміру



Рисунок 5 – Структурна схема етапу оптимізація розподілу ресурсу оптико-електронної апаратури (ОЕА) за районами (об'єктами) для подальшого обґрунтування технології виконання завдань моніторингу районів різного розмаху

Одним із підходів до зняття виникаючих протиріч є пониження мірності матриці економічних показників. У такій постановці матриця економічних показників $\|C\| = \|C_{jzf}\|$ зводиться до матриці-рядка $\|C\|_{пр} = \|C_{zf}^{kзз}\|$ шляхом згорання за правилом, згідно з яким з елементів кожного столбця матриці $\|C_{jzf}\|$ обирається мінімальний та його значення присвоюється індексу $C_{zf}^{kзз}$ матриці-рядка $\|C\|_{пр}$, де індекс $kзз$ – “код типу засобу розвідки”, який чисельно дорівнює номеру рядка, в якому знаходився мінімальний для z стовпця елемент матриці $\|C_{jzf}\|$.

У результаті запропонованого підходу задача мінімізації $R_{\sum_i}^{акм}(Q_{jzf}(P_{инфзаб}^{поз}(S_i^{акм})))$ в (1) спрощується до вигляду двохіндексної задачі:

$$R_{\sum_i}^{акм}(Q_{jzf}(P_{инфзаб}^{поз}(S_i^{акм}))) = \sum_{z=1}^{n_j} \sum_{f=1}^F C_{zf} \cdot Q_{jzf} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Результати аналізу методів мінімізації вартісної критеріальної функції типу (8) дозволили побудувати алгоритм її вирішення на основі адаптованого методу нормованих функцій, що дозволяє виключити випадки призначення засобів АКМ по об'єктах, кількість яких перевищує потенційно існуючу (рис. 5).

В рамках виконання III етапу методики формалізований метод мінімізації критеріальної функції $P_{свз}(Q_{jzf})$ складності виконання завдань аерокосмічного моніторингу [2]. При цьому завдання мінімізації по суті є задачею визначення мінімально-необхідної кількості засобів АКМ для мінімізації функції складності виконання завдання при забезпеченні потрібного рівня оперативності надходження видової інформації знайти ряд

$X^0 = \{x_i^0\}_n = \min_{x_i} \{x_i\}_n = \min_{x_i} \sum_{i=1}^n x_i$, що забезпечує

значення адитивної функції не менше заданого:

$$F(X) = \sum_{i=1}^n F_i(x_i) \geq F^{\text{зад}}(X) \quad (9)$$

при лінійному обмеженні на змінні

$$\left(X = \sum_{i=1}^n x_i \right) \leq b, \quad b > 0, \text{ ціле,} \quad (10)$$

та за умови їх цілочисельності та додатності:

$$x_i \in \{0, 1, 2, \dots, b\}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Для зведення задачі мінімізації функції

$P_{\text{свз}}(Q_{\text{zjf}})$ складності виконання завдань аерокосмічного моніторингу (1)-(7) до умов (9)-(11) необхідно забезпечити адитивний характер цільової функції $P_{\text{свз}}(Q_{\text{zjf}})$, незалежність її складових, а також перехід від змінних $Q_{\text{zjf}}^{\text{кз}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{бпла}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{піл}}$ до функції $R_h(Q_{\text{zjf}}^{\text{кз}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{бпла}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{піл}})$.

Виконання умови адитивності цільової функції (рис. 4, 5) може бути забезпечено переходом від функції імовірності несвоєчасного отримання інформації про обставини [2] до функції часу отримання інформації, яка є адитивною, шляхом логарифмування. При мінімізації будемо використовувати процес послідовного розподілу засобів $Q_{\text{zjf}}^{\text{кз}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{бпла}}, Q_{\text{zjf}}^{\text{піл}}$ деякими порціями

$\Delta Q_{\text{zjf}}^{\text{кз}}, \Delta Q_{\text{zjf}}^{\text{бпла}}, \Delta Q_{\text{zjf}}^{\text{піл}}$ відповідно на t -му кроці процесу.

Оптимальний алгоритм при реалізації методу буде полягати у послідовному розподілі засобів порціями $\Delta r_{\text{hv}_t}^{(t)}$, величина яких та індекс hv_t визначаються згідно з максимумом ефективності використання кожної одиниці засобів АКМ на кожному кроці процесу. В результаті виконання підходу (рис. 5) отримуються матриці, які формують оптимальний розподіл засобів АКМ за районами та об'єктами.

Детальна схема III етапу методики, конкретизована до проведених обґрунтувань, показана на рис. 5. Зауважимо, що сірим тоном виділені елементи, які зазнали наукового вдосконалення під час розробки методики. Невиділені елементи не є новими з наукової точки зору та лише конкретизують результати

розроблених в [4-8] підходів у площину вирішення завдань надання аерокосмічних послуг з моніторингу територій різної площі.

У результаті застосування методики (рис. 4, 5) для кожного етапу моніторингу територій різної площі отримуються матриці, елементи яких показують мінімальні кількості засобів АКМ, що необхідно застосувати, а індекси – номер типу об'єктів моніторингу. Отримані матричні співвідношення дозволяють здійснити призначення оптико-електронної апаратури засобів за відповідними районами (об'єктами) та обґрунтувати раціональну технологію виконання завдань моніторингу за умови забезпечення необхідного рівня оперативності надходження даних.

Висновки

На основі математичного апарату теорії векторної оптимізації та раціонального розподілу різномірного ресурсу розроблено методику векторної оптимізації складу комплексу оптико-електронної апаратури для виконання завдань моніторингу районів різної площі з використанням космічних та повітряних засобів. Розроблена методика вперше дозволяє обґрунтувати раціональний (за критерієм “ресурсні витрати – складність надання аерокосмічних послуг – оперативність інформаційного обміну”) комплект засобів аерокосмічного моніторингу районів різного розмаху. При цьому в рамках застосування методу послідовних прирощень оптимізація розподілу різномірних засобів за ресурсною критеріальною функцією здійснюється на основі процедури пониження мірності матриці економічних показників та модифікованого методу нормованих функцій. Мінімізація критеріальної функції складності виконання завдань аерокосмічного моніторингу проводиться методом послідовних прирощень.

У подальшому необхідно провести перевірку достовірності удосконаленої методики шляхом порівняння результатів моделювання з результатами застосування методики. Залежно від мети застосування комплексу засобів аерокосмічного моніторингу необхідно дослідити можливість застосування до ресурсної критеріальної функції нелінійної схеми компромісів в умовах широкого варіювання пріоритетів ОПР, обумовлених швидкими змінами оперативних обставин.

Список літератури

1. Козуб А. М. Аналіз засобів збору інформації для геоінформаційних систем / А. М. Козуб, Н. О. Суворова // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС – 2011 – Вип. № 3 (27). – С. 42-47.
2. Білобородов О. О. Оцінювання просторово-часових можливостей космічних систем дистанційного зондування Землі / О. О. Білобородов, Г. В. Рибалка // Системи обробки інформації. – 2012 – № 2 (109). – С. 11-15.

3. Козуб А. М. Оптимізація комплексу засобів оптико-електронного спостереження аерокосмічного моніторингу лісових масивів / А. М. Козуб, Н. О. Суворова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Х.: ХАІ – 2012 – Вип. № 3. – С. 108-112.
4. Космодемьянский В. А. Математические методы оптимизации / В. А. Космодемьянский – М.: МО СССР – 1967. – 96 с.
5. Кудрявцев Е. М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах / Е. М. Кудрявцев – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
6. Гурин Л. С. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов / Л. С. Гурин, Я. С. Дымарский, А. Д. Меркулов – М.: Сов. радио, 1968. – 463 с.
7. Подиновский В. В. Оптимизация по последовательно применяемым критериям / В. В. Подиновский, В. М. Гаврилов – М.: Советское радио, 1975. – 192 с.
8. Анохин А. М. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев, А. М. Черкашин // *Автоматика и телемеханика*. – 1997. – № 8. С. 3-35.
9. Глотов В. А. Метод определения коэффициентов относительной важности / В. А. Глотов, В. М. Гречко, В. В. Павельев // *Приборы и системы управления*. – 1976. – № 8. – С. 30-35.
10. Білобородов О. О. Вплив динамічних характеристик об'єктів контролю на просторово-часові вимоги до результатів геоінформаційного забезпечення / О. О. Білобородов // *Управління розвитком складних систем*. – 2012. – № 12. – С. 141-143.

Стаття надійшла до редколегії 23.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю. В. Кравченко, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ.

Козуб Андрей Николаевич

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры применения космических систем и геоинформационного обеспечения

Национальный университет обороны Украины, Киев

Белобородов Олег Александрович

Кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории

Воинская часть А4566, Киев

**ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКТА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
АЕРОКОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА**

Аннотация. Разработка технологий аэрокосмического мониторинга требует решения проблемы обоснования оптимального комплекта оптико-электронной аппаратуры для выполнения задач с необходимыми показателями оперативности и достоверности результатов. На основе комбинации методов последовательных уступок, последовательных приращений и двух функций в статье разработана методика векторной оптимизации состава комплекта оптико-электронной аппаратуры для выполнения задач мониторинга районов разной площади с использованием аэрокосмических средств.

Ключевые слова: мониторинг районов; комплект оптико-электронной аппаратуры; технологии аэрокосмического мониторинга; ресурсная функция; векторная оптимизация

Kozub Andrei

Ph.D., associate professor, professor of the use of space systems and GIS software

National University of Defense of Ukraine, Kiev

Biloborodov Oleg

Ph.D., chief scientific-research laboratory

Military unit А4566, Kiev

JUSTIFICATION SETS ELECTRO-OPTICAL EQUIPMENT AIR-SPACE MONITORING TOOLS

Annotation. Development of technologies for air-space monitoring requires solving the problem of substantiation of optimum set of optical-electronic equipment to perform tasks with the necessary indicators of efficiency and reliability of the results. When extending the monitoring tasks to areas of different size there actual scientific problem - solution vector inverse problem of the optimal allocation of heterogeneous equipment at areas of observation. Known theoretical and practical results of solutions of vector optimization problems are not specified for solving the problems of development of rational technology of air-space monitoring. The article, based on a combination of methods of successive concessions, and two successive increments of

functions developed the technique of vector optimization of a set of optical-electronic equipment to perform the tasks of monitoring areas of different size with the use of air-space vehicles. The developed method allows to prove the rational (according to the criterion of "resource loss – the complexity of the tasks – efficiency") means a set of air-space monitoring of areas of different sizes. In the framework of the method of successive increments of optimization allocation of heterogeneous resources by resource criterion function is based on the procedure of lowering the dimension of the matrix of economic indicators and the modified method of normalized functions. Minimizing the criterion function complexity monitoring tasks performed by successive increments.

Keywords: areas monitoring; set of electro-optical equipment; technology of air-space monitoring; resource function; vector optimization

References

1. Kozub, A. M. & Suvorova, N. O. (2011). Analysis tools for data collection for geographic information systems // *Systems of arms and military equipment*. – K.: KUPS – 2011 – Вып. № 3 (27). – 42-47.
2. Biloborodov, O. O. & Rybalka, H. V. Evaluation of spatial-temporal space capabilities of remote sensing // *Information processing systems*. – 2012 – № 2 (109). – 11-15.
3. Kozub, A. M. & Suvorova, N. O. Optimization Kits opto-electronic surveillance aerospace monitoring of forests // *Aerospace technic and technology*. – K.: KAI – 2012 – Вып. № 3. – 108-112.
4. Kosmodemianskiy, V. A. *Mathematical methods of optimization* // M.: MO SSSR – 1967. – 96.
5. Kudriavtsev, E. M., Dymarskiy, Y. S. & Merkulov, A. D. *Operations research in problems, algorithms and programs* // M.: *Radio y svyaz*, 1984. – 184.
6. Gurin, L. S. *Objectives and methods of optimal allocation of resources* // M.: *Sov. radio*, 1968. – 463.
7. Podinovskij, V. V. & Gavrilov, V. M. *Optimization on consistently applied criteria* // M.: *Sovetskoe radio*, 1975. – 192.
8. Anohin, A. M., Glotov, V. A., Pavelev, V. V. & Cherkashin, A. M. *Methods for determination of the coefficients of importance of criteria* // *Avtomatika i telemekhanika*. – 1997. – № 8. – 3-35.
9. Glotov, V. A., Grechko, V. M. & Pavel'ev, V. V. *Method for determining the relative importance of factors* // *Pribory i sistemy upravleniya*. – 1976. – № 8. – 30-35.
10. Biloborodov, O. O. Influence of dynamic characteristics of control objects in space-time requirements to ensure results geoinformation // *Management of Development of Complex Systems*. – 2012. – № 12. – 141-143.

Посилання на публікацію

- APA Kozub A.M., & Biloborodov O.O. (2015). Justification sets electro-optical equipment air-space monitoring tools. *Management of Development of Complex Systems, Issue 21, P. 117 – 124 [in Ukrainian]*.
- ГОСТ Козуб А.М. Обґрунтування комплексу оптико-електронної апаратури аерокосмічних засобів моніторингу [Текст] / А.М. Козуб, О.О. Білобородов // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. - № 21. – С. 117 - 124.