

### СИНТЕЗ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОЗВЕЗДИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ЗАДАЧЕ НАРАЩИВАНИЯ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ

Задачи мониторинга земной поверхности, в которых одним из основных целевых показателей является периодичность наблюдения, наиболее эффективно решаются с использованием орбитальных группировок (ОГ), образующих созвездие космических аппаратов (КА), решающих единую целевую задачу.

Построение ОГ, как правило, занимает длительный период времени (до нескольких лет). Поэтому представляет интерес задача оптимального наращивания ОГ, при котором будут обеспечиваться заданные целевые показатели гарантированной периодичности наблюдения для каждого промежуточного состава созвездия.

Орбитальные параметры космических аппаратов, образующих  $m$ -й состав созвездия, будем задавать вектором

$$X^m = \{X_1, X_2, \dots, X_{Nm}\}^T,$$

где  $X_n = \{\Omega_n, i_n, p_n, \omega_n, e_n, v_n\}$ ,  $n = 1, \dots, Nm$ ,

$Nm$  – число КА в  $m$ -м созвездии,  $i_n$  – наклонение орбиты,  $\Omega_n$  – долгота восходящего узла,  $\omega_n$  – аргумент перицентра,  $p_n$  – фокальный параметр,  $e_n$  – эксцентриситет орбиты,  $v_n$  – угол истинной аномалии  $n$ -го КА созвездия.

Очевидно, что периодичность наблюдения зависит от особенностей расположения объектов наблюдения (ОН) на земной поверхности. Координаты интересующих нас ОН будем задавать вектором  $X_{OH} = \{\varphi_k, \lambda_k\}$ ,  $k = 1, \dots, N_{OH}$ , где  $\varphi_k$  и  $\lambda_k$ , соответственно, широта и долгота  $k$ -го ОН,  $N_{OH}$  – число наблюдаемых ОН.

Условия наблюдения опишем вектором

$$X_H = \{h_k^{\otimes}, \xi_k\}, i = 1, \dots, n_k, k = 1, \dots, N_{OH},$$

где  $h_k^{\otimes}$  и  $\xi_k$  – соответственно условия освещенности и облачности, при  $i$ -м выходе КА на  $k$ -й ОН,  $n_k$  – число выходов КА на  $k$ -й ОН.

Задачу будем решать при следующих заданных проектных параметрах КА:

$$X_{KA} = \{X_{AH}, \Delta V_x\},$$

где  $X_{AH} = \{f_n, r_n^{AH}, \gamma_n\}$ ,  $n = 1, \dots, N_m$  – вектор параметров аппаратуры наблюдения (АН),  $f$  – фокусное расстояние,  $r^{AH}$  – разрешающая способность АН,  $\gamma$  – допустимый угол отклонения оптической оси АН от надира,  $\Delta V_x$  – максимальное суммарное значение при-

ращения характеристической скорости, достижимое при совершении манёвров, связанных с изменением параметров орбиты, обеспечиваемое имеющимися на борту КА ресурсами (запасами рабочего тела (топлива)).

Рассматривается два варианта наращивания ОГ: 1) с переводом уже функционирующих КА на новые орбиты и 2) без изменения их орбит.

В первом варианте определение оптимальных значений орбитальных параметров нового созвездия проводится с учётом ограничений на располагаемые космическими аппаратами, функционирующими в составе исходного созвездия, энергетические ресурсы для перевода их на новые орбиты.

Во втором варианте определяются орбитальные параметры только вновь вводимого в созвездие КА, который необходимо оптимальным образом «вписать» в уже действующую систему.

Для первого варианта наращивания ОГ формулируется следующая задача нелинейного программирования:

определить оптимальную совокупность орбитальных параметров КА, образующих новое созвездие:

$$X^m = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}^T, \quad X_n = \{\Omega_n, l_n, p_n, \omega_n, e_n, \nu_n\}, \quad n = 1, \dots, N_m,$$

при которых обеспечивается достижение минимума целевой функции, характеризующей периодичность наблюдения

$$P = P(X^m, X_{OH}, X_{AI}) \rightarrow \min.$$

при выполнении ограничений:

на параметры орбит:

$$g_{1n}(P) = p_{n \max} - p_{n \min} \geq 0;$$

$$g_{2n}(P) = e_n - e_{n \max} \geq 0;$$

$$g_{3n}(P) = e_{n \max} - e_n \geq 0;$$

условия наблюдения:

$$g_{4ik}(P) = R_{\min} - R_{ik} \geq 0;$$

$$g_{5ni}(P) = h_{\text{обл}} - h_{\text{обл}}^{\min} \geq 0;$$

$$g_{6ni}(P) = \xi_{ni} - \xi_{\text{обл}} \geq 0,$$

располагаемые ресурсы:

$$g_{7n}(P) = \Delta V_{x_n}^{\max} - \Delta V_{x_n} \geq 0,$$

где  $P(X^m, X_{OH}, X_{AI})$  - используемая модель периодичности наблюдения;  $R$  - пространственное разрешение;  $i = 1, \dots, n_k$ ;  $n = 1, \dots, N_m$ ;  $k = 1, \dots, N_{OH}$ .

Для случая наращивания ОГ без перестроения исходного созвездия задача нелинейного программирования формулируется в следующем виде:

определить оптимальную совокупность орбитальных параметров КА, вводимых в ОГ

$$X^m = \{X_M, X_{M+1}, \dots, X_{N_H}\}^T,$$

при которых обеспечивается достижение минимума целевой функции, характеризующей периодичность наблюдения вновь образованного созвездия  $X^H = \{X^{m-1}, X^m\}$

$$II = II(X^H, X_{OH}, X_{AH}) \rightarrow \min,$$

при выполнении ограничений:

на параметры орбит:

$$g_{11}(II) = p_{\max} - p_{\min} \geq 0;$$

$$g_{21}(II) = e_i - e_{\min} \geq 0;$$

$$g_{31}(II) = e_{\max} - e_i \geq 0;$$

условия наблюдения:

$$g_{4nk}(II) = R_{\max} - R_{nk} \geq 0;$$

$$g_{5ni}(II) = h_{\min} - h_{ni}^{\max} \geq 0;$$

$$g_{6ni}(II) = \xi_{ni} - \xi_{\max} \geq 0;$$

$$i = 1, \dots, n_k, \quad n = 1, \dots, N_m + N_H; \quad k = 1, \dots, N_{OH}, \quad l = N_m, \dots, N_H + N_m,$$

где  $N_H$  – численность КА, вводимых в созвездие,  $N_m$  – численность КА в созвездии до наращивания.

Используемые при расчётах модели периодичности наблюдений, облачности, освещённости и другие описаны в [1-5].

Решение модельной задачи проводилось при следующих условиях:

численность КА в исходном созвездии – 2;

орбиты КА круговые, высотой  $H = 350$  км и наклонением  $i = 76$  град;

число КА вводимых в созвездие – 1;

все КА созвездия имеют одинаковый состав и характеристики ЛН;

задача наблюдения – 200 ОН, распределённых по континентам Земли;

приоритеты наблюдения для всех ОН равны:  $P_i = 1, i = 1, \dots, 200$ .

Задача решена для двух видов наращивания ОГ (с переводом уже функционирующих КА на новые орбиты и без него) с учётом и без учёта облачности и освещённости. В качестве целевой функции использовался показатель, характеризующий «худшее» значение периодичности наблюдений [1]. Для анализа эффективности предложенного метода проводилась оценка улучшения значений показателей периодичности

первого варианта наращивания ОГ по сравнению со вторым.

Таблица 1

№ п/п	Число КА в созвездии	Учёт облачности	Учёт освещённости	Улучшение значения показателя периодичности, час
1	2 → 3	-	-	2,3
2	2 → 3	+	+	14,7

Как видно из таблицы 1, использование наращивания ОГ с переводом уже функционирующих КА на новые орбиты по сравнению с вариантом без изменения их орбит даёт улучшение значения показателя периодичности наблюдений на 2,3 ч и 14,7 ч с учётом и без учёта облачности и освещённости, соответственно.

#### Библиографический список

1. Еленев, В.Д. Метод выбора параметров орбитальной структуры космических систем наблюдения [Текст] / В.Д. Еленев, А.А. Панков // Вестник СГАУ. – 2006. – № 1 (9). – С. 62-68.
2. Еленев, В.Д. Метод выбора параметров орбитальной структуры космических систем наблюдения, обеспечивающий минимальную периодичность наблюдений [Текст] / В.Д. Еленев, А.А. Панков // Сб. тр. XVII научно-технической конференции молодых ученых и специалистов РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 5-9 декабря 2005. – Королёв, 2005.
3. Еленев, В.Д. Выбор орбитальных параметров космических систем наблюдения с учетом облачности и освещённости [Текст] / В.Д. Еленев, А.А. Панков // Сб. трудов XIII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов: часть 1 / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – 2007. – С. 129-132.
4. Еленев, В.Д. Оценка времени нахождения объекта наблюдения в зоне видимости космического аппарата [Текст] / В.Д. Еленев, А.А. Панков // Сб. трудов XIII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов: часть 1 / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – 2007. – С. 133-136.
5. Малышев, В.В. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление [Текст] / [В.В. Малышев и др.]. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 568 с.