

УДК 629.7:001.57.001.63

С.П. ФРИЗ, канд. техніч. наук (Житомирський військовий ін-т імені С. П. Корольова)

ТЕХНОЛОГІЯ ВИБОРУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ, ЩО ПРИДАТНІ З МЕТОЮ ВИДОВОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАДАНИХ РАЙОНІВ ЗЕМЛІ

Запропоновано технологію вибору доступних космічних апаратів видового спостереження Землі, які придатно, з каталогу NORAD/NASA, для оперативної зйомки заданих районів земної поверхні за умов певних вимог до якості цільової інформації. Використання технології, яку запропоновано, дозволить підвищити оперативність формування замовлень на придбання вітчизняними користувачами достовірної цільової інформації заданого складу прийнятної вартості від доступних зарубіжних космічних апаратів комерційного призначення.

Предложена технология выбора доступных космических аппаратов видового наблюдения Земли из каталога NORAD / NASA, пригодных для оперативной съемки заданных районов земной поверхности при определенных требованиях к качеству целевой информации. Использование предлагаемой технологии позволит повысить оперативность формирования заказов на приобретение отечественными пользователями достоверной информации заданного состава приемлемой стоимости от доступных зарубежных космических аппаратов коммерческого назначения.

In the article the technology of choice available spacecraft species on Earth-observation from the catalog NORAD / NASA, suitable for quick shoot set-governmental areas of the earth's surface under certain requirements to the quality of the target information. The use of the proposed technology will improve the efficiency of formation of orders for the purchase of domestic users reliable information given composition affordability of available foreign Outer devices for commercial purposes.

Постановка проблеми. Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності попередження загроз у сфері національної безпеки й оборони України може бути комплексне використання інформації від вітчизняних та зарубіжних космічних систем спостереження (КСС) згідно робіт [1, 2], причому від тих, котрі доступні для вітчизняних користувачів та здатні забезпечити оперативний збір даних якості, яку задано, з будь-якого району Землі.

Прикладом таких зарубіжних КСС можуть служити космічні апарати (КА) комерційні американські системи видового спостереження *NOAA, Terra, Aqua, Landsat, Ikonos, WorldView, Quicbird, Orbview*, канадська *Radarsat*, ізраїльська *Eros*, французька *Spot*, європейська *Envisat*, індійська *Irs*, російські *Ресурс, Океан* та ін., як зазначено в роботі [3]. Ці КСС отримують цільову інформацію (ЦІ) за рахунок оптико-електронного або радіолокаційного зондування земної поверхні та видають її користувачам у вигляді видових

(іконічних) зображень, які прийнятно для людського ока, як зазначено в роботах [4, 5].

На даний час відомо декілька шляхів отримання ЦІ з метою забезпечення високої оперативності контролю за наземною обстановкою з використанням зарубіжних КСС згідно роботи [6]:

- замовлення зйомки потрібних районів й об'єктів через операторів комерційних КСС;

- безпосереднє планування й реалізація вітчизняними користувачами зйомки за допомогою зарубіжних КА за умови придбання у власників КСС ліцензії та відповідних наземних засобів (станцій управління й прийому інформації) та ін.

Варіант «об'єднаної» КСС (у смислі комплексного використання ЦІ) та її інформаційних можливостей щодо забезпечення оперативних завдань подано на рисунку.

За умови такого підходу постає проблема завчасного вибору зарубіжних КА, які придатно, й планування їхнього цільового використання.

© П. В. ФРИЗ, 2015

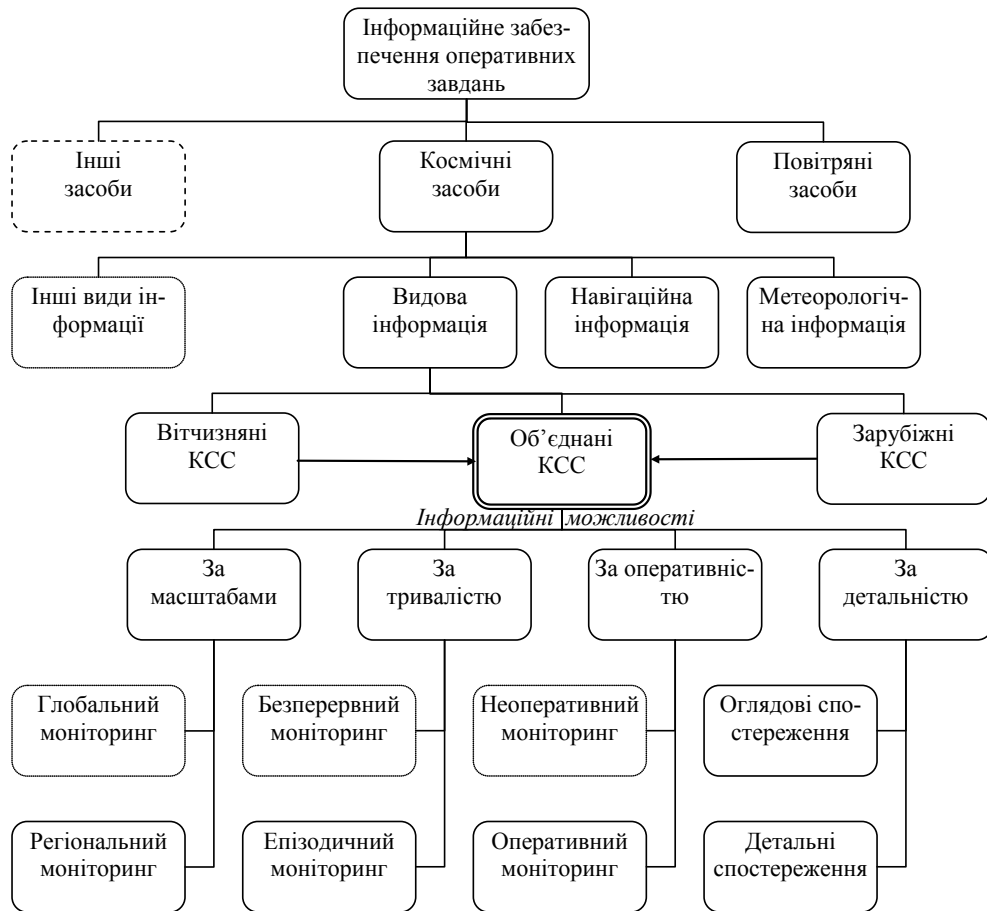


Рисунок. Варіант інформаційного забезпечення оперативних завдань

В зв'язку з цим та з огляду на те, що на сучасному етапі ринок космічних інформаційних послуг достатньо великий, виникає актуальне завдання щодо автоматизації процедури вибору з каталогу космічних об'єктів (КО) *NORAD/NASA*, згідно роботи [7], зарубіжних КА, які придатно з метою видового спостереження районів земної поверхні, які задано в умовах обмеженого часу та високих вимог до якості ЦІ.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Окремі підходи до вибору КА з метою певного цільового застосування за їх просторово-часовим положенням можна знайти в роботах [8, 9]. Загальні вимоги до вибору орбіт КА для задач спостереження Землі найбільш повно викладено у роботі [10]. Вирішення конкретної задачі вибору КА, придатних за їхніми просторово-часовим положенням, тобто за параметрами їхніх орбіт та орбітального руху, запропоновано в роботі [11]. Але в цих та інших роботах не вирішується завдання комплексного вибору КА за багатьма критеріями.

Виходячи з цього, мета статті – розробка технології вибору КА, які придатно для спостереження заданих районів Землі з урахуванням їхнього просторово-часового положення, просторової, спектральної та радіометричної розрізненості бортової цільової апаратури (БЦА), а також доступності й вартості ЦІ, що отримувано.

Виклад основного матеріалу. Задачу вибору КА, які придатно, доцільно розв'язувати з використанням теорії множин згідно роботи [12] за принципом максимально швидкого звуження простору пошуку, коли на перших кроках вдається відкинути найбільші за розміром свідомо неприйнятні види (класи, типи) КА.

Виходячи з цього принципу, можна рекомендувати поетапний відбір КА, які придатно. На першому етапі доцільно провести попередній вибір КА, які потенційно придатно. З цією метою врахуємо, що множину всіх КА K_p , що знаходяться на орбітах, можна розділити за такими двома ознаками: за станом та видом, тобто

$$\mathbf{K}_o^c = \{\mathbf{K}_o^d, \mathbf{K}_o^e\}, \quad (1)$$

де \mathbf{K}_o^c – множина КА, які розрізняються за станом – діючі (d), недіючі (nd) або невідомі (nv), що можна подати, як

$$\mathbf{K}_o^e = \{\mathbf{K}_{nd}, \mathbf{K}_{nv}\}; \quad (2)$$

\mathbf{K}_o^e – множина КА, що розрізняються за видом – інформаційні (inf), транспортні (trp), енергетичні (en) та інші (Δ), тобто

$$\mathbf{K}_o^e = \{\mathbf{K}_{inf}, \mathbf{K}_{trp}, \mathbf{K}_{en}, \mathbf{K}_o^\Delta\}. \quad (3)$$

Виходячи з цього, подальший вибір КА можна вести в такій послідовності:

1.1. Вибір із множини (2) діючих (активно функціонуючих на орбітах) КА \mathbf{K}_d на відміну від недіючих через непрацездатність або з інших причин (вимкнені, знаходяться в резерві, закінчився ресурс і т.п.). Таку процедуру умовно подамо, як

$$\mathbf{K}_d = \langle \mathbf{K}_o^c \rangle, \quad \mathbf{K}_d \subset \mathbf{K}_o^c, \quad (4)$$

де кутковими дужками $\langle * \rangle$ позначена операція вибору (відбору, виділення, селекції, фільтрації) з множини $*$, символ \subset означає, що множина \mathbf{K}_d є підмножиною множини \mathbf{K}_o^c .

1.2. Вибір із множини (3) інформаційних КА

$$\mathbf{K}_{inf} = \langle \mathbf{K}_o^e \rangle, \quad \mathbf{K}_{inf} \subset \mathbf{K}_o^e. \quad (5)$$

1.3. Формування множини діючих інформаційних КА

$$\mathbf{K}_{inf}^d = \mathbf{K}_d \cap \mathbf{K}_{inf}, \quad (6)$$

де символом \cap позначено операцію перетинання множин (підмножин).

У цим разі множина діючих інформаційних КА може включати підмножини КА спостереження \mathbf{K}_{cn} , зв'язку \mathbf{K}_{zv} , навігаційні \mathbf{K}_{nz} , метеорологічні \mathbf{K}_{mt} та інші КА \mathbf{K}_{inf}^Δ , тобто

$$\mathbf{K}_{inf}^d = \{\mathbf{K}_{cn}, \mathbf{K}_{zv}, \mathbf{K}_{nz}, \mathbf{K}_{mt}, \mathbf{K}_{inf}^\Delta\}. \quad (7)$$

1.4. Вибір із множини (7) тих КА, що призначено для спостереження Землі

$$\mathbf{K}_{cn} = \langle \mathbf{K}_{inf}^d \rangle, \quad \mathbf{K}_{cn} \subset \mathbf{K}_{inf}^d, \quad (8)$$

де символом \cup позначено операцію об'єднання множин (підмножин).

Множина (8) у загальному випадку може включати потенційно придатні \mathbf{K}_{np}^n , потенційно мало-придатні \mathbf{K}_{mnp}^n або зовсім непридатні \mathbf{K}_{nnp}^n з метою спостережень Землі КА, тобто

$$\mathbf{K}_{cn} = \{\mathbf{K}_{np}^n, \mathbf{K}_{mnp}^n, \mathbf{K}_{nnp}^n\}. \quad (9)$$

1.5. Вибір із множини (9) тільки потенційно придатних КА

$$\mathbf{K}_{np}^n = \langle \mathbf{K}_{cn} \rangle, \quad \mathbf{K}_{np}^n \subset \mathbf{K}_{cn}. \quad (10)$$

Критерієм такого вибору може бути апріорна інформація щодо можливостей та особливостей окремих КА з множини (9).

На другому етапі з множини (10) слід вибрати фактично придатні КА за схемою

$$\mathbf{K}_{np} = \langle \mathbf{K}_{np}^n \rangle, \quad \mathbf{K}_{np} \subset \mathbf{K}_{np}^n; \quad (11)$$

У цьому разі ступінь придатності КА необхідно оцінювати за рядом принципово важливих критеріїв, які впливають із кінцевої мети вибору, а саме:

2.1. Вибір КА, які придатно за просторово-часовим положенням у космічному просторі (за параметрами орбіт).

Для цього скористаємось множиною всіх можливих типів орбіт КО (специфічних – cn , інших – in , невідомих – nv)

$$\mathbf{O}_\Sigma = \{\mathbf{O}_{cn}, \mathbf{O}_{in}, \mathbf{O}_{nv}\}, \quad (12)$$

із якої виділимо множину специфічних орбіт КА

$$\mathbf{O}_{cn} = \{\mathbf{CтO}, \mathbf{ВЕО}, \mathbf{ССО}\}, \quad \mathbf{O}_{cn} \subset \mathbf{O}_\Sigma, \quad (13)$$

де $\mathbf{CтO}$ – множина стаціонарних орбіт; $\mathbf{ВЕО}$ – множина високоеліптичних орбіт; $\mathbf{ССО}$ – множина сонячно-синхронних орбіт.

Як відомо з робіт [4, 5, 8, 9], для задач видового спостереження Землі зазвичай використовують КА на $\mathbf{ССО}$. Можливі варіанти сонячно-синхронних орбіт наведено в табл. 1 згідно роботи [11].

Як видно з табл. 1 такі орбіти формально можна описати такими залежностями:

$$\mathbf{ССО} = \mathbf{e}_{cco} \cap \mathbf{i}_{cco} \cap \mathbf{T}_{cco} \quad (14)$$

або

$$\mathbf{ССО} = \mathbf{e}_{cco} \cap \mathbf{i}_{cco} \cap \mathbf{H}_{cco}, \quad (15)$$

де $\mathbf{e}_{cco} = \{0 \leq e_{cco} \leq 0,55\}$ – множина допустимих для $\mathbf{ССО}$ ексцентриситетів; $\mathbf{i}_{cco} = \{95^\circ \leq i_{cco} \leq 155^\circ\}$ – множина допустимих для $\mathbf{ССО}$ нахилень орбіти; $\mathbf{T}_{cco} = \{5700^s \leq T_{cco} \leq 17300^s\}$ – множина допустимих із метою $\mathbf{ССО}$ періодів обертання КА; $\mathbf{H}_{cco} = \{574 \text{ км} \leq H_{cco} \leq 15400 \text{ км}\}$ – множина допустимих із метою $\mathbf{ССО}$ висот орбіти КА.

Використовуючи критерії (14) або (15), можна вибрати $\mathbf{ССО}$ з множини (13), як

Таблиця. Можливі варіанти сонячно-синхронних орбіт

Форма ССО	Кількість витків за добу	Висота орбіти (апогею), км	Період обертання, с	Нахилення орбіти	Ексцентриситет
Кругові ССО	7	5172	12 343	141° 12'	0
	8	4189	10 080	124° 56'	0
	9	3392	9 600	115° 41'	0
	10	2730	8 640	109° 51'	0
	11	2169	7 854	105° 50'	0
	12	1688	7 200	103° 02'	0
	13	1269	6 646	100° 36'	0
	14	901	6 171	98° 36'	0
Еліптичні ССО	5	15400	17 280	151° 52'	0,5313
	6	14000	14 400	132° 22'	0,4707
	7	9800	12 343	122° 42'	0,4134
	8	8000	10 800	115° 41'	0,3588
	9	5700	9 600	110° 58'	0,3054
	10	5000	8 640	107° 08'	0,2560
	11	3900	7 854	104° 38'	0,2072
	12	3000	7 200	102° 07'	0,1598
	13	2100	6 646	100° 24'	0,1138
	14	1350	6 171	99° 00'	0,0688
	15	670	5 760	97° 36'	0,0251

$$ССО = \langle O_{cn} \rangle. \tag{16}$$

Як видно з табл. 1, в загальному випадку множина ССО (16) може включати КА на еліптичних (e) або колових (κ) за формою (φ) орбітах

$$ССО_{\phi} = \{ССО_e, ССО_{\kappa}\}. \tag{17}$$

З метою однозначного розділення ССО за формою (за ексцентриситетом e) на практиці можна скористатись підходом, який запропоновано в авторській статті [6], звідки на відміну від табл. 1 впливає такий алгоритм

$$ССО_{\phi} = \begin{cases} ССО_e, \text{ якщо } (0,01 < e_{cco} \leq 0,55); \\ ССО_{\kappa}, \text{ якщо } (0 \leq e_{cco} < 0,01). \end{cases} \tag{18}$$

Крім того, як впливає з табл. 1, множину ССО (16) можна розділити за висотою (H) орбіти КА – на низьких (H) або середніх (C) орбітах, що можна подати, як

$$ССО_{\phi} = \{ССО_H, ССО_C\}. \tag{19}$$

Тому для однозначного розділення ССО за висотою орбіти можна скористатись класифікацією орбіт, яку запропоновано в роботі [6], а саме:

$H_H = \{300 \text{ км} < H \leq 1000 \text{ км}\}$ – множина низьких орбіт;

$H_{cl} \subset H_C = \{1000 \text{ км} < H \leq 10000 \text{ км}\}$ – підмножина середніх орбіт I;

$H_{c2} = \{10000 \text{ км} < H \leq 20000 \text{ км}\}$ – підмножина середніх орбіт 2.

Тоді за аналогією з (18), можна записати

$$ССО_{\phi} = \begin{cases} ССО_H, \text{ якщо } (300 \text{ км} < H_{cco} \leq 1000 \text{ км}); \\ ССО_{cl}, \text{ якщо } (1000 \text{ км} < H_{cco} \leq 10000 \text{ км}); \\ ССО_{c2}, \text{ якщо } (10000 \text{ км} < H_{cco} \leq 20000 \text{ км}). \end{cases} \tag{20}$$

Щодо третього параметра у виразах (12) та (13) – нахилення орбіти, то замітимо, що він вибору не підлягає, оскільки однозначно визначається іншими параметрами згідно роботи [11], тобто

$$i_{cco} = f(e_{cco}, H_{cco}) = f(e_{cco}, T_{cco}).$$

Таким чином, множина КА на ССО об'єднує в собі різні перетинні та неперетинні підмножини, що можна подати, як

$$ССО = ССО_{\phi} \cup ССО_{\phi} = ССО_e \cup ССО_{\kappa} \cup ССО_H \cup ССО_{cl} \cup ССО_{c2}.$$

Із множини (21) можна формувати вимоги до типу ССО, які використовувано з метою вирішення конкретних завдань.

Наприклад, якщо для задач видового спостереження Землі планується використовувати КА на низьких колових ССО, то процедуру вибору слід проводити за правилом

$$ССО_{\kappa H} = ССО_{\kappa} \cap ССО_H. \tag{22}$$

Як відомо з робіт [4, 51], за принципом дії КА, які призначено з метою спостереження Землі, можна включати КА видового спостереження \mathbf{K}_{BCn} , радіоелектронного спостереження \mathbf{K}_{PECn} та інші КА цього призначення \mathbf{K}_{cn}^{Δ} , тобто

$$\mathbf{K}_{cn} = \{\mathbf{K}_{BCn}, \mathbf{K}_{PECn}, \mathbf{K}_{cn}^{\Delta}\}. \quad (23)$$

2.2. Вибір із множини (23) КА, які придатно для видового спостереження Землі

$$\mathbf{K}_{BCn} = \langle \mathbf{K}_{cn} \rangle, \mathbf{K}_{BCn} \subset \mathbf{K}_{cn}. \quad (24)$$

У цьому разі серед множини КА (24) за типом (принципом дії) БЦА розрізняють КА оптико-електронного $\mathbf{БЦА}_{OECn}$, радіолокаційного $\mathbf{БЦА}_{PLCn}$, фотографічного спостереження $\mathbf{БЦА}_{FCn}$ та інших типів $\mathbf{БЦА}_{BCn}^{\Delta}$.

$$\mathbf{БЦА}_{BCn} = \mathbf{БЦА}_{OECn} \cup \mathbf{БЦА}_{PLCn} \cup \mathbf{БЦА}_{FCn} \cup \mathbf{БЦА}_{BCn}^{\Delta}. \quad (25)$$

2.3. Вибір із множини (25) КА з певним типом БЦА. Наприклад, якщо розглядається задача тільки оптико-електронного спостереження Землі, то слід діяти за алгоритмом

$$\mathbf{БЦА}_{OECn} = \langle \mathbf{БЦА}_{BCn} \rangle. \quad (26)$$

Таким чином, другий етап дозволяє однозначно вирішити певні завдання вибору придатних КА за жорсткою схемою.

На третьому етапі є можливість вибору КА за гнучкою схемою «або...або», коли вибір здійснюється залежно від потреб і можливостей особи, що приймає рішення.

На цьому етапі необхідно вибрати КА, придатні за розрізнявальною здатністю БЦА. Наприклад, БЦА оптико-електронного спостереження розрізняють за такими видами розрізнявальної здатності згідно робіт [4, 5]: просторовою $\mathbf{БЦА}_{OECn}^*$, спектральною $\mathbf{БЦА}_{OECn}^*$, радіометричною $\mathbf{БЦА}_{OECn}^*$.

Тому подальші процедури вибору можуть бути такими:

3.1. Вибір БЦА за просторовою розрізнявальною здатністю з множини існуючих типів (наднизького – *нн*, низького – *н*, середнього – *с*, високого – *в*, надвисокого – *нв* розрізнення)

$$\mathbf{БЦА}_{OECn}^* = \{\mathbf{БЦА}_{OECn}^{*nn}, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*n}, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*c}, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*v}, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*nv}\} \quad (27)$$

за такою схемою

$$\mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} = \langle \mathbf{БЦА}_{OECn}^* \rangle, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} \subset \mathbf{БЦА}_{OECn}^*. \quad (28)$$

3.2. Вибір БЦА за спектральною розрізнявальною здатністю з множини існуючих типів (панхро-

матичні – *пх*, мультиспектральні – *мс*, гіперспектральні – *гс*, радіолокаційні – *рл*, комбіновані – *кб*)

$$\begin{aligned} & \mathbf{БЦА}_{OECn}^* = \quad (29) \\ & = \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*пх} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*мс} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*гс} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*рл} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*кб} \end{aligned}$$

за таким алгоритмом

$$\mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} = \langle \mathbf{БЦА}_{OECn}^* \rangle, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} \subset \mathbf{БЦА}_{OECn}^*. \quad (30)$$

3.3. Вибір БЦА за радіометричною розрізнявальною здатністю з множини існуючих типів (наднизького – *нн*, низького – *н*, середнього – *с*, високого – *в*, надвисокого – *нв* розрізнення)

$$\begin{aligned} & \mathbf{БЦА}_{OECn}^* = \quad (31) \\ & = \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*nn} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*n} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*c} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*v} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*nv} \end{aligned}$$

відповідно до правила

$$\mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} = \langle \mathbf{БЦА}_{OECn}^* \rangle, \mathbf{БЦА}_{OECn}^{**} \subset \mathbf{БЦА}_{OECn}^*. \quad (32)$$

На основі залежностей (28)...(32) можна задавати в формалізованому виді правило вибору КА з установленою на ньому БЦА з необхідною розрізнявальною здатністю.

Наприклад, із метою реалізації детального оптико-електронного спостереження Землі може знадобитися БЦА з високим або надвисоким просторовим розрізненням, яка може здійснювати панхроматичну або мультиспектральну зйомку в разі високого радіометричного розрізнення, що у формалізованому виді можна подати, як

$$\begin{aligned} & \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*v, нв, пх, мс} = \quad (33) \\ & = (\mathbf{БЦА}_{OECn}^{*c} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*nv}) \cap (\mathbf{БЦА}_{OECn}^{*пх} \cup \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*мс}) \cap \mathbf{БЦА}_{OECn}^{*v} \end{aligned}$$

Таким чином, на основі виразів (16)...(33) можна задавати алгоритм вибору КА, фактично придатних із метою видового спостереження Землі у вигляді

$$\begin{aligned} & \mathbf{K}_{BCn}^* = \mathbf{ССО}_{**} \cap \mathbf{БЦА}_{BCn} = \quad (34) \\ & = (\mathbf{ССО}_{ec} \cup \mathbf{ССО}_{en} \cup \mathbf{ССО}_{kc} \cup \mathbf{ССО}_{kn}) \cap (\mathbf{БЦА}_{OECn} \cup \mathbf{БЦА}_{PLCn}). \end{aligned}$$

У разі необхідності з множини КА (34), які придатно, можна виділити КА, які використовуються тільки для оптико-електронного спостереження Землі

$$\begin{aligned} & \mathbf{K}_{OECn}^* = \mathbf{ССО}_{**} \cap \mathbf{БЦА}_{OECn} = \quad (35) \\ & = (\mathbf{ССО}_{ec} \cup \mathbf{ССО}_{en} \cup \mathbf{ССО}_{kc} \cup \mathbf{ССО}_{kn}) \cap \mathbf{БЦА}_{OECn}. \end{aligned}$$

Якщо завдання полягає у виборі КА, які придатно для детального оптико-електронного спостереження Землі, то на основі залежностей (22) та (28) із виразу (35) можна задати такий алгоритм:

$$K_{OECn}^{\delta} = \quad (36)$$

$$= CCO_{in} \cap (\text{БЦА}_{OECn}^{\delta} \cup \text{БЦА}_{OECn}^{\delta\delta}) \cap (\text{БЦА}_{OECn} \cup \text{БЦА}_{OECn}^{\delta}) \cap \text{БЦА}_{OECn}.$$

Подібним чином можна формувати будь-які множини КА, які фактично придатно з метою вирішення поставлених завдань.

На четвертому етапі необхідно здійснити вибір із фактично придатних КА тих, цільова інформація з яких доступна для вітчизняних користувачів ЦІ_{δ}^+ на відміну від малодоступної $\text{ЦІ}_{\text{мод}}^+$ або недоступної $\text{ЦІ}_{\text{мод}}^-$, використовуючи таку процедуру:

$$\text{ЦІ}_{\delta}^* = \langle \text{ЦІ}_{\delta}^* \rangle, \text{ЦІ}_{\delta}^* = \text{ЦІ}_{\delta}^+ \cup \text{ЦІ}_{\text{мод}}^+ \cup \text{ЦІ}_{\text{мод}}^-. \quad (37)$$

Цей вибір слід робити з огляду на тип і призначення КА, їх державну належність, поточну міжнародну обстановку, астрономо-балістичні та фізичні умови спостережень, стан наземних засобів та умови передачі ЦІ на них і т.д.

На п'ятому етапі слід провести вибір КА, які вживано за вартістю цільової інформації ЦІ_{δ}^+ на відміну від маловживаних ЦІ_{δ}^0 та невживаних ЦІ_{δ}^- .

$$\text{ЦІ}_{\delta}^+ = \langle \text{ЦІ}_{\delta}^+ \rangle, \text{ЦІ}_{\delta}^+ = \text{ЦІ}_{\delta}^+ \cup \text{ЦІ}_{\delta}^0 \cup \text{ЦІ}_{\delta}^-. \quad (38)$$

У цьому разі можна скористатись каталогами цін на космічні знімки згідно роботи [13] залежно від їхньої детальності, займаної площі, давності спостережень і т.п.

На шостому етапі необхідно сформувати шукачу множину КА, які придатно. В цьому разі можна скористатись однією з формул (28), (30) або (32) та врахувати критерії (37) і (38).

Наприклад, для видового спостереження Землі ця множина матиме вид

$$\tilde{K}_{BCn}^* = CCO_{**} \cap \text{БЦА}_{BCn} \cap \text{ЦІ}_{\delta}^*, \quad (39)$$

а тільки для оптико-електронного спостереження –

$$\tilde{K}_{OECn}^* = CCO_{**} \cap \text{БЦА}_{OECn} \cap \text{ЦІ}_{\delta}^*. \quad (40)$$

У цьому разі в формулах (39) та (40) бажано забезпечити вимогу

$$\text{ЦІ}_{\delta}^* = \text{ЦІ}_{\delta}^* \cap \text{ЦІ}_{\delta}^+ = \text{ЦІ}_{\delta}^+. \quad (41)$$

Якщо в реальних умовах вимогу (41) виконати не можливо, то її можна послабити за рахунок вартості, наприклад, за такими правилами

$$\text{ЦІ}_{\delta}^* = \text{ЦІ}_{\delta}^+ \cap \text{ЦІ}_{\delta}^0 = \text{ЦІ}_{\delta}^0 \quad (42)$$

$$\text{або } \text{ЦІ}_{\delta}^* = \text{ЦІ}_{\delta}^+ \cap (\text{ЦІ}_{\delta}^+ \cup \text{ЦІ}_{\delta}^0) = \text{ЦІ}_{\delta}^{+0}.$$

В подальшому після формування підкаталогу КА, які придатно за критеріями (1)...(42), можна на основі моделювання процесів і явищ в КСС за до-

помогою відповідних програмно-технічних засобів оцінити просторово-часове положення КА відносно наземних об'єктів спостереження і наземних пунктів прийому ЦІ та прийняти раціональне рішення щодо остаточного вибору КА з огляду на задану якість ЦІ та оперативність її отримання.

Висновки. Вирази (1)...(42) являють собою оригінальний математичний апарат, на основі якого можна вирішувати конкретні завдання вибору космічних апаратів, які придатно зі заданої їх множини. Такі завдання є достатньо складними, що потребує поетапного багатокрокового ітераційного підходу, а це, в свою чергу, потребує алгоритмізації та комп'ютерного моделювання відповідних процесів на кожному кроці.

Список літератури

1. Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. N 238-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>
2. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2008–2012 роки, затверджена Законом України від 30 вересня 2008 року № 608-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
3. Компания “Совзонд” – точный взгляд на мир / Сб. статей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sovzond.ru.
4. Бушуев Е. И. Дистанционное зондирование Земли из космоса: получение и использование информации / Е. И. Бушуев, В. И. Волошин, Е.И. Капустин и др. /Под общ. ред. С. П. Мосова. – Днепропетровск: Стилус, 2012. – 320 с.
5. Бурштинська Х. В. Аерокосмічні знімальні системи / Навч. посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів: Львівська політехніка, 2010. – 292 с.
6. Фриз С. П. Формалізований опис просторово-часового положення космічних апаратів у прикладних задачах / С. П. Фриз // Вісник ЖДТУ. – № 4 (63). – Технічні науки. – Житомир, 2012. – С. 128–134.
7. NORAD Two-Line Element Sets Current Data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://celestrac.com/NORAD/documentation/tle-fmy.htm>.
8. Скребушевский Б.С. Формирование орбит космических аппаратов / Б. С. Скребушевский. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
9. Попович П. Р. Баллистическое проектирование космических систем / П. Р. Попович, Б. С. Скребушевский. – М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
10. Лебедев А. А. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование / А. А. Лебедев, О. П. Нестеренко. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.
11. Фриз П. В. Основи орбітального руху космічних апаратів / Підручник / П. В. Фриз. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 348 с.
12. Математика. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: «Большая российская энциклопедия», 2000. – 848 с.
13. Цены на стандартные продукты обработки данных ДЗЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.geol.irk.ru/dzz/pr_us/cen_sni.htm.