

Елисеев И.В.

**ВЛИЯНИЕ ВИДА КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ НА ПРОГРАММУ  
РАЗМЕЩЕНИЯ СЕАНСОВ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Критерии оптимальности, составляющие специально разработанный критериальный базис, учитывающий назначение космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КАДЗЗ), особенности их функционирования и характеризующий среднее на временном интервале планирования ухудшение показателей эффективности КАДЗЗ [1], в общем случае могут быть представлены в виде линейной комбинации диагональных элементов ковариационной матрицы погрешностей инерциальной навигационной системы (ИНС) или математической модели движения:

$$I_{\text{общ}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \sum_{k=1}^n l_k^2 \sigma_k^2 \right), \quad (1)$$

где  $n$  – количество диагональных элементов ковариационной матрицы, определяемое размером вектора погрешностей ИНС;  $\sigma_k^2$  – среднеквадратическое отклонение  $k$ -го элемента вектора погрешностей ИНС;  $l_k^2$  – весовой коэффициент, придающий значимость  $k$ -ому диагональному элементу ковариационной матрицы погрешностей ИНС;  $N$  – количество дискретных подинтервалов, на которые разбивается временной интервал планирования.

Изменение весовых коэффициентов оказывает влияние на вид критерия оптимальности и, как следствие, на программу оптимального размещения сеансов навигационных определений (СНО). Линейный характер зависимости критерия оптимальности (1) от весовых коэффициентов  $l_1^2, l_2^2, \dots, l_n^2$  позволяет сделать вывод, что в пространстве  $Ol_1^2 l_2^2 \dots l_n^2$  может быть определена некоторая гиперплоскость  $F$ :

$$F = f_1 l_1^2 + f_2 l_2^2 + \dots + f_k l_k^2 = 0, \quad (2)$$

по принадлежности к которой точки  $M^* \left( l_1^{*2}, l_2^{*2}, \dots, l_n^{*2} \right)$ , определяющей вид критерия (1),

можно определить, какой диагональный элемент ковариационной матрицы погрешностей ИНС будет доминировать над остальными и, соответственно, зная программу оптимального размещения СНО для этого диагонального элемента, сделать вывод об оптимальной программе размещения СНО. Построить гиперплоскость F можно, определив ее проекции на координатные плоскости, пересечением которых задается пространство  $Ol_1^2 l_2^2 \dots l_n^2$ . Для этого достаточно определить проекции гиперплоскости F на  $n-1$  координатных плоскостей  $Ol_1^2 l_2^2, Ol_1^2 l_3^2, \dots, Ol_1^2 l_n^2$ , а остальные проекции могут быть получены из  $n-1$  известных.

Для построения гиперплоскости рассмотрена ковариационная матрица погрешностей ИНС, диагональными элементами которой являются среднеквадратические отклонения координат и скорости КАДЗВ в проекциях на оси орбитальной системы координат. Критерий оптимальности (1) в данном случае будет иметь вид:

$$I_{обц} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( l_1^2 \sigma_{x_i}^2 + l_2^2 \sigma_{y_i}^2 + l_3^2 \sigma_{z_i}^2 + l_4^2 \sigma_{\dot{x}_i}^2 + l_5^2 \sigma_{\dot{y}_i}^2 + l_6^2 \sigma_{\dot{z}_i}^2 \right). \quad (3)$$

По методике определения оптимальных программ размещения СНО в случае отсутствия случайных возмущений, действующих на ИНС [2], определяются программы оптимального размещения СНО для предельных значений (0 и 1) весовых коэффициентов:

$$l_1^2 = 1, \quad l_2^2 = l_3^2 = l_4^2 = l_5^2 = l_6^2 = 0, \quad (4)$$

$$l_2^2 = 1, \quad l_1^2 = l_3^2 = l_4^2 = l_5^2 = l_6^2 = 0, \quad (5)$$

$$l_3^2 = 1, \quad l_1^2 = l_2^2 = l_4^2 = l_5^2 = l_6^2 = 0, \quad (6)$$

$$l_4^2 = 1, \quad l_1^2 = l_2^2 = l_3^2 = l_5^2 = l_6^2 = 0, \quad (7)$$

$$l_5^2 = 1, \quad l_1^2 = l_2^2 = l_3^2 = l_4^2 = l_6^2 = 0, \quad (8)$$

$$l_6^2 = 1, \quad l_1^2 = l_2^2 = l_3^2 = l_4^2 = l_5^2 = 0. \quad (9)$$

Анализ программ оптимального размещения СНО для комбинаций весовых коэффициентов (4)-(9) показал следующее

Программа 1 оптимального размещения СНО для комбинации весовых коэффициентов (4) подчиняется правилу:

$$i_j = j \frac{N}{N_{\Sigma} + 1}; \quad j = 1, \dots, N_{\Sigma}, \quad (10)$$

где  $i_j$  - дискретный момент времени проведения  $i_j$ -го СНО;  $N_{\Sigma}$  - количество СНО, размещаемых на интервале планирования и определяемое ограничениями на трудоемкость навигации [2].

Программа 2, использующая (5), аналогична программе с (7) и подчиняется правилу:

$$\begin{cases} i_j = \frac{1}{2} j \frac{N}{N_{\text{суммарное}}}, & \text{если } N_{\Sigma} < N_{\text{суммарное}} \\ i_j = j \frac{N}{N_{\Sigma} + 1}, & \text{если } N_{\Sigma} \geq N_{\text{суммарное}} \end{cases} \quad (11)$$

где  $N_{\text{суммарное}}$  - протяженность интервала планирования выраженная в витках.

Программа 3, использующая (6), аналогична программе для (8) и подчиняется правилу:

$$\begin{cases} i_j = \left( \frac{2j-1}{4} \right) \frac{N}{N_{\text{суммарное}}}, & \text{если } N_{\Sigma} < 2N_{\text{суммарное}} \\ i_j = j \frac{N}{N_{\Sigma} + 1}, & \text{если } N_{\Sigma} \geq 2N_{\text{суммарное}} \end{cases} \quad (12)$$

Программа 4, использующая (9), подчиняется правилу:

$$\begin{cases} i_j = \frac{1}{2} (j-1) \frac{N}{N_{\text{суммарное}}}, & \text{если } N_{\Sigma} < 3N_{\text{суммарное}} \\ i_j = (j-1) \frac{N}{N_{\Sigma} + 1}, & \text{если } N_{\Sigma} \geq 3N_{\text{суммарное}} \end{cases} \quad (13)$$

Имея программы оптимального размещения СНО для предельных значений весовых коэффициентов (10)-(13), можно установить, при каких, отличных от предельных, значениях весовых коэффициентов будет оптимальной та или иная программа. Для этого при фиксированном весовом коэффициенте  $l_1^2 = 1$  варьировался весовой коэффициент  $l_2^2$  (затем при фиксированном  $l_1^2 = 1$  варьировался весовой коэффициент  $l_3^2$  и т.д.).

Таким образом определялось, при каком значении комбинации коэффициентов оптимальное размещение СНО по Программе 1 изменялось на оптимальное размещение СНО по Программе 2, Программе 3 и Программе 4, соответственно. По результатам строились проекции гиперплоскости F на соответствующие координатные плоскости (рис. 1,2).

Результаты расчетов показали, что гиперплоскость F проецируется на координатные плоскости не в виде прямой, а в виде некоторой области (Программа 1,2 и Программа 1,3 на рис.1,2). Данное обстоятельство можно объяснить наличием погрешностей в численной про-

целудре поиска оптимального размещения СНО. Программы оптимального размещения СНО при сочетании значений весовых коэффициентов, соответствующих треугольной области проекции гиперплоскости, подчиняются соотношению:

$$i_j = \frac{i_j^1 + i_j^*}{2}, \quad (14)$$

где  $i_j^1$  - оптимальный  $j$ -ый момент проведения СНО по Программе 1;  $i_j^*$  - оптимальный  $j$ -ый момент проведения СНО по Программе 2, Программе 3 и Программе 4.



Рис. 1

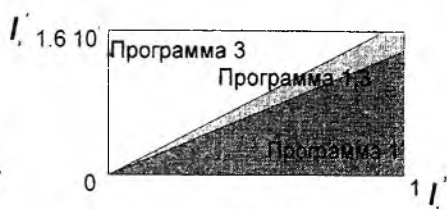


Рис. 2

Таким образом, имея информацию о виде критерия (1) и зная проекции гиперплоскости  $F$ , можно сделать вывод об оптимальном размещении СНО. Данный подход позволяет оперативно выбирать начальное приближение при решении задачи оптимального размещения СНО [2].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоконов И.В. Модели критериального базиса космических систем наблюдения для оптимизации навигации по спутниковым радионавигационным системам. //Сб. трудов VII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов, Самара, 1996, ч.1, с.35-38.
2. Елисеев И.В. Решение задачи оптимального размещения сеансов навигационных определений при отсутствии случайных возмущений // Сб. трудов XI Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов, Самара, 2003, с. 138-144.