

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ НА БОРТУ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2003 А. И. Шулепов, В. Н. Гаврилов, Г. В. Мятишкин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Рассматриваются вопросы, связанные с решением задачи размещения грузов на борту транспортных космических аппаратов.

Как показывает практика эксплуатации космических аппаратов (КА), одним из важнейших требований при доставке грузов является требование, предъявляемое к положению центра масс набора грузов (компоновке грузов) и оказывающее влияние на общее положение центра масс транспортной космической системы (ТКС). В ряде случаев, несмотря на дефицит массы, при загрузке КА приходится прибегать к установке балансирующего груза, что приводит к потерям полезной нагрузки [1].

Таким образом, проблема центровки ТКС при доставке грузов является задачей оптимизации размещения геометрических объектов.

Формы корпусов отсеков ТКС и грузов представляют сложные поверхности и описываются уравнениями не ниже второго порядка. Область поиска оптимума в таких задачах описывается некоторой невыпуклой гиперповерхностью высокого порядка и часто является многосвязной, что усложняет отыскание оптимума и позволяет говорить только об отыскании рационального решения.

В данной работе рассматривается метод рационального размещения грузов, когда за критерий оптимизации принимается требование к центровке ТКС.

Под рациональным размещением грузов понимается упорядоченная совокупность геометрических тел, размещенных внутри или на поверхности ТКС, и удовлетворяющая заданным требованиям. Задача заключается в определении положения каждого тела относительно оболочки и поверхности закрепления в выбранной системе координат.

Для решения задачи приняты следующие допущения. Решение ищется в декартовой прямоугольной системе координат (X, Y, Z). Размещаемые грузы и отсеки ТКС в общем виде описываются уравнением

$$(A \times r) \cdot r + 2 \cdot a \times r + b = 0, \quad (1)$$

где  $A$  – аффинор с координатами  $A_k^i = a_{ik}$ ;  $i, k = 1, 2, 3, 4$ ;  $a$  – вектор с координатами  $a_i = a_{i4}$ .

Объем, ограниченный оболочками отсека, превосходит сумму объема размещаемых грузов.

К расположению грузов могут быть предъявлены требования, ограничивающие взаимное положение грузов относительно друг друга и их положение относительно оболочки корпуса отсека. Ограничения на размещения грузов позволяют предусмотреть возможность крепления с помощью такелажных узлов, расположенных на поверхности грузов и пола, обеспечить необходимые зазоры (например, в зоне работы кром-балки, доступ к узлам крепления грузов, открытие дверей вовнутрь кабины космического аппарата и т. д.).

Для получения компоновки грузов с заданным положением центра масс отсека ТКС используем следующие соотношения:

$$\Theta(r) = \min_{r \in G} |r_3 - \sum m_i r_i / \sum m_i|; i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$\Phi_i(r_i) - R_i \leq 0; \quad (3)$$

.....

$$\Phi_i(r_i) \leq 0, \quad (4)$$



где  $\Theta(\mathbf{r})$  - функция цели;  $\Phi(\mathbf{r}_i)$  - ограничения на условие существования компоновки грузов и размещение в определенных местах;  $n$  - количество грузов;  $\mathbf{r}$  - вектор положения груза;  $m_i$  - масса груза;  $\mathbf{r}_3$  - заданный вектор центра масс грузового отсека;  $R_i$  - заданное расстояние до поверхности;  $G$  - множество, характеризующее область допустимых решений;  $l$  - число ограничений.

Выражение (3) определяет группу требований на размещение грузов, которая предусматривает возможность крепления, обеспечения доступа к такелажным узлам, зазоры для прохода и т. д. и представляет ограничения на размещение.

Выражение (4) является аналитическим условием непересечения грузов друг с другом и попадания внутрь грузового отсека.

Многopараметричность рассматриваемой задачи создает серьезные трудности при разработке алгоритмов автоматизированного размещения грузов. Традиционный способ погрузочно-разгрузочных работ подсказывает простой эвристический подход, позволяющий снизить размерность задачи: грузы размещаются последовательно один за другим. Вектор состояния  $\mathbf{r}^0$ , оптимизирующий функцию цели (2), может быть получен последовательным применением итерационной формулы

$$\Theta_k(\mathbf{r}_1^0, \mathbf{r}_2^0, \dots, \mathbf{r}_k^0) = \min_{\mathbf{r}_k \in G_k} \left| \mathbf{r}_3 - \left( \sum_{i=1}^k \mathbf{r}_i m_i + \mathbf{r}_k m_k \right) / \sum_{i=1}^k m_i \right|;$$

$$\Theta(\mathbf{r}^0) = \Theta_n(\mathbf{r}_1^0, \mathbf{r}_2^0, \dots, \mathbf{r}_n^0); \quad (5)$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Здесь множество  $G$ , характеризующее область допустимых решений, определяется соотношением  $G = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_k \dots \cap G_n$ . Каждая итерация заключается в оптимизации функции цели по параметрам размещения только одного очередного груза. Ранее размещенные грузы при этом считаются неподвижными.

При произвольном порядке размещения полученное значение функции цели является локальным экстремумом. Упорядоченный

выбор последовательности  $\{\mu\}$  размещения грузов позволит приблизить решение к оптимальному.

Считая, что отклонение центра масс размещаемых грузов пропорционально статическому моменту  $m_i \cdot R_c$  и будет тем меньше, чем меньше масса последних размещаемых тел, можно записать порядок выбора грузов в виде последовательности

$$m_1 \geq m_2 \geq m_3, \dots, \geq m_n. \quad (6)$$

Дополнительная сложность в решении задачи автоматизированного размещения грузов заключается в том, что область допустимых решений  $G_k$  является многосвязной.

Для преодоления этой сложности применяется прием регуляризации, заключающийся во временном снятии ограничений (3) и (4) на размещение. После определения экстремума в регулярной области осуществляется переход в область допустимых решений  $G_k$ , если параметры размещения не принадлежат этой области. Таким образом, задача решается в два этапа:

$$\Theta_k(\mathbf{r}_k^p) = \min_{\mathbf{r}_k \in G} \Theta(\mathbf{r}_k). \quad (7)$$

$$\Theta_k(\mathbf{r}_k^p, \mathbf{r}_k^p) = \min_{\mathbf{r}_k \in G_k} |\mathbf{r}_k^p - \mathbf{r}_k| \leq \xi, \quad (8)$$

т.е. на каждом шаге ищется вектор в области допустимых решений, ближайших к вектору размещения, сводящий центр масс грузов к заданному с точностью  $\xi$ .

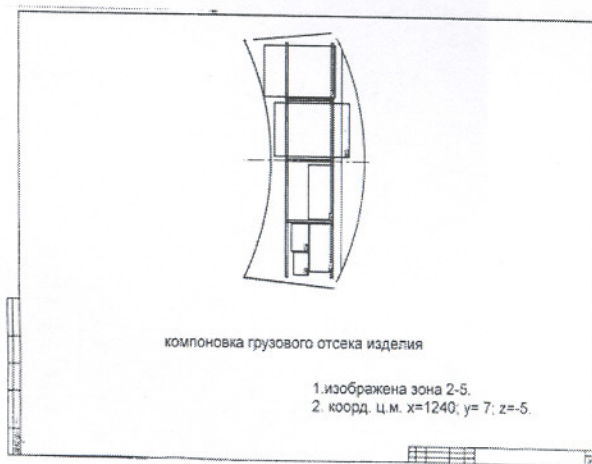


Рис. 1. Фрагмент схематического чертежа компоновки грузов отсека КА



На рисунке 1 показан фрагмент схематического чертежа компоновки грузового отсека КА, полученной с помощью автоматизированного решения задачи размещения грузов на основе разработанного выше метода.

### Список литературы

1. Гаврилов В. Н. Автоматизированная компоновка приборных отсеков летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1988. - 136 с.

## **AUTOMATED CARGO ACCOMMODATION ABOARD TRANSPORT SPACE VEHICLES**

© 2003 A. I. Shulepov, V. N. Gavrilov, G. V. Miatishkin

Samara State Aerospace University

Problems associated with the accommodation of cargo aboard transport space vehicles are dealt with.