

Кучеров А. С., Куренков В. И., Якищик А. А.

## РЕШЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При создании космических аппаратов (КА) и ракет-носителей (РН), в особенности на ранних стадиях разработки, могут рассматриваться проектные задачи в альтернативной постановке. Так, наряду с задачей определения стартовой массы РН для выведения на опорную орбиту заданной полезной нагрузки, может рассматриваться задача определения массы полезной нагрузки, которая может быть выведена на данную орбиту существующей ракетой-носителем.

При этом число параметров, характеризующих летательный аппарат (ЛА), а также зависимостей между ними, как правило, весьма значительно, что затрудняет формализацию задачи проектирования, т.е. разработку математической модели проектируемого объекта.

Помощь в решении данной проблемы может оказать проблемно-ориентированная система проектирования (ПОСП). В эту систему вводится всё множество параметров, связанных с объектом проектирования, и множество соотношений между этими параметрами. Система автоматически проверяет корректность поставленной задачи и определяет последовательность её решения в зависимости от того, какие параметры летательного аппарата заданы, а какие необходимо найти. После подстановки численных значений известных параметров система находит значения искомым параметров, которые затем могут быть переданы в CAD/CAM/CAE - системы для создания проектного облика разрабатываемого ЛА, а также в системы, моделирующие процесс его целевого функционирования.

Методика построения проблемно-ориентированных автоматизированных систем основана на использовании теории графов и теории отношений [1].

В качестве примера в данной работе рассматривается использование ПОСП для решения задач, связанных с переводом КА с опорной орбиты на орбиту полёта к одной из планет Солнечной системы с помощью разгонного блока (РБ).

В состав параметров математической модели, соответствующей рассматриваемым задачам, входят:  $m_0$  - стартовая масса РБ;  $m_{PN}$  - масса полезной нагрузки (межпланетного КА);  $m_B$  - масса ракетного блока;  $m_T$  - масса топлива;  $m_K$  - масса конструкции РБ;  $dV$  - характеристическая скорость для старта с опорной орбиты на межпланетную орбиту;  $w$  - скорость истечения газов - продуктов сгорания топлива;  $z$  - число Циолковского;  $s$  - конструктивная характеристика РБ;  $p$  - отношение стартовой массы РБ к массе полезной

нагрузки.

Перечисленные параметры являются элементами множества  $U : U = \{m_0, m_{PN}, m_B, m_T, m_K, dV, w, z, s, p\}$ . В ходе постановки задачи в составе множества  $U$  определяют подмножество входных параметров  $U_{\text{ex}}$  (заданных величин) и множество выходных параметров  $U_{\text{вых}}$  (искомых величин).

Уравнения, связывающие параметры РБ, для последующей формализации задачи в терминах ПОСП обозначим буквами  $v$  с числовыми индексами:

$$v_1 : z = \exp\left(\frac{dV}{w}\right);$$

$$v_2 : p = z \frac{s-1}{s-z};$$

$$v_3 : m_0 = m_{PN} p;$$

$$v_4 : m_B = m_0 - m_{PN};$$

$$v_5 : m_T = \frac{s-1}{s} m_B;$$

$$v_6 : m_K = m_B - m_T.$$

Зависимости, связывающие параметры модели, в теории проблемно-ориентированных систем принято называть отношениями. В данном случае множество отношений  $V = \{v_i, i = \overline{1,6}\}$ .

Рассмотрим две задачи, которые могут быть поставлены на описанных множествах  $U$  и  $V$ .

Задача 1 (проектирование РБ). Заданы: масса полезной нагрузки  $m_{PN}$ , характеристическая скорость  $dV$ , скорость истечения газов  $w$ , конструктивные характеристики  $s$ .

Найти: стартовую массу РБ  $m_0$ , массу топлива  $m_T$ , массу конструкции  $m_K$ .

Таким образом, в данной задаче  $U_{\text{ex}} = \{m_{PN}, dV, w, s\}$ ,  $U_{\text{вых}} = \{m_0, m_T, m_K\}$ .

Задача 2 (использование существующего РБ). Заданы:  $dV$ ,  $w$ ,  $s$ ,  $m_K$ .

Найти:  $m_0$ ,  $m_{PN}$ ,  $m_T$ .

Здесь  $U_{\text{ex}} = \{dV, w, s, m_K\}$ ,  $U_{\text{вых}} = \{m_0, m_T, m_{PN}\}$ .

Задание множеств  $U$  и  $V$  определяет двудольный граф  $G = (U, V, E)$ , множество рёбер которого  $E$  обладает тем свойством, что одна из вершин каждого ребра принадлежит множеству  $U$ , а другая – множеству  $V$ . Такой граф отражает связи между переменными,

используемыми в математической модели, и отношениями между ними.

Решение проектной задачи включает следующие этапы [1]:

- определение класса задач на модели  $(V, U)$  и проверка его корректности;
- выделение проблемной задачи  $(U_{ex}, U_{вых})$ , состоящей в отыскании множества  $U_{вых}$

по заданным элементам множества  $U_{ex}$ , и проверка её разрешимости;

- построение минимальной разрешающей системы, т.е. нахождение множества отношений  $F \subseteq V$ , минимально необходимого для решения проблемной задачи;

- определения последовательности решения задачи.

Рассмотренный укрупнённый алгоритм решения задачи был реализован в программном комплексе, разработанном на языке программирования JAVA и протестированном на ряде бортовых систем [2].

На рис. 1 и рис.2 соответственно приведен вид диалоговых окон указанного программного обеспечения, содержащих двудольные графы  $G = (U, V, E)$ , и полученные результаты в виде найденной последовательности решения задач 1 и 2.

Поиск последовательности решения

Анализ модели

Этапы

- Исходный граф
- Без входных вершин
- Паросочетания
- Переориентированный граф
- Граф достижимых вершин

Алгоритм визуализации

- Алгоритм Камада-Кавай
- Алгоритм Фрухтермана-Рейнхольда
- Алгоритм Мейера
- Круговая схема

1) Решите уравнение:  
 $z = \exp(dv/w)$   
Относительно  $z$

2) Решите уравнение:  
 $p = z^2 \cdot (s-1) \cdot (s-z)$   
Относительно  $p$

3) Решите уравнение:  
 $m0 = mPN \cdot p$   
Относительно  $m0$

4) Решите уравнение:  
 $mB = m0 - mPN$   
Относительно  $mB$

5) Решите уравнение:  
 $mT = (s-1) \cdot mB / s$   
Относительно  $mT$

6) Решите уравнение:  
 $mK = mB - mT$   
Относительно  $mK$

Численное решение

Назад

Рисунок 1 – Результат решения задачи 1

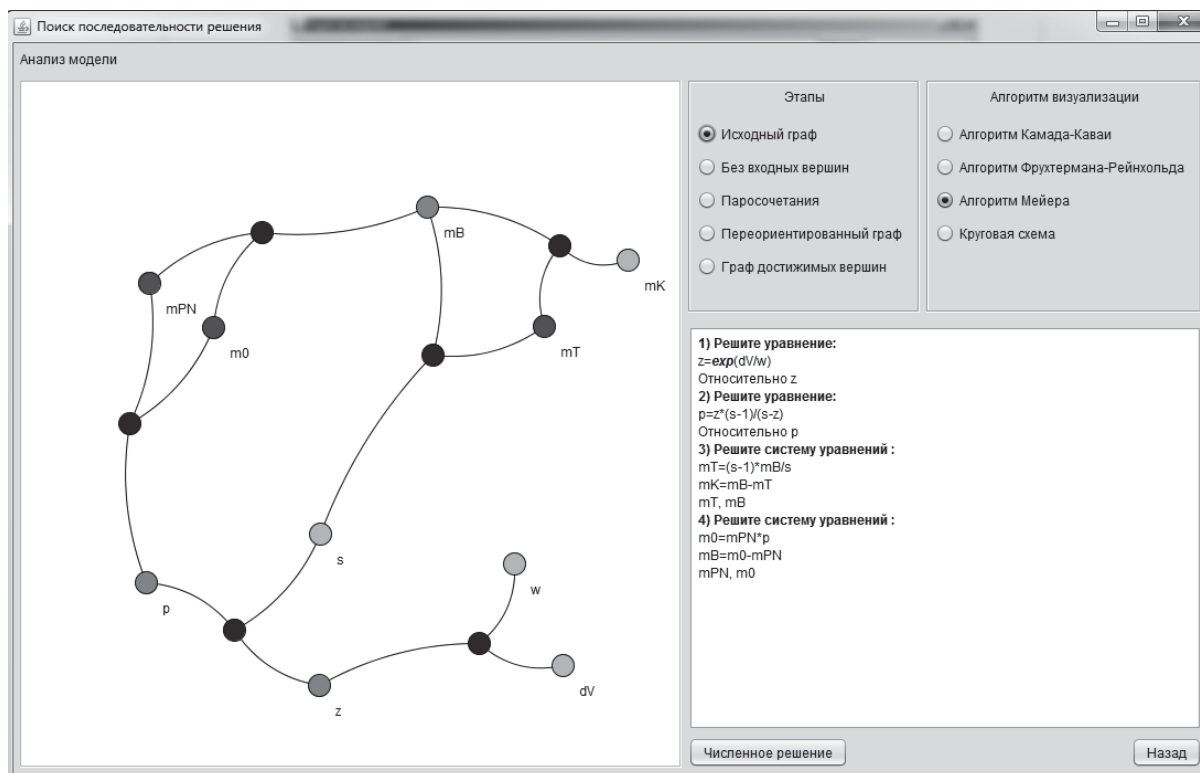


Рисунок 2 – Результат решения задачи 2

Программный комплекс также включает модули, позволяющие осуществлять расчёт значений искомых параметров и передачу их в CAD/CAM/CAE – системы.

### Библиографический список

- 1 Друшляков Ю.И. Теоретические основы программирования: учебное пособие / Ю.И. Друшляков, И.В. Ежова. – М.: МАИ, 1986. – 60 с.
- 2 Alexander S. Kucherov, Vladimir I. Kurenkov, Artem A. Yakishik. Spacecraft Designing with the Aid of Problem-Oriented System Integrated with 3D Design System//Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Recent Advantages in Space Technologies. June 12-14, 2013 Istanbul, Turkey. – P. 523-526.