

## Построение алгоритма управления включением/выключением импульсных двигателей системы исполнительных органов спуска возвращаемого аппарата пилотируемого транспортного корабля нового поколения.

О.Е. Королев<sup>1,2</sup>, И.С. Ильющенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ракетно-космическая корпорация “Энергия” им С.П. Королёва

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

В данной работе рассматривается система из 14 импульсных двигателей. Для них необходимо выбрать схему включения/выключения, исходя из следующих условий: минимальное время работы двигателя и паузы составляет  $\tau=5\text{мс}$ .

Суть задачи заключается в том, чтобы определить схему включения двигателей на некотором периоде  $T$  для создания момента  $\vec{M}$ . Для этого нужно сначала определить общее время работы двигателей ( $t_1 = \sum t_{\text{вкл}}$ ) и общее время паузы ( $t_2 = \sum t_{\text{пауз}}$ ).

Итак, система уравнений для поиска момента имеет вид:

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^{14} \frac{\vec{M}_{i0}}{T} t_1 \quad (1)$$

При условиях:

$$t_1 + t_2 = T \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{14} c_i \frac{t_1}{T} + \sum_{i=15}^{28} 0 \frac{t_2}{T} \rightarrow \min \quad (3)$$

Теперь учтем что  $\frac{t_1}{\tau}$  – целое число и перепишем систему

$$\vec{M} = \sum_{i=1}^{14} \frac{\vec{M}_{i0}}{T} k_i \quad (4)$$

$$k_i + r_i = \frac{T}{\tau} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{14} c_i k_i = < c, x > \rightarrow \min \quad (6)$$

$$k_i, r_i - \text{натуральные числа и } 0 \quad (7)$$

Данную систему можно представить в виде таблицы, с которой будут производиться дальнейшие преобразования согласно алгоритму Гомори [1]. Задача подобного рода уже решалась, но для двигателей переменной тяги [2].

Таблица, состоящая из коэффициентов системы (Табл. 1), преобразуется с помощью метода Гаусса к треугольно-диагональному виду, затем начинается решение задачи с помощью двойственного симплекс-метода. Это делается с помощью двух правил:

**Правило 1.** Если какая-либо координата нулевого столбца  $\alpha_{0s}$  из 1-ых  $n$  координат отрицательна (не считая  $x_0$ ), то вектор  $a^s$  следует вывести из базиса (если их несколько, то выбирается координата с минимальным номером).

**Правило 2.** Если решено вектор  $a^s$  вывести из базиса, то следует рассмотреть строку  $s$  симплексной таблицы и найти среди  $\alpha_{js} < 0$  такой  $j=k$ , что  $\frac{\beta_k}{\alpha_{ks}} > \frac{\beta_1}{\alpha_{js}}$  для любого  $j \in \omega$ .

После того как найден минимум задачи, решение, находящееся в первом столбце симплекс-таблицы, проверяется на целочисленность, после этого к таблице добавляется строка:

$$-\{\alpha_{s0}\}, -\{\alpha_{s1}\}, -\{\alpha_{s2}\}, \dots, -\{\alpha_{sm}\}$$

где  $s$  номер первой нецелой переменной.

Далее снова преобразуем таблицу по правилам 1, 2 чтобы найти новый минимум задачи, это делается до тех пор пока все переменные не будут целочисленными. Можно рассматривать погрешность, создаваемую системой двигателей на каждой итерации, и выбирать схему включения исходя из некоторого критерия, применяемого к ошибке (Рис. 1).

Есть возможность избежать неопределенности момента останова алгоритма Гомори. Для этого необходимо учесть что непосредственно целочисленного решения у какой-либо конкретной задачи может и не быть, и добавить погрешность как в целевую функцию, так и в сами линейные ограничения, при этом не требуя целочисленности переменных погрешности (Табл. 2).

Под погрешность выделено 6 столбцов, поскольку все переменные в задаче в целом должны быть положительны после каждой итерации. Это нововведение позволяет осуществлять различные вариации приоритетов точность — экономия, а также обеспечивает стабильность алгоритма (решение существует при любых входных данных) и быстроту его завершения.

После прогонки алгоритма по различным значениям вектора требуемого момента для разных периодов усреднения стало очевидным, что чем больше период, тем больше вариативность управления, то есть способность двигателей создать большее количество моментов с заданной высокой точностью.

0	1	.	1	0	.	.	0
$M_x$	-0.033	.	.	0	.	.	.
$M_y$	1.277	.	.	0	.	.	.
$M_z$	1.379	.	.	0	.	.	.
T	1	0	.	1	0	.	.
.	0	1	0	.	1	0	.
T	0	.	0	1	0	.	1

Табл. 1

0	1	.	1	0	.	.	0	1	1	1	1	1	1
$M_x$	-0.033	.	.	0	.	.	.	1	0	0	-1	0	0
$M_y$	1.277	.	.	0	.	.	.	0	1	0	0	-1	0
$M_z$	1.379	.	.	0	.	.	.	0	0	1	0	0	-1
T	1	0	.	1	0	.	.	0	0	0	0	0	0
.	0	1	0	.	1	0	.	.	.	.	.	.	.
.	0	0	1	0	.	1	0	.	.	.	.	.	.
T	0	.	0	1	0	.	1	0	0	0	0	0	0

Табл. 2

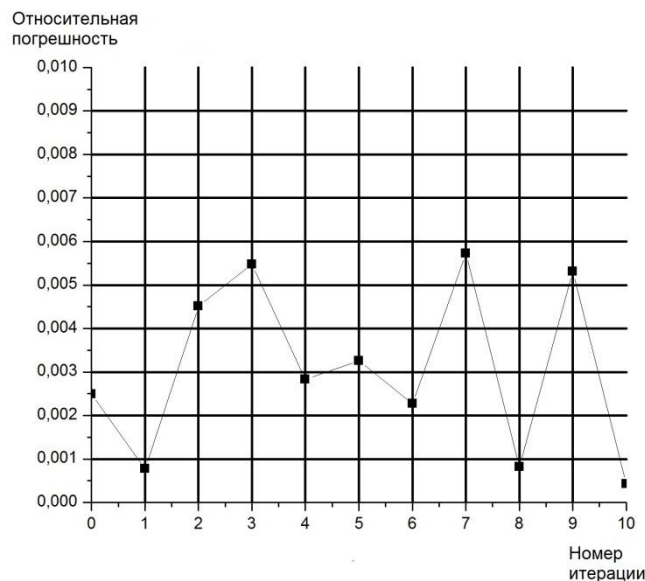


Рис. 1. Значение относительной погрешности для каждой итерации алгоритма Гомори

### **Литература**

1. *Ашманов С.А.* Линейное программирование. М.: Наука, 1981. 304 с
2. *Ильющенко И.С., Сизов А.П.* Выбор схемы включения двигателей космического аппарата для создания требуемого момента при условии минимизации затрат рабочего тела // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010. № 6. Стр. 173-174.