

УДК 519.81:681.51

С.Л. Янчевський

Київський оперативний центр, Державне космічне агентство України  
jsl\_m@mail.ru

## Оптимізація планування отримання інформації від систем дистанційного зондування Землі середнього розрізнення за умови фінансових обмежень

*На основі використання методів багатокритеріальної оптимізації запропоновано новий підхід до вдосконалення процесу планування закупівлі матеріалів космічної зйомки систем ДЗЗ середнього розрізнення із максимально повним врахуванням інтересів усіх зацікавлених міністерств та відомств, а також фінансових обмежень.*

**Ключові слова:** багатокритеріальна оптимізація, дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), планування космічної зйомки.

### Вступ

Існуючі підходи до організації планування космічної зйомки космічних апаратів (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) розділяють цей процес на етапи перспективного, довгострокового та оперативного планування роботи засобів космічних систем ДЗЗ. Етапи перспективного та довготермінового планування достатньо повно розглянуті у роботі [1], окремі підходи до планування роботи КА ДЗЗ розглянуті в монографіях [2, 3, 4], оригінальна методика запропонована у статті [5].

Протягом останніх десятиліть перспективне планування проводилось на інтервалі до 1 року, довготермінове – до 1 місяця, оперативне на часовий відрізок у 3-4 доби [1]. На сьогодні, в установах Державного космічного агентства (ДКАУ) інтервал перспективного планування звужено до 1 кварталу (введено інтеграційний план), на його основі із додаванням нових заявок створюється координаційний план (7 діб), а оперативний план звужено до 1 доби [6, 7].

Згадані вище підходи до процесу планування зйомок КА ДЗЗ здебільшого орієнтовані на космічні апарати минулих поколінь, які відрізнялись невисокою продуктивністю й інформація з яких, у минулому, переважно використовувалась для потреб лише обмеженого кола споживачів (оборонних відомств та спецслужб). Більшість замовлень з боку інших міністерств та відомств мали спорадичний характер. Споживачі формували свої заявки незалежно один від одного і кожен із них міг замовляти інформацію з одного або кількох районів.

На сьогодні, згідно світових тенденцій, основними споживачами до 90% такої інформації є більша частина державних міністерств та відомств країн, що мають доступ до інформації

ДЗЗ.

Проведений аналіз офіційних завдань і функціоналу міністерств та відомств країни переконливо засвідчив, що оперативного доступу до таких даних потребує переважна більшість центральних органів виконавчої влади.

Відтак, в Україні існує значна нереалізована потреба у даних ДЗЗ для органів державної влади. При цьому механізми розподілу пріоритетів та формування узгоджених заявок на космічну зйомку в залежності від потреб та завдань цих державних інституцій практично немає.

В даній роботі формується підхід до планування космічної зйомки з урахуванням потреб (критеріїв ефективності) різних відомств. Враховуючи суперечливість інтересів замовників задача вибору території зйомки формується як задача багатокритеріальної оптимізації, а визначення прийнятних рішень із області допустимих пропонується здійснювати на основі принципу Парето [8].

### Існуючий метод планування зйомки

У існуючій раніше системі планування, яка у великій мірі використовується і дотепер, виділявся головний користувач і райони планованої зйомки поділялись на директивні, тобто обов'язкові для знімання та не директивні — тобто такі, що можуть бути зняті для інших споживачів у разі виконання основного завдання по директивним районам.

При цьому підході у формалізованому вигляді, задача раціонального планування полягає у складанні такого оперативного плану, який відповідає наступним критеріям [5, 9]:

$$\frac{J_m^0}{J_m^*} \rightarrow 1 \text{ при } \theta_0 \leq \Theta; C = \text{const}; \quad (1)$$

$$\frac{J_m^1}{J_m^0} \rightarrow \max \quad \text{при } \theta_1 \rightarrow \min; C = \text{const}; \quad (2)$$

$$\text{при цьому } \theta_0 + \theta_1 \leq \Theta$$

де  $J_m^0$  - очікуваний корисний обсяг інформації з  $m$ -го району, що надається головному користувачеві в результаті спостереження за цим районом;  $J_m^1$  - потрібний головному користувачеві обсяг інформації з цього району;  $J_m^0, J_m^1$  - аналогічні параметри для інших користувачів;  $\theta$  - обсяг фактичних витрат ресурсу бортового спеціального комплексу (БСК);

$\theta_0$  - обсяг витрат ресурсу БСК для виконання заявок головного користувача;  $\theta_1$  - обсяг витрат ресурсу БСК для виконання заявок інших користувачів;  $\Theta$  - допустимий обсяг ресурсу БСК, що виділяється на інтервал планування;  $C$  - вартість експлуатації КА.

Орган, який планує роботу космічного апарату (ОПР) загалом прагне виконати завдання у відповідності до критерію (1). При цьому існуюче програмне забезпечення, що розроблене ДП «Дніпрокосмос» для забезпечення планування роботи національних КА ДЗЗ (проводиться групою планування ЦУП НЦУВКЗ), передбачає лише розрахунок балістики руху КА на орбіті, часу можливого проведення зйомки, часу повторної зйомки (ревізиту), кількість робочих витків і освітленість області інтересу (ділянки) зйомки.

Питання ж визначення пріоритетності проведення зйомки, вибору оптимальних схем виконання заявок із можливим врахуванням інтересів всіх споживачів, покладається виключно на ОПР.

Таке завдання є вкрай складним, зокрема на етапі оперативного планування із невеликим бюджетом часу та великою кількістю додаткових термінових заявок. Це обумовлює потребу у вдосконаленні існуючої технології планування зйомки.

Питання щодо визначення головного користувача на сьогодні значно ускладнилось: раніше це були оборонні та силові відомства, але сьогодні цей статус, залежно від обставин, може переходити до інших міністерств чи відомств.

Зважаючи на різні завдання та цілі цих органів виконавчої влади, їх інтереси щодо проведення зйомки визначених територій у вказані періоди часу можуть істотно відрізнятись і породжувати певний перманентний конфлікт, вирішення якого у кінцевому випадку покладається саме на ОПР і полягає перш за все у раціональному плануванні.

Завдання вибору допустимих рішень у складних, а особливо ергатичних системах управління, якими по суті і є системи ДЗЗ, за

своєю природою є багатокритеріальним. Тому задача раціонального розподілу інформаційного ресурсу зводиться до задачі багатокритеріальної оптимізації і пошуку схеми компромісів для цільових функцій різних відомств [10].

Зауважимо, що на сучасному етапі вказана специфіка характерна не лише для задачі планування зйомки з вітчизняного апарату, але й для задачі замовлення (купівлі) знімків з космічних апаратів інших космічних агентств. Тому задачу багатокритеріальної оптимізації будемо формулювати в залежності від просторового розрізнення знімків [11, 9].

### Постановка скалярної задачі багатокритеріальної оптимізації

Нехай задано певну територію (Україна та 200 км вздовж кордонів), щодо якої потрібно скласти оперативний план замовлення космічних знімків (3-4 доби) низького та середнього розрізнення з закордонних апаратів LandSat, Envisat (Meris), Terra (Modis), та інших із врахуванням всієї сукупності заявок від міністерств та відомств, з максимально можливим дотриманням термінів виконання цих заявок, дотриманням попередньо визначеної пріоритетності виконання заявок та можливою поточною адаптацією плану до зміни політичної, економічної, погодної та екологічної ситуації у державі та поблизу її кордонів.

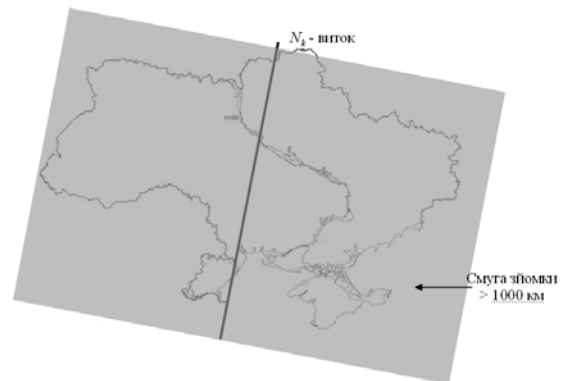


Рисунок 1 – Покриття території України знімком середнього розрізнення (наприклад, з апаратів LandSat, Envisat, Modis, Meris та інших)

Приклад покриття території України знімком середнього розрізнення наведено на рис. 1. Як видно із рис. 1, один або два знімки середнього розрізнення покривають практично всю територію України.

Оскільки припущення про покриття одним знімком середнього розрізнення істотно не обмежує загальну постановку задачі, єдиним аргументом, від якого залежить ступінь задоволення потреб конкретних відомств, є час. Отже в процесі планування розглядається множина можливих рішень щодо проведення зйомки  $X \subset R^1$ , що складається із елементів

$\{x = t, x \in X\}$  одновимірний евклідовий простору.

**Математична постановка скалярної задачі оптимізації**

Таблиця 1

| Бали | Опис семантичного значення оцінок                                                                                                                            | Спрощений варіант                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 10   | Максимально можлива кількість знімків на всю територію України з усіх доступних КА ДЗЗ з будь-якою розрізняювальною здатністю та високою оперативністю       | <u>Все на всю територію України без обмежень</u>                               |
| 9    | Максимальна можлива кількість знімків із заданою розрізняювальною здатністю на всю територію України з високою оперативністю.                                | <u>Все можливе по території країни із заданим розрізненням</u>                 |
| 8    | Максимально можлива кількість знімків на визначені «критичні» ділянки території України з будь-яким розрізненням та високою оперативністю (щодня).           | <u>Все без обмежень на визначені ділянки території</u>                         |
| 7    | Вказана кількість знімків на визначені «критичні» ділянки території з визначеною розрізняювальною здатністю та високою оперативністю (кілька зйомок на добу) | <u>Вказана кількість знімків на визначені території, висока оперативність</u>  |
| 6    | Вказана кількість знімків на визначені «критичні» ділянки території України з середньою оперативністю (1 зйомка на добу)                                     | <u>Вказана кількість знімків на визначені території, середня оперативність</u> |
| 5    | Вказана кількість знімків на визначені «критичні» ділянки території України з середньою оперативністю (2-3 зйомки на тиждень)                                | <u>Вказана кількість знімків на визначені території, низька оперативність</u>  |
| 4    | Вказана кількість знімків лише при потребі на замовлення на визначені ділянки території України з середньою оперативністю (2-4 зйомки на місяць)             | <u>Вказана кількість знімків на визначені території, лише за потреби</u>       |
| 3    | Мінімально необхідна кількість знімків (оглядова зйомка, чи мозаїка знімків, України раз на місяць) з будь-яким розрізненням                                 | <u>Будь яка інформація на територію України наднизька оперативність</u>        |
| 2    | Мінімально необхідна оглядова зйомка визначених ділянок (1 зйомка на місяць) з будь-яким розрізненням                                                        | <u>Будь яка інформація на визначені території</u>                              |
| 1    | Відсутня потреба в супутникових даних                                                                                                                        | <u>Не потрібна</u>                                                             |

Рішення щодо планування зйомок приймається з урахуванням зовнішніх впливів, які опишемо вектором  $r$ , що заданий на множині можливих факторів  $R$ . В даному випадку під зовнішнім впливом ми розуміємо статистичні та прогностичні дані щодо умов зйомки, наприклад хмарності. Ситуація, яка оцінюється в задачі багатокритеріальної оптимізації, характеризується декартовим добутком  $C = X \times R$ .

Задача полягає у забезпеченні найвищої ефективності космічної зйомки з огляду на потреби зацікавлених відомств.

Якість рішення оцінюється за сукупністю часткових критеріїв, що визначаються цільовими функціями потреб конкретних відомств-споживачів інформації з урахуванням обмежень на фінансування.

Якщо у отриманні супутникових даних зацікавлені  $S$  відомств, то функції їх потреб утворюють  $s$ -вимірний вектор  $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s \subset F$ , визначений на множині  $X$  з врахуванням обмежень на фінансування та ситуації  $C = X \times R$ . Вираз  $y \subset F$  означає належність вектора потреб  $y$  до класу  $F$  допустимих векторів ефективності виконання зйомки.

При плануванні зйомки для апаратів середнього та низького розрізнення, єдиною незалежною змінною є час. Тобто множина можливих рішень щодо проведення зйомки  $X \subset R^1$  складається із елементів  $X = \{x = t\} \subset R$  одновимірний евклідовий простору, де  $x = t$  — час зйомки.

Задача багатокритеріальної оптимізації плану проведення космічної зйомки полягає у визначенні такого рішення  $x^* \in X$ , яке при заданих умовах та обмеженнях оптимізує векторнозначну функцію ефективності планування

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x) = \arg \min_{x \in X} (y(x) - \hat{y}(x))^2 \quad (3)$$

при заданих умовах

$$r \subset R, s(\hat{y}(x)) \leq S,$$

де  $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s$  — векторнозначна функція потреб відомств у супутниковій інформації,  $\hat{y}(x) = \{\hat{y}_k(x)\}_{k=1}^s$  — реальний ступінь

задоволення потреб відомств,  $s(\hat{y}(x))$  — вартість обраних знімків,  $S \in R$  — наявний обсяг

фінансування (в тис. грн.), яке виділяється відомствами на купівлю знімків.

Таким чином, векторним критерієм задачі оптимізації є квадрат норми відхилення реального ступеню задоволення потреб відомств матеріалами космічної зйомки від цільової функції потреб. Мінімізуючи відхилення від цільової функції ми забезпечуємо максимальну ефективність зйомки в контексті потреб всіх зацікавлених відомств з урахуванням фінансових обмежень.

### **Визначення критеріїв та умов оптимізації**

Визначимо відповідний набір часткових критеріїв для оцінки можливостей та оптимальних схем виконання системою ДЗЗ зйомки визначених територій.

Такі критерії являють собою кількісні показники, числові значення яких є мірою якості системи управління [8]. Якість системи управління КА ДЗЗ у частині його цільового використання, загалом, залежить від раціональності планування зйомки із врахуванням обмежень, що накладаються умовами функціонування КА на орбіті, наявним фінансуванням та об'ємом і термінами виконання заявок на зйомку певних ділянок земної поверхні, що надходять від державних та комерційних споживачів.

Ефективність планування визначається мірою задоволення потреб зацікавлених відомств в отриманні інформації ДЗЗ на визначеному інтервалі часу.

Тобто векторний критерій оптимізації відображає відхилення від функцій потреб (цільових функцій) зацікавлених міністерств та відомств у інформації ДЗЗ на певну ділянку земної поверхні у визначеному часовому інтервалі з урахуванням обмежень на фінансування. Значення цільових функцій в конкретні дискретні моменти часу обчислюються за результатами опитування експертних груп фахівців, зацікавлених в отриманні інформації ДЗЗ міністерств та відомств, з врахуванням наявних заявок на зйомку.

Членами таких експертних груп мають бути фахівці, які мають багаторічну практику та досвід роботи у визначених міністерствах. Такі фахівці мають чітке розуміння того, скільки, з якою оперативністю, на який відрізок часу і по якій території потрібно видової інформації для виконання завдань даним відомством.

Таким чином, **частковими критеріями якості** оптимального планування зйомки слід вважати ступінь задоволення потреб в отриманні інформації ДЗЗ на визначеному інтервалі часу для кожного із зацікавлених відомств з урахуванням обмежень, що накладаються ситуацією  $S$  та наявними обсягами фінансування. Ситуація в

конкретний момент часу визначається наступними факторами (обмеженнями):

- розрахунковою оптичною видимістю районів зйомки ( $E$ );
- геометричною видимістю ( $K$ );
- прогнозованою (статистичною) видимістю районів зйомки ( $\gamma$ ).

**Розрахункова оптична видимість районів зйомки** обчислюється за класичними методиками, виходячи з кількості робочих витків над визначеним районом, величини освітленості та стану атмосфери над цією територією [4].

**Геометрична видимість** визначається положенням космічного апарату (проходження траси КА) над заданим районом та, відповідно, накриття полем зору апаратури БСК однієї чи декількох областей інтересу.

Методика розрахунку геометричної видимості достатньо повно викладена у роботі [4].

**Прогнозована (статистична) видимість районів зйомки** визначається на основі наявної статистики щодо конкретного території (середнє співвідношення сонячних та хмарних днів). Якщо враховувати територію України та суміжні території, то існують досить значні ділянки, де зйомку можна провести або за допомогою радіолокаційного КА ДЗЗ, або лише у певні літні місяці. Відповідно на кожну точку загальної зони інтересу, яка здебільшого охоплює територію України та 200-400 км суміжних територій, можна отримати певний коефіцієнт, який буде визначати прогнозовану (статистичну) вірогідність відсутності хмарності для успішного проведення космічної зйомки районів інтересу.

### **Метод розв'язання задачі**

Розв'язання поставленої задачі багатокритеріальної оптимізації здійснюється за наступною схемою [8].

1. Формування часткових критеріїв.
2. Визначення областей згоди та компромісів;
3. В області компромісів знаходження рішення, що задовольняє умові оптимальності Парето.
4. Вибір із множини Парето рішення, яке забезпечує максимальне задоволення потреб відомств матеріалами космічної зйомки з урахуванням обмежень на фінансування.

Розглянемо ці етапи розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації більш детально. Формування часткових критеріїв здійснюється на основі експертного опитування фахівців конкретних відомств, зацікавлених у використанні супутникової інформації.

**Приклад визначення області Парето для трьох міністерств.** Поставлена задача оптимізації планування космічної зйомки була розв'язана з урахуванням потреб трьох відомств: МНС,

Мінприроди та Мінагрополітики. У цих відомствах було сформовано групи експертів, що заповнили анкету, де за 10- бальною шкалою оцінювались потреби відомства у інформації ДЗЗ на територію України по місяцях року.

Семантичні значення оцінок потреби відомств у супутникових даних ДЗЗ середнього та низького розрізнення наведено у табл. 1.

Узагальнені результати експертного опитування (середні значення оцінок для кожного відомства на кожен місяць року) наведено в табл. 2.

Таблиця 2

| Замовники       | Значення $y_i(x), i = \overline{1,3}$ для визначених періодів часу $x$ (по місяцям) |   |    |    |   |   |   |    |    |    |    |    |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|---|---|---|----|----|----|----|----|
|                 | 1                                                                                   | 2 | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| МНС             | 5                                                                                   | 8 | 10 | 8  | 5 | 5 | 9 | 10 | 8  | 9  | 5  | 5  |
| Мінагрополітики | 1,2                                                                                 | 6 | 10 | 10 | 4 | 8 | 8 | 10 | 10 | 5  | 2  | 2  |
| Мінекології     | 1,5                                                                                 | 2 | 8  | 9  | 5 | 4 | 4 | 7  | 9  | 7  | 6  | 10 |

Як наслідок, ми отримали сімейство функцій потреб, на основі яких ОПР може отримати орієнтовну інформацію щодо потреби у інформації ДЗЗ на кожен період планування та відразу визначити періоди підвищеного пріоритету зйомки для визначених міністерств та відомств.

В графічному вигляді сімейство функцій потреб трьох зазначених відомств наведено на рис. 2.

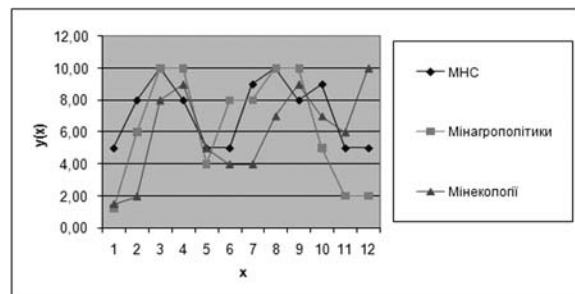


Рисунок 2 – Сімейство функцій потреб

Як видно із рис. 2 в березні-квітні і серпні-вересні функції потреб набувають максимальних значень, тому ці області є областями згоди, а інші області аргументу (періоди часу) формують області компромісів.

Оскільки часткові критерії, задані співвідношенням (3), є квадратичними, а значить опуклими функціями, то для визначення області компромісів за умов опуклості допустимої множини критеріїв можна використати лему Карліна, наслідком якої є вираження області компромісів у вигляді рішення задачі параметричного програмування з урахуванням обмежень

$$X^* = \bigcup_{x \in X_1(X_2 \cup K \cup E)} \operatorname{argmin}_{k=1}^s \alpha_k y_{0k}(x) \quad (4)$$

при обмеженні

$$s(\hat{y}(x)) \leq S \quad (5)$$

В (4)  $\alpha = \{\alpha_k\}_{k=1}^s$  - формальний векторний параметр, визначений на множині

$$X_\alpha = \left\{ \alpha \mid \sum_{k=1}^s \alpha_k = 1, \alpha_k \geq 0 \right\}.$$

Паретооптимальним розв'язком поставленої вище багатокритеріальної задачі оптимального планування (3) можна вважати

будь-яку точку із області Парето, що визначається співвідношенням (4), яка задовольняє обмеженням (5).

### Розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації для трьох відомств з урахуванням обмежень

Для кожного моменту дискретного часу  $x$  визначимо значення  $\hat{y}^*(x)$ , яке забезпечує мінімізацію функціоналу (3) або максимізацію реального ступеня задоволення потреб кожного із відомств (мінімальне відхилення від векторнозначної функції потреб). Для врахування пріоритетності заявок відомств введемо ваговий коефіцієнт для значення потреб кожного з відомств  $0 < \alpha_i \leq 1, i = 1,3$ .

Оскільки векторнозначна функція  $f(x)$  в (3) є квадратичною, то задача її мінімізації зводиться до мінімізації функціоналу суми часткових критеріїв. Тобто  $\forall x$  потрібно знайти таке  $\hat{y}^*(x)$ , що

$$\tilde{f}(x) = \sum_{i=1}^3 (\hat{y}^*(x) - \alpha_i y_i(x))^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

Обчислимо похідну квадратичного функціоналу  $\tilde{f}(x)$  в (6) та прирівняємо її до 0.

$$\begin{aligned} \tilde{f}'(x) &= \left( \sum_{i=1}^3 (\hat{y}^*(x) - \alpha_i y_i(x))^2 \right)' = \\ &= 2 * \left( \sum_{i=1}^3 (\hat{y}^*(x) - \alpha_i y_i(x)) \right) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Розв'язуючи (7), отримаємо

$$\hat{y}^*(x) = \frac{\sum_{i=1}^3 \alpha_i y_i(x)}{3} \quad (8)$$

Оскільки пріоритетність заявок відомств не

визначена (буде обчислена у майбутніх роботах), можна вважати потреби всіх відомств рівнопріоритетними, тобто  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$ . Відповідно

$$\hat{y}^*(x) = \frac{\sum_{i=1}^3 y_i(x)}{3} \quad (9)$$

Враховуючи реальні значення функцій потреб відомств  $y_i(x)$ , наведені в табл. 2, знаходимо оптимальні значення функції реалізації потреб  $\hat{y}^*(x)$  для кожного місяця (подані у табл. 3).

В графічному вигляді функції потреб відомств та оптимальна функція реалізації потреб відомств  $\hat{y}^*(x)$  згідно функціоналу (3) представлені на рис. 3. Наведена на рис. 3 функція реалізації потреб відомств  $\hat{y}^*(x)$  побудована без врахування фінансових обмежень.

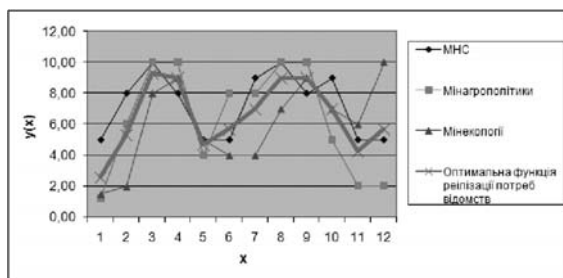


Рисунок 3 – Оптимальна функція реалізації потреб відомств  $\hat{y}^*(x)$  згідно критерію (3)

Знаючи вартість супутникових даних для кожного апарату та наявний обсяг фінансування, запланованого на закупівлю знімків, можна визначити оптимальний план закупівлі

Таблиця 3

| Замовники       | Значення $y_i(x), i = \overline{1,3}$ та $\hat{y}^*(x)$ для визначених періодів часу $x$ (по місяцям) |     |     |    |     |     |   |    |    |    |     |     |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----|-----|-----|---|----|----|----|-----|-----|
|                 | 1                                                                                                     | 2   | 3   | 4  | 5   | 6   | 7 | 8  | 9  | 10 | 11  | 12  |
| МНС             | 5                                                                                                     | 8   | 10  | 8  | 5   | 5   | 9 | 10 | 8  | 9  | 5   | 5   |
| Мінагрополітики | 1,2                                                                                                   | 6   | 10  | 10 | 4   | 8   | 8 | 10 | 10 | 5  | 2   | 2   |
| Мінекології     | 1,5                                                                                                   | 2   | 8   | 9  | 5   | 4   | 4 | 7  | 9  | 7  | 6   | 10  |
| $\hat{y}^*(x)$  | 2,6                                                                                                   | 5,3 | 9,3 | 9  | 4,7 | 5,7 | 7 | 9  | 9  | 7  | 4,3 | 5,7 |

супутникових даних, тобто області на множині рішень  $x \in X$  (періоди часу), які забезпечують мінімізацію функціоналу (3) при фінансових обмеженнях

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x) = \arg \min_{x \in X} (y(x) - \hat{y}^*(x))^2$$

при умовах  $r \subset R$  та фінансових обмеженнях

$$s(\hat{y}^*(x)) \leq S$$

Іншими словами, область  $x^* \in X$  являє собою множину значень  $x \in X$ , вартість знімків для яких не перевищує запланованого обсягу фінансування  $S$

$$\sum_{x^*} s(\hat{y}^*(x^*)) \leq S.$$

В графічному вигляді на рис. 4 область  $x^* \in X$  — це множина значень аргументу, для яких значення функції  $\hat{y}^*(x)$  розташовані вище горизонтальної лінії фінансових обмежень.

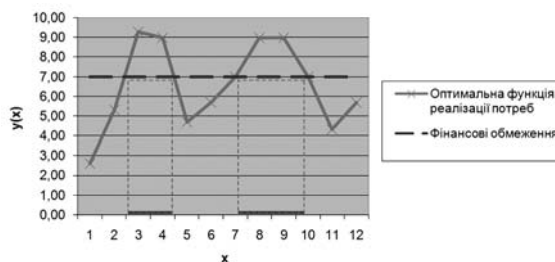


Рисунок 4 – Оптимальна функція реалізації потреб відомств з урахуванням фінансових обмежень

Такий підхід дозволяє оптимізувати процес планування космічних зйомок по заданим районам інтересу (згідно заявок міністерств та відомств) із максимальним врахуванням потреб кожного зацікавленого органу виконавчої влади та зважаючи на наявні обсяги фінансування таких заходів.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропонований варіант вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації плану проведення

космічних зйомок є оптимальним з огляду на можливість врахування багатьох критеріїв, суб'єктивної інформації ОІП і профільних експертів у процесі планування, а також наявних фінансових обмежень.

Викладені підходи дозволяють формалізувати та врахувати вплив великої кількості особливостей та обмежень які мають «нечітку» природу, але у значній мірі впливають на процес прийняття рішення під час планування

космічної зйомки.

Відчутною перевагою такого підходу є можливість проведення оперативного планування із постійною адаптацією до ситуації, що складається та врахуванням наявного фінансування.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є розробка аналогічних методів планування для отримання даних ДЗЗ високого розрізнення, а також з'ясування реальної потреби решти міністерств і відомств у даних ДЗЗ залежно від пори року чи конкретних періодів часу.

Використання подібних методів дозволить

оцінити загальну потребу у інформації ДЗЗ для переважної більшості органів виконавчої влади та обчислити потрібний обсяг фінансування (із врахуванням обмежень) для максимально можливого задоволення потреб цих відомств у таких даних. Наявність таких даних в оперативному режимі забезпечить їх використання в автоматизованих геоінформаційних системах [12-15].

### Література

1. Пясковский Д.В. Основы построения систем управления космическими аппаратами. Ч.1. Конспект лекцій / Д.В. Пясковский, В.Г. Парфенюк. – Житомир: ЖВИРЭ, 1998. – 187 с.
2. Лебедев А.А. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование / А.А. Лебедев, О.П. Несторенко. – М.: Машиностроение, 1991. - 224 с.
3. Скребушевский Б.С. Формирование орбит космических аппаратов / Б.С. Скребушевский. – М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
4. Ханцеверов Ф.Р. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли / Ф.Р. Ханцеверов, В.В. Остроухов. – М.: Машиностроение, 1989. -264 с.
5. Машков О.А. Методика оптимізації планування роботи орбітальних засобів космічних систем спостереження / О.А. Машков, С.П. Фриз // Збірник наукових праць. - Житомир: ЖВИРЭ, 2003.- 80-91с.
6. Янчевський С.Л. Оптимізація використання інформаційного ресурсу космічних систем дистанційного зондування Землі для потреб системи державного управління / С.Л. Янчевський // Матеріали доповідей Другої всеукраїнської конференції Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки GEO-UA 2010. – К.: Освіта України, 2010. - С. 166 – 168.
7. Тактико-техническое задание на опытно-конструкторскую работу «Космическая система оптико-электронного наблюдения и связи «Січ-2» від 07.02.2002 р. // ДП «КБ «Південне». – 7-8 с.
8. Воронин А.Н. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко. – Х.: Факт, 1997.– 240 с.
9. Куссуль Н.М. Возможный підхід до раціонального планування космічної зйомки Землі на основі багатокритеріальної оптимізації / Н.М. Куссуль, В.П. Фриз, С.Л. Янчевський // Збірник наукових праць. – 2011. – №4 – С. 97-105 с.
10. Згуровский М.З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005 – 189 с, 191 с, 203 с.
11. Куссуль Н.М. Оптимізаційний підхід до використання даних спостереження Землі / Н.М. Куссуль, С.Л. Янчевський //Тези 10-ї Української конференції з космічних досліджень, Євпаторія, Крим, 2010. – С. 44.
12. Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. High performance Intelligent Computations for Environmental and Disaster Monitoring // In Intelligent Data Processing in Global Monitoring for Environment and Security (Krassimir Markov, Vitalii Velychko editors). — I T H E A, Sofia, 2010, pp. 64-92.
13. Куссуль Н.М. Геоінформаційна інфраструктура моніторингу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій / Н.М. Куссуль, С.В. Скакун, А.Ю. Шелестов // Наука та інновації. – 2010. – Т. 6. № 4. – С. 13-20.
14. Шелестов А.Ю. Сервіс-орієнтована інфраструктура моніторингу повеней за супутниковими даними / А.Ю. Шелестов, Н.М. Куссуль, С.В. Скакун // Наукові праці ДонНТУ Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". – 2010. – Випуск 11(164). – С. 133-139.
15. Скакун С.В. Оценка риска наводнений на основе разнородных геопространственных данных / С.В. Скакун // Наукові праці ДонНТУ Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". – 2010. – Вип. 12(165). – С. 94-98.

Надійшла до редакції 15.03.2011