

УДК 621.4: 629.76

А.С.Корнилов (асп., каф. КГМ), Г.П.Поршнев, д.т.н., проф.

## МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СОТР ПЛАНЕТОХОДОВ

При исследовании внеземных объектов широкое применение нашли безэкипажные транспортные средства – планетоходы. Как и для всех космических аппаратов, любой отказ практически не устраним, поэтому к изделию предъявляют жесткие требования по надежности и работоспособности. В состав планетоходов входят не только средства передвижения, ориентации, исследования, но и системы, которые обеспечивают требуемые режимы работы. Одной из них является система обеспечения температурных режимов (СОТР). В состав СОТР входят: теплоизоляция, терморегулирующие покрытия, радиаторы, источники тепловыделения. В реализованных конструкциях на СОТР приходится до 10% общего веса планетохода и до 15% расхода энергии. Задача оптимизации СОТР состоит в снижении массы и энергопотребления системы путем вариации ее параметров.

СОТР планетоходов характеризуют массой  $M$  и энергопотреблением  $Q$ .

Суммарная масса СОТР складывается из масс всех составляющих системы. Причем массы теплоизоляции, теплообменника, нагревателей зависят от ряда определяющих параметров  $X$ : типа и толщины теплоизоляции; типа, материала и площади теплообменника; термооптических характеристик поверхностей. Для каждого конкретного элемента СОТР можно составить набор определяющих параметров.

Энергопотребление  $Q$  формируется за счет подогрева блоков до нижнего уровня допустимой температуры. Его величина также напрямую зависит от значений определяющих параметров. Энергия  $Q$  обеспечивается либо бортовым источником энергии, либо источником энергии, предусмотренным специально для этих целей. Несмотря на разнообразие источников энергии, можно однозначно определить их массу, при которой они обеспечивают требуемую мощность. В итоге полная масса СОТР:

$$M_{\text{СОТР}} = M(X) + M_{\text{ИС}}(Q(X), X_1),$$

где  $X_1$  – параметры используемого источника питания.

Добавив ограничения по максимальной температуре блоков, получим стандартную задачу условной оптимизации:

$$\min(M_{\text{СОТР}}(X)); \quad T_i(X) \leq T_{\text{МАХ}}^i, \quad i = 1 \dots n,$$

где  $T_i(X)$  — максимальная температура  $i$ -го блока;  $T_{\text{МАХ}}^i$  — максимально допустимая температура для  $i$ -го блока.

Приведем условную задачу к безусловной, для чего введем штрафные функции:

$$F(X, \mu) = M_{\text{СОТР}}(X) + \sum_n \mu \cdot \phi_i(X),$$

где  $\phi_i(X) = 0$  при  $T < T_{\text{МАХ}}$ ;

$$\phi_i(X) = (T_{\text{МАХ}} - T_i(X))^3 \quad \text{при } T > T_{\text{МАХ}}.$$

$\mu$  – весовой коэффициент.

Процесс оптимизации проводим в несколько этапов, постепенно увеличивая  $\mu$ .

Для выбора метода оптимизации определяющие параметры разобьем на две группы: параметры с непрерывным спектром значений (толщина теплоизоляции, степень черноты терморегулирующих покрытий внутри оболочки) и параметры с дискретными значениями (тип источника питания, терморегулирующее покрытие наружной части оболочки). В данном случае целесообразен составной метод, в который последовательно входят метод

ветвей (для дискретных параметров) и метод восхождения по градиенту (для параметров с непрерывным спектром значений).

Оптимизация СОТР включает следующие этапы:

- разработка и проверка тепловой модели аппарата;
- выбор определяющих параметров из конструктивных соображений;
- рассортировку параметров на дискретные и непрерывные;
- построение (методом ветвей) всех возможных сочетаний дискретных параметров;
- оптимизацию значений непрерывных параметров для каждой ветви в отдельности;
- сравнение результатов и выбор оптимальной ветви.

Набор определяющих параметров на различных стадиях проектирования планетохода значительно изменяется; если в начале разработки важно определить оптимальный состав СОТР (наличие или отсутствие радиатора, теплоизоляции и т. д.), то в дальнейшем требуется оптимизировать параметры тех частей, которые вписываются в проектируемую конструкцию.

Таким образом была оптимизирована СОТР планетохода ПрОП “Фобос” на начальной стадии проектирования и в процессе испытаний его теплового эквивалента. Из результатов оптимизации видно, что при данной постановке задачи существуют минимумы в поведении функции  $M_{СОТР}$  и при этом приведенный метод выбора параметров СОТР позволяет нам этих минимумов достигнуть.