

ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ЧАСОВИХ РЕСУРСІВ ЗАСОБІВ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ

к.т.н. К.К. Кулагін, Ю.В. Лісічкін
(подав д.т.н., проф. В.П. Деденок)

Розроблена методика оптимального за часом та кількістю інформації розподілення інформаційних ресурсів технічних засобів наземного автоматизованого комплексу управління України в рамках однопунктової (малопунктової) технології управління космічними апаратами з використанням методів умовної оптимізації. Розглянуто приклад розв'язання задачі безконфліктного обслуговування чотирьох космічних апаратів трьохпозиційною системою управління за допомогою запропонованої методики.

На сучасному етапі реформування структури Національного космічного агентства України, коли з одного боку постійно скорочується склад обслуговуючого персоналу, матеріально - технічних засобів наземного автоматизованого комплексу управління (НАКУ) космічними апаратами (КА), а з іншого зростає потреба в отриманні великих обсягів космічної інформації, принципове значення має проблема організації раціонального завантаження усіх систем НАКУ КА.

Перехід з грудня 1991 року на однопунктну технологію управління національними КА зумовив більш жорсткі вимоги до просторово - часових характеристик процесу експлуатації космічних систем. Зокрема, на відміну від НАКУ КА СРСР, тривалість знаходження у зв'язку з наземними пунктами знизилася у 1.5 - 2 рази, водночас тривалість міжсеансних інтервалів збільшилась до 5 - 6 витків (наприклад, для КА з висотою орбіти приблизно 650 - 700 км та нахилом орбіти $80^\circ - 85^\circ$ дорівнює 8.5 - 9 годин), а зони видимості (ЗВ) засобів НАКУ практично на 85 - 90% перекривають друг друга. Таким чином, в умовах зростання чисельності КА виникає задача оптимального розподілу обмежених часових ресурсів НАКУ між КА орбітального угруповання з урахуванням пріоритету КА та обмежень на радіосумісність і кількість інформації на борту.

Для вирішення даної задачі необхідно формалізувати її до вигляду, що припускає рішення відомими методами оптимального математичного програмування. При цьому більш складні ситуації виникають, коли у зонах радіовидимості засобів НАКУ знаходяться декілька КА, що одночасно потребують інформаційного обміну з наземними пунктами та

можуть ставити перешкоди один одному.

Сформулюємо математичну постановку задачі оптимального розподілу часових ресурсів НАКУ між КА орбітального угруповання з урахуванням вищезазначених обмежень.

Припустимо, що управління угрупованням із N КА здійснюється багатоканальною M - позиційною системою управління. Тоді фазовий простір буде характеризуватися множиною варіантів розподілення часу інформаційної взаємодії наземних засобів НАКУ із КА.

Управління полягає у визначенні варіантів розподілення сеансів інформаційного обміну наземних засобів між КА та оцінці кожного з них за допомогою критерію оптимізації. Управляючими параметрами є час початку ($t_{п\mu}^v$) та час кінця ($t_{к\mu}^v$) сеансу прийому інформації з v -го КА μ - м КВП, а також її кількість (X_{μ}^v).

Параметрами є :

$A=\{A_v, v \in \overline{1, N}\}$ - множина КА;

$B=\{B_{\mu}, \mu \in \overline{1, M}\}$ - множина командно - вимірювальних пунктів (КВП) НАКУ КА;

$C=\{C_{\pi}, \pi \in \overline{1, P}\}$ - множина технічних засобів КВП;

$D=\{D_{\chi}, \chi \in \overline{1, K}\}$ - множина каналів зв'язку КА;

$E=\{E_{\gamma}, \gamma \in \overline{1, G}\}$ - множина каналів зв'язку технічного засобу КВП;

$J=\{J^v, v \in \overline{1, N}\}$ - множина інформації на борту КА.

Визначимо кількість інформації, що передається з v -го КА по χ -му каналу зв'язку через γ канал на π технічний засіб μ -го КВП як

$$X_{\mu\pi\gamma}^{v\chi} = (t_{к\mu\pi\gamma}^{v\chi} - t_{п\mu\pi\gamma}^{v\chi}) \cdot C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi},$$

де $C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}$ - перепускна спроможність каналів зв'язку .

Для обміну інформацією з КА канали зв'язку можливо використувати в продовж часу $t_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}$, що зумовлюється часом знаходження КА у зонах видимості відповідних засобів. Тому умови непереверження заданого часового ресурсу окремого каналу можливо представити як

$$t_{п\mu\pi\gamma}^{v\chi} \geq t_{п\mu}^v; \quad t_{к\mu\pi\gamma}^{v\chi} \leq t_{к\mu}^v; \quad t_{п\mu\pi\gamma}^{v\chi} \leq t_{к\mu\pi\gamma}^{v\chi}. \quad (1)$$

Зробимо припущення, що з одним КА одночасно може робити тільки один наземний пункт та апаратура обміну інформацією для всіх КА має однакові характеристики. У цьому випадку умови непереверження заданого часового ресурсу усіх каналів будуть мати такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{v=1}^N \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{1\pi\gamma}^{v\chi}}{C_{1\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T_1; \\ \sum_{v=1}^N \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{2\pi\gamma}^{v\chi}}{C_{2\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T_2; \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{v=1}^N \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{M\pi\gamma}^{v\chi}}{C_{M\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T_M; \end{array} \right. \quad (2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{\mu\pi\gamma}^{1\chi}}{C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T^1; \\ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{\mu\pi\gamma}^{2\chi}}{C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T^2; \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{\mu\pi\gamma}^{N\chi}}{C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}} \leq T^N, \end{array} \right. \quad (3)$$

де T_M - загальний час безперервного зв'язку M - го КВП з КА;
 T^N - загальний час безперервного зв'язку N - го КА з усіма КВП.

В свою чергу, кількість інформації, яка передається з борту v - го КА по різним каналам, обмежується числом J^v та не може бути від'ємним числом. Тому мають місце обмеження

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K X_{\mu\pi\gamma}^{1\chi} \leq J^1; \\ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K X_{\mu\pi\gamma}^{2\chi} \leq J^2; \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K X_{\mu\pi\gamma}^{N\chi} \leq J^N, \end{array} \right. \quad (4)$$

де J^N - кількість інформації на борту N - го КА, що потребує передачі на наземні засоби НАКУ.

За цих умов необхідно визначити час передачі інформації у кількості $X_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}$ з борту v - го КА по χ - γ каналу на π - й технічний засіб μ - го КВП при мінімально можливих загальних витратах часу використання каналів та неперебільшення виділеного часу використання цих каналів.

Враховуючи усе це, цільова функція (весь час використання каналів) буде мати вигляд

$$T = \min \sum_{v=1}^N \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K \frac{X_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}}{C_{\mu\pi\gamma}^{v\chi}}. \quad (5)$$

При організації планування завантаження наземних засобів часто виникає і інша задача - визначення максимальної кількості інформації, яку можуть прийняти засоби НАКУ при заданих умовах. В цьому випадку цільова функція буде мати вигляд

$$J = \max \sum_{\nu=1}^N \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^P \sum_{\gamma=1}^G \sum_{\chi=1}^K X_{\mu\pi\gamma}^{\nu\chi}. \quad (6)$$

Зазначені задачі відносяться до класу варіаційних задач, тобто задач знаходження екстремуму функції. Враховуючи той факт, що цільова функція (5, 6) та обмеження (1- 4) мають вигляд лінійних нерівностей, то оптимальне рішення цільової функції логічно знаходити за допомогою математичного апарату лінійного програмування [1].

Розглянемо приклад розв'язання задачі безконфліктного обслуговування чотирьох КА трьохпозиційною системою управління на інтервалі одного оберту за допомогою запропонованої методики.

Для забезпечення оперативності передачі космічної інформації споживачам необхідно організувати роботу системи управління таким чином, щоб загальний час на отримання усього обсягу інформації був мінімальний [2]. Характеристики КА та КВП представлені в табл. 1, 2.

Таблиця 1
Характеристики КА

КА	№1	№2	№3	№4
Період, (хв.)	97,6	97,9	98,1	96,5
Нахил, (град.)	97,0	82,5	62,0	96,5
Довгота вос.кута, (град.)	28,0	30,0	230	210
Висота апогею, (км.)	1000	679	680	600
Висота перигею, (км.)	300	650	670	600
Ексцентриситет	0,05	0,002	0,001	0
Аргумент перигею, (град.)	200	270	315	0
Середня аномалія, (град.)	230	230	0	320

Таблиця 2
Характеристики КВП

КВП	№1	№2	№3
Широта, (град.)	45,06	48,85	54,00
Довгота, (град.)	33,90	26,72	38,00
Макс. дальність, (км.)	6000,0	6000,0	5000,0
Мін. дальність, (км.)	120,0	120,0	120,0
Макс. кут місця, (град.)	90,0	173,0	90,0
Мін. кут місця, (град.)	7,0	7,0	7,0
Макс. азимут ЗВ, (град.)	360,0	360,0	360,0
Мін. азимут ЗВ, (град.)	0	0	0

Припустимо, що на кожному КВП використовується по одному технічному засобу, та кожний КА і кожний технічний засіб обміну інформацією на КВП мають по одному каналу зв'язку (тобто $P=K=G=1$), а втрат інформації за час розповсюдження в каналах зв'язку немає. Оберемо перепускні спроможності для КВП №1, КВП №2, КВП №3 відповідно 1,5; 1,25; 0,5, а кількість інформації, що знаходиться на КА №1, КА №2, КА №3, КА №4 відповідно 950; 525; 550; 800 (умовних одиниць). З урахуванням наведених вихідних даних за допомогою запропонованої методики було проведено математичне моделювання на ПЕОМ. Отримані результати подано у табл. 3, 4.

Таблиця 3

Результати моделювання

	КА №1		КА №2		КА №3		КА №4		T _М
	t _п	t _к	t _п	t _к	t _п	t _к	t _п	t _к	
Тривалість ЗВ КВП №1	0	600	700	150 0	120 0	1800	800	1300	180 0
Тривалість ЗВ КВП №2	60	600	800	160 0	110 0	1700	800	1200	160 0
Тривалість ЗВ КВП №3	180	800	900	160 0	120 0	1600	600	1200	140 0
T^N	800		900		700		700		---

Таблиця 4

Результати рішення

	КА №1		КА №2		КА №3		КА №4	
	t _п	t _к	t _п	t _к	t _п	t _к	t _п	t _к
КВП №1	0	600	700	800	1300	1500	800	1300
КВП №2	0	0	800	1100	1100	1300	0	0
КВП №3	600	700	0	0	0	0	700	800

Аналіз отриманих результатів показує, що раціональне використання засобів КВП дозволяє прийняти увесь об'єм інформації з усіх КА на одному витку та скоротити час роботи технічних засобів з **T=1800** до **T=1500** умовних одиниць.

Таким чином, застосування розробленої методики дозволяє визначити оптимальні інтервали інформаційної взаємодії КА та засобів НАКУ і тим самим підвищити ефективність системи управління КА взагалі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К: Вища школа, 1988. – 428 с.
2. Плотников В.Н., Зверев В.Ю. Оптимизация оперативно - организационного управления. - М.: Машиностроение, 1980. – 253 с.

Подана до редколегії 30.01.2001