

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ
В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ ПРИБОРНОГО ОТСЕКА

От размещения приборов в отсеке зависят динамические, весовые и эксплуатационные характеристики отсека. В связи с этим, к размещению приборов можно предъявить ряд различных требований, характеризующих отсек. Некоторые из них могут быть выражены аналитически в виде функций цели в задаче оптимальной компоновки приборного отсека с применением ЭЦВМ. Ниже рассмотрены наиболее распространенные требования, предъявленные к приборным отсекам.

К динамическим относятся требования центровки и балансировки отсека. Часто требуется, чтобы центр тяжести отсека максимально приближался к заданной точке. Аналитически это требование выражается формулой

$$F_1 = \min_{u_i} \left| \left(\sum_{i=1}^n u_i m_i \right) / \sum_{i=1}^n m_i - u^* \right|, \quad (1)$$

где $u_i = (x_i, y_i, z_i)$ - вектор положения i -го прибора;

m_i - масса прибора;

u^* - заданное положение центра тяжести.

Принят многошаговый процесс решения, где на каждом шаге ищется

$$f_{1k} = \min_{u_k \in D} \left| \left(\sum_{i=1}^{k-1} u_i m_i + u_k m_k \right) / \sum_{i=1}^n m_i - u^* \right|, \quad (2)$$

где u_k - вектор рассматриваемого элемента;

D - область допустимых решений.

Рекуррентное соотношение представляет собой минимум функции F_1 по одному элементу u_k , и позволяет получить координаты каждого из элементов компоновки. Алгоритм определения координат элементов подробно описан в работе [1].

В некоторых случаях балансировка отсека требует равенства нулю центробежных моментов инерции. Это требование записывается в виде:

$$F_2 = \min_{u_i} \left\{ \left| \sum_{i=1}^n x_i y_i m_i \right| + \left| \sum_{i=1}^n x_i z_i m_i \right| + \left| \sum_{i=1}^n y_i z_i m_i \right| \right\}. \quad (3)$$

Получение минимума функции по одному элементу в регулярной области поиска приводит к решению системы:

$$\begin{aligned} x_k y_k &= - \left(\sum_{i=1}^{k-1} x_i y_i m_i \right) / m_k = A_1; \\ x_k z_k &= - \left(\sum_{i=1}^{k-1} x_i z_i m_i \right) / m_k = A_2; \\ y_k z_k &= - \left(\sum_{i=1}^{k-1} y_i z_i m_i \right) / m_k = A_3. \end{aligned} \quad (4)$$

В общем случае система не имеет действительных корней, по этому решение выбрано в виде:

$$\begin{aligned} x_k &= \begin{cases} \sqrt{|A_2 A_3 / A_1|}, & \text{если } A_1 \neq 0; \\ c_1, & \text{если } A_1 = 0; \end{cases} \\ y_k &= \begin{cases} \text{sign}(\max\{A_1, A_3\}) \cdot \sqrt{|A_1 A_3 / A_2|}, & \text{если } A_2 \neq 0; \\ c_2, & \text{если } A_2 = 0; \end{cases} \\ z_k &= \begin{cases} \text{sign } A_2 \sqrt{|A_1 A_2 / A_3|}, & \text{если } A_3 \neq 0; \\ c_3, & \text{если } A_3 = 0; \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

где c_1, c_2, c_3 - заданные константы.

Решение (5) не удовлетворяет системе (4), но сводит к нулю два из трех центробежных моментов инерции, в том числе - максимальный. Алгоритм перехода из регулярной области поиска в область допустимых решений приведен в [1].

Иногда задача балансировки состоит в уравнивании моментов инерции относительно двух осей. Это требование выражено функцией

$$F_3 = \min_{u_i} \left| \sum_{i=1}^n [(y_i^2 - z_i^2) m_i + (J_{z_i} - J_{y_i})] \right|, \quad (6)$$

где J_{z_i}, J_{y_i} - собственные моменты инерции прибора.

Функция не зависит от координаты x_i , поэтому последняя должна быть определена другим условием, например, получением плотной компоновки. Минимум по одному элементу получается градиентным методом.

Минимальный вес отсека может быть достигнут за счет уменьшения длины коммуникаций. Условие минимизации веса связей между приборами выражено функцией:

$$F_4 = \min_{u_i} \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} g_{ij} |u_i - u_j|, \quad (7)$$

где g_{ij} - погонный вес связи между приборами i и j .

Минимум по одному элементу

$$f_{4k} = \min_{u_k \in D} \sum_{j=1}^{n-1} g_{kj} |u_k - u_j| \quad (8)$$

ищется градиентным методом. При этом за начальное приближение принимается:

$$\begin{aligned} x_k^0 &= \left(\sum_{j=1}^{n-1} g_{kj} x_j \right) / \sum_{j=1}^{n-1} g_{kj}; \\ y_k^0 &= \left(\sum_{j=1}^{n-1} g_{kj} y_j \right) / \sum_{j=1}^{n-1} g_{kj}; \\ z_k^0 &= \left(\sum_{j=1}^{n-1} g_{kj} z_j \right) / \sum_{j=1}^{n-1} g_{kj}. \end{aligned} \quad (9)$$

Возможно снижение веса отсека за счет уменьшения моментов массовых сил от приборов, т.е. минимизации произведений масс приборов на расстояния до оболочки. Целевая функция, удовлетворяющая этому требованию

$$F_5 = \min_{u_i} \sum_{i=1}^n \left[m_i |u_i (R/|u_i| - 1)| \right], \quad (10)$$

где R - радиус шара, целиком включающего объем компоновки.

Минимум по одному элементу ищется методом перебора на сетке для функции

$$f_{5k} = \min_{u_k \in D} |u_k (R/|u_k| - 1)|. \quad (11)$$

Решение не однозначно, поэтому целесообразно использовать функцию F_5 совместно с условием плотной компоновки.

Требование плотной компоновки также является весовым требованием, так как его выполнение уменьшает объем, а следовательно, и вес отсека. Это требование может быть реализовано с использованием функции F_4 при $y_{ij} = 1$ для всех i и j . Один из вариантов реализации требования плотной компоновки, отличный от предложенного, представлен работой [2]. Требование плотной компоновки редко является определяющим при проектировании отсека. Обычно объем отсека и состав компонуемых приборов заданы и незначительно меняются в процессе решения. При получении компоновки необходимо обеспечить эксплуатационные и технологические требования, предусматривающие прокладку кабелей между приборами, зазоры для конвективного теплообмена в отсеке и обслуживания приборов, свободное пространство в отсеке для последующих доработок, связанных с установкой новых приборов. Поэтому объектами компоновки должны быть элементы с увеличенными размерами. Коэффициент увеличения размеров

прибора зависит от типа отсека и компокуемых приборов и может быть определен при проектировании.

Требования к размещению, накладываемые взаимовлиянием приборов, условиями сборки или необходимостью проверок, реализуются введением ограничений типа неравенств:

$$a_{m_i} x_i + b_{m_i} y_i + c_{m_i} z_i + d_{m_i} \leq 0. \quad (I2)$$

Эти условия, вместе с тривиальными условиями непересечения приборов и попадания приборов внутрь оболочки, определяют область допустимых решений.

Если задана одна из функций F_1, F_2, \dots, F_5 , то для решения может быть применен алгоритм, приведенный в [1]. В случае необходимости выполнения двух и более условий, описанных функциями цели, возникают трудности, связанные с решением многокритериальных задач. Принципиально все перечисленные функции могут быть объединены одним весовым критерием. Можно, например, определить веса балансировочных грузов, обеспечивающих наилучшее выполнение динамических требований, и включить эти веса как составляющие в общий весовой критерий. Такой путь связан с большими вычислительными трудностями и поэтому пока не был реализован. Более простой путь решения описан в работе [3]. Он заключается в выборе определяющей функции цели, которая используется для получения первого варианта компоновки. Полученная компоновка уточняется с целью удовлетворения остальным функциям в априорно заданных пределах.

Л и т е р а т у р а

1. Г а в р и л о в В.Н. Оптимальное размещение элементов в приборных отсеках летательных аппаратов. — В сб.: "Оптимальное проектирование авиационных конструкций", вып. I, Куйбышев, 1973, с. 29-36.
2. Г а л а т а А.Я., С т о я н Ю.Г. О плотной упаковке параллелепипедов произвольных размеров в параллелепипеде наименьшего размера. "Кибернетика", 1972, № 2.
3. Г а в р и л о в В.Н. Алгоритмы получения допустимого решения при минимизации нескольких функций. — В сб.: "Материалы научно-технической конференции", КуАИ, 1972.