

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© 2016 Н. Р. Стратилатов¹, В. И. Куренков², А. С. Кучеров², А. А. Якищик²

¹Акционерное общество «РКЦ «Прогресс», г. Самара

²Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва

Изложены методические основы разработки проблемно-ориентированной системы (ПОС) автоматизированного проектирования, позволяющей в интерактивном режиме изменять постановки проектных задач, проводить уточнения проектных параметров и оперативно получать необходимые результаты для формирования проектного облика космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли. Процесс постановки и решения задачи в ПОС автоматизированного проектирования включает следующие этапы: задание параметров, характеризующих объект проектирования, и зависимостей между ними; постановка проектной задачи путём указания подмножества входных параметров (заданных величин) и множества выходных параметров (искомых величин); проверка корректности и разрешимости задачи; определение для каждой переменной уравнения, из которого она может быть найдена; разбиение математической модели на отдельные частные модели; поиск последовательности решения задачи; получение численных значений выходных параметров. Разработка ПОС автоматизированного проектирования может быть выполнена с использованием методов теории множеств и теории графов, что позволяет в дальнейшем автоматизировать процесс решения проектных задач. Рассматриваемая методика реализована в программном комплексе, разработанном на языке программирования Java и позволяющем решать проектные задачи большой размерности. Приведены иллюстрирующие примеры.

Космический аппарат, постановки проектных задач, заимствуемые элементы, входные и выходные параметры, многовариантность, формализация, автоматизация проектирования, проблемно-ориентированная система, теория графов.

В процессе начального этапа проектирования космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возникает множество вопросов, связанных с уточнением и увязкой проектных параметров, которые должны обеспечивать выполнение основных целевых задач КА. Это связано с изменением характеристик каких-либо элементов бортовых систем применительно к проектируемому КА с необходимостью разработки новых элементов или использованию заимствованных, возвратов к прежним проектным решениям и др.

Проектные характеристики различных составных частей КА, как правило, связаны между собой множеством уравнений различного типа в явной и неявной

форме, в виде алгоритмов и др. При традиционном подходе делается постановка задачи проектирования (что дано и что определить), пишется соответствующий алгоритм решения и разрабатывается программное обеспечение. Однако, при изменении постановок задач (например, принято решение об использовании на проектируемом КА солнечной батареи с другого типа КА), алгоритм решения задачи и программное обеспечение должны меняться, что требует дополнительных затрат.

В статье показана возможность автоматизированной постановки и решения проектных задач по выбору основных проектных характеристик КА ДЗЗ.

Цитирование: Стратилатов Н.Р., Куренков В.И., Кучеров А.С., Якищик А.А. Методические основы разработки проблемно-ориентированной системы выбора основных проектных параметров космических аппаратов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15, № 2. С. 68-79. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-68-79

Одним из перспективных путей решения подобного рода задач является разработка специального инструментария, называемая проблемно-ориентированной системой (ПОС) автоматизированного проектирования.

К числу преимуществ ПОС относятся:

- реализация автоматической проверки корректности, разрешимости рассматриваемой проектной задачи и нахождения последовательности её решения;

- обеспечение согласования («увязки») массогабаритных, энергетических, ресурсных и других характеристик целевой аппаратуры, бортовых обеспечивающих систем и КА в целом без проведения множества итераций;

- возможность получения значений массогабаритных, инерционных, энергетических и других проектных параметров КА, обеспечивающих получение заданных целевых характеристик, т.е. оптимизации основных проектных характеристик КА в неявной форме;

- обеспечение многовариантной постановки и решения задач проектирования на заданном множестве параметров;

- возможность использования в процессе проектирования КА заимствуемых систем и элементов, т.е. реализации методов синтеза на основе улучшения характеристик прототипов и на основе использования готовых платформ с установкой целевой аппаратуры;

- осуществление связи ПОС с системами твёрдотельного моделирования и специализированными программами, моделирующими процесс функционирования КА, что позволяет выполнять автоматизированное формирование проектного облика КА, а также оценку его характеристик, таких как периодичность, оперативность и т.п.

Процесс постановки и решения задачи в ПОС автоматизированного проектирования включает следующие этапы:

- 1) задание параметров, характеризующих объект проектирования, и зависимостей между ними;

- 2) постановка проектной задачи;
- 3) проверка корректности задачи;
- 4) определение для каждой переменной уравнения, из которого она может быть найдена;

- 5) разбиение математической модели на отдельные частные модели;

- 6) поиск последовательности решения задачи;

- 7) получение численных значений выходных параметров.

Реализацию этапов будем иллюстрировать примерами.

1. Задание параметров, характеризующих объект проектирования, и зависимостей между ними

При этом могут рассматриваться различные проектные задачи, определённые на одном и том же множестве основных параметров, характеризующих летательный аппарат КА, но различающиеся своей постановкой. В качестве примера рассмотрим следующие две альтернативные задачи.

Задача 1. Определить параметры комплексной двигательной установки (КДУ), предназначенной для придания заданной полезной нагрузке необходимой характеристической скорости.

Задача 2. Определить массу полезной нагрузки, которой с помощью существующей КДУ может быть сообщена необходимая характеристическая скорость.

Обе рассматриваемые задачи характеризуются единым множеством параметров:

$m_{КДУ}$ – масса КДУ, заправленной компонентами топлива;

m_T – масса топлива, заправленного в КДУ;

m_K – масса конструкции КДУ;

$m_{КА}$ – стартовая масса КА;

$m_{ПН}$ – масса полезной нагрузки (за неё принят КА без КДУ);

$J_{уд}$ – удельный импульс топлива и двигателя;
 s – конструктивная характеристика КДУ (рассматриваемой как ракетный блок);
 V_x – потребная характеристическая скорость для проведения манёвров;
 z – число Циолковского;
 p – отношение стартовой массы КА к массе полезной нагрузки.

Параметры являются элементами множества

$$U : U = \{m_0, m_{пн}, m_B, m_T, m_K, \Delta V, w, z, s, p\}.$$

Зависимости, связывающие указанные параметры, для последующей формализации постановки задачи в терминах ПОС обозначим буквами v с числовыми индексами:

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

$$\begin{aligned} v_2 : p &= z \frac{s-1}{s-z}; \\ v_3 : m_{КА} &= m_{пн} p; \\ v_4 : m_{КДУ} &= m_{КА} - m_{пн}; \\ v_5 : m_T &= \frac{s-1}{s} m_{КДУ}; \\ v_6 : m_K &= m_{КДУ} - m_T. \end{aligned} \tag{1}$$

Указанные зависимости в теории проблемно-ориентированных систем принято называть отношениями. В данном случае имеется множество отношений $V = \{v_i, i = \overline{1,6}\}$.

Совокупность множеств U и V образует математическую модель КДУ. Связь между элементами модели показана на схеме (рис. 1). Под вершины нижнего ряда схемы приведены соответствующие им зависимости (1).

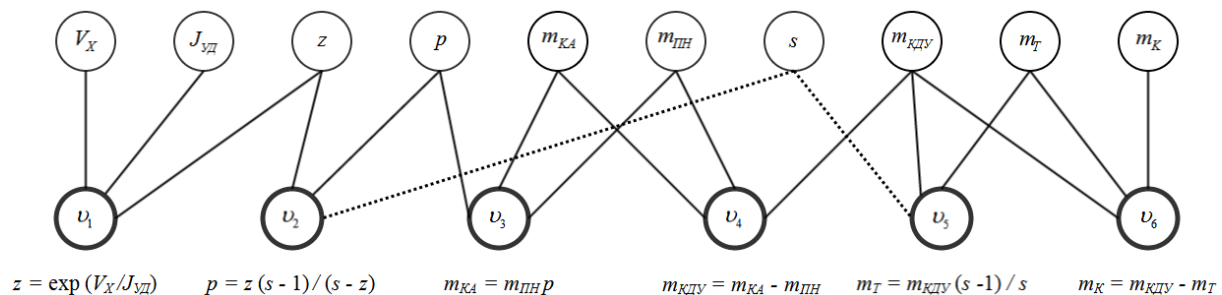


Рис. 1. Схема связей между параметрами и отношениями математической модели

2. Постановка проектной задачи

Постановка задачи осуществляется путём выделения из множества параметров U подмножества входных параметров $U_{вх}$ (заданных величин) и множества выходных параметров $U_{вых}$ (искомых величин).

В задаче 1 даны: $m_{пн}$ – масса полезной нагрузки; $J_{уд}$ – удельный импульс топлива и двигателя; s – конструктивная характеристика КДУ; V_x – потребная ха-

рактеристическая скорость для проведения манёвров.

Необходимо определить: $m_{КДУ}$ – массу заправленной КДУ; m_T – массу топлива, заправленного в КДУ; m_K – массу конструкции КДУ; $m_{КА}$ – стартовую массу КА.

Таким образом,

$$U_{вх} = \{m_{пн}, J_{уд}, s, V_x\},$$

$$U_{вых} = \{m_{КДУ}, m_T, m_K, m_{КА}\}.$$

В задаче 2 даны значения $m_{КДУ}$, m_T , m_K , V_X , $J_{УД}$; необходимо определить значения $m_{КА}$, $m_{ПН}$, s .

Следовательно, здесь
 $U_{вх} = \{m_{КДУ}, m_T, m_K, V_X, J_{УД}\}$,
 $U_{вых} = \{m_{КА}, m_{ПН}, s\}$.

3. Проверка корректности задачи

Как известно [1], задача поставлена корректно, если число уравнений в составленной математической модели равно числу переменных.

Входные параметры являются константами, и после подстановки их значений в уравнения математической модели в этих уравнениях останутся только обозна-

чения параметров-переменных (выходных параметров и результатов промежуточных вычислений). Поэтому удаление из модели обозначений входных параметров позволяет проверить её корректность.

На рис. 2, 3 приведены схемы связей между переменными и отношениями моделей для задачи 1 и задачи 2. Они получены из схемы, представленной на рис. 1, в результате исключения из неё вершин, соответствующих входным параметрам.

Для задачи 2 исключена также вершина v_6 , соответствующая шестому уравнению, которое при данной постановке задачи превратилось в тождество. Заливкой на рис. 2, 3 выделены выходные параметры.

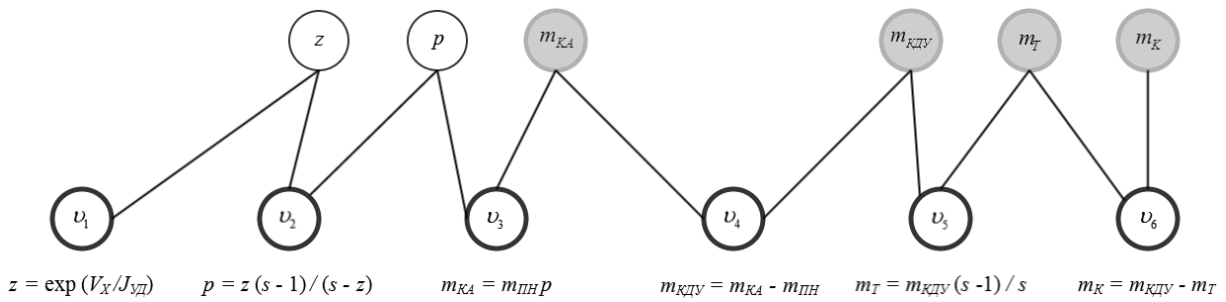


Рис. 2. Схема связей между переменными и отношениями для задачи 1

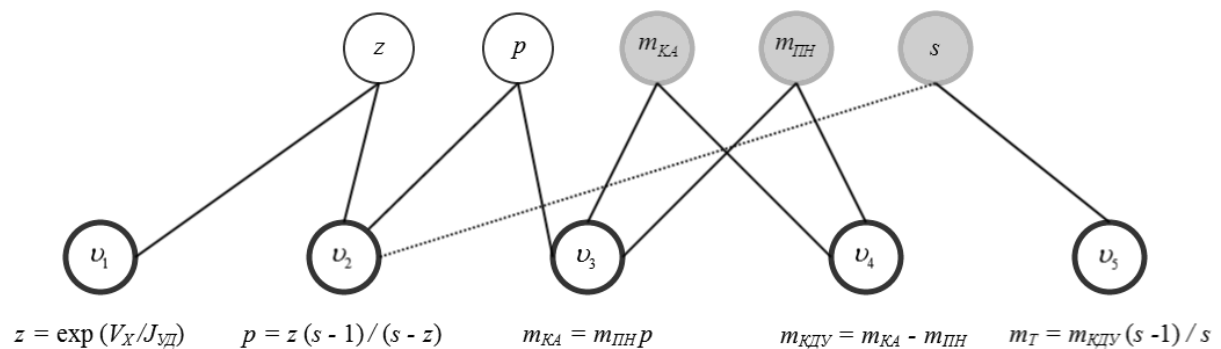


Рис. 3. Схема связей между переменными и отношениями для задачи 2

Можно видеть, что для обеих рассматриваемых задач число переменных равно числу отношений (1), следовательно, задачи поставлены корректно.

4. Определение для каждой переменной уравнения, из которого она может быть найдена

Каждая переменная, используемая в задаче, может фигурировать в нескольких уравнениях. Но при данном наборе ис-

ходных данных она может быть найдена только из одного уравнения или системы уравнений. В корректно поставленной задаче существует хотя бы один полный набор пар типа «уравнение-переменная», ставящий в соответствие каждой переменной уравнение (систему уравнений), из которых она может быть выражена [1].

Указанный набор пар для задачи 1 приведён на рис. 4, где утолщёнными линиями показаны связи в каждой паре.

При этом в задаче 1 существует только один вариант полного набора; при любом другом варианте получаются не-

используемые уравнения и переменные, не связанные ни с одним из уравнений. Так, для варианта, приведённого на рис. 5, переменная m_K не связана ни с одним из уравнений модели и не может быть найдена, а первое из уравнений не связано ни с одной переменной, т.е. не определено, какая переменная из него может быть получена.

Для задачи 2 существуют два варианта полных наборов пар «уравнение-переменная», представленные на рис. 6, 7.

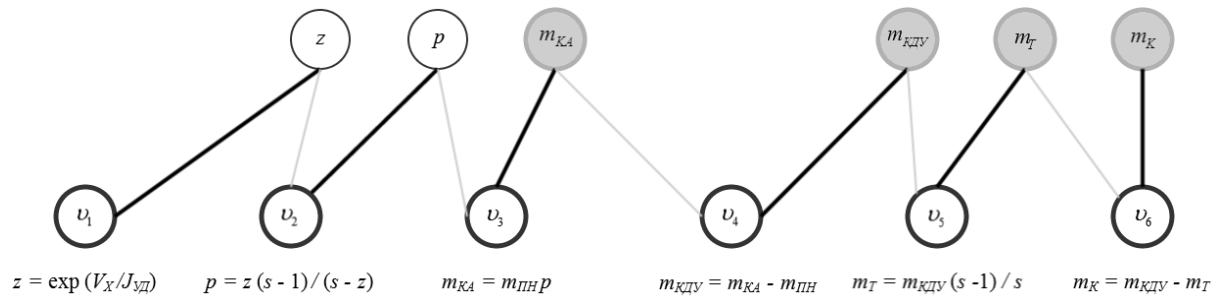


Рис. 4. Набор пар «уравнение-переменная» для задачи 1

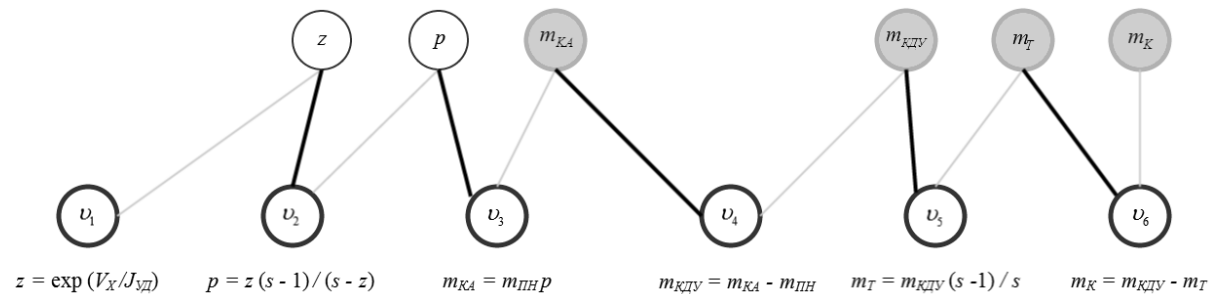


Рис. 5. Некорректный набор пар «уравнение-переменная» для задачи 1

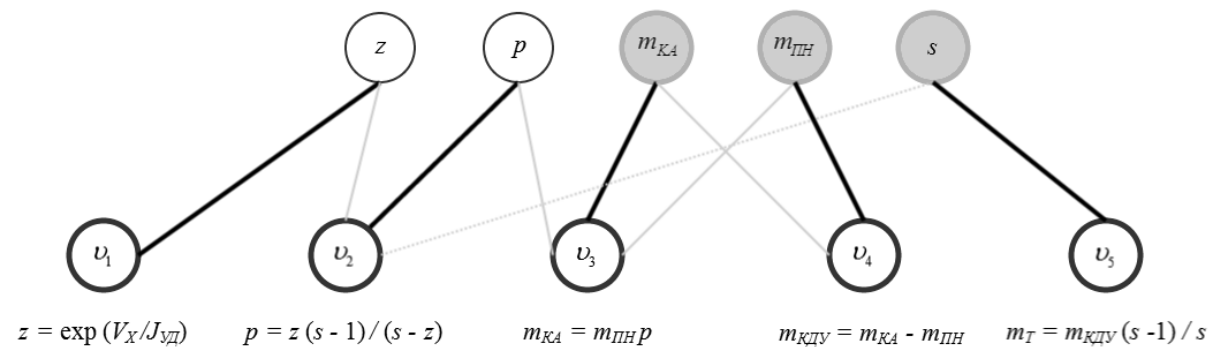


Рис. 6. Набор пар «уравнение-переменная» для задачи 1 (вариант 1)

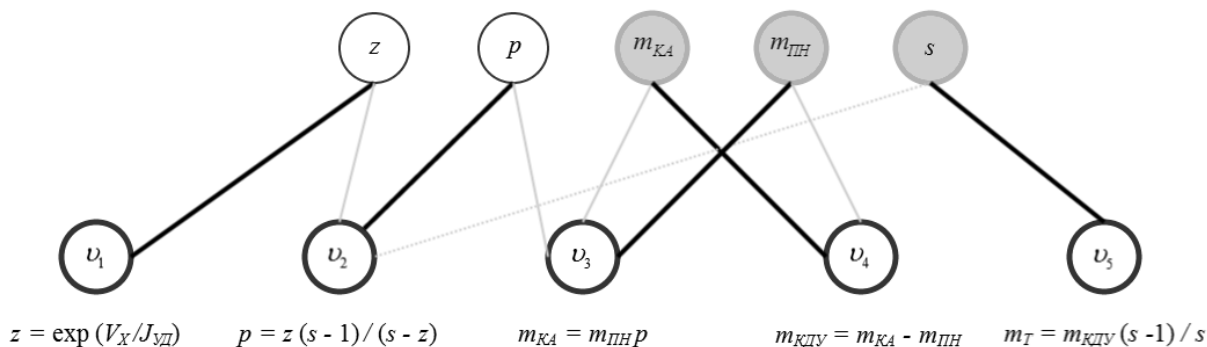


Рис. 7. Набор пар «уравнение-переменная» для задачи 1 (вариант 2)

Можно видеть, что пары $z \rightarrow v_1$, $p \rightarrow v_2$ и $s \rightarrow v_5$ определены однозначно, но пары $m_{KA} \rightarrow v_3$ и $m_{PH} \rightarrow v_4$ могут быть заменены на пары $m_{KA} \rightarrow v_4$ и $m_{PH} \rightarrow v_3$; при этом набор пар по-прежнему останется полным.

На практике поиск полного набора пар осуществляется с помощью методов теории графов.

5. Разбиение математической модели на отдельные частные модели

Математическая модель объекта проектирования может включать десятки и сотни уравнений. Поэтому для решения проектной задачи необходимо опреде-

лить, какие из уравнений, входящих в математическую модель (общую систему уравнений), образуют подсистемы уравнений и, следовательно, должны решаться совместно, а какие являются отдельными уравнениями.

Выделить подсистемы уравнений можно, сравнив все возможные варианты полных наборов пар «уравнение-переменная». Подсистемы образуются теми подгруппами пар, в которых связи между уравнениями и переменными от набора к набору изменяются.

В задаче 1, для которой существует единственный полный набор пар, все уравнения являются независимыми. Что касается задачи 2, то в ней имеется подсистема уравнений, которая на рис. 8 выделена прямоугольником.

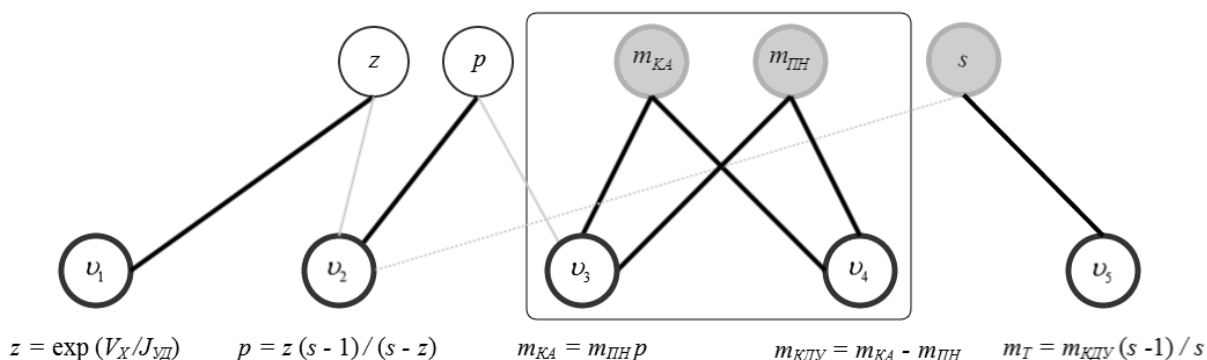


Рис. 8. Подсистема уравнений в задаче 2

6. Поиск последовательности решения задачи

После разделения математической модели на подсистемы уравнений и независимые уравнения необходимо опреде-

лить последовательность их решения. Будем обобщенно называть каждую подсистему или одиночное уравнение блоком. Уравнения, образующие каждый такой блок, решаются независимо от других. Задача данного этапа состоит в том, чтобы

упорядочить набор выделенных блоков таким образом, чтобы, переходя последовательно от одного из них к другому, можно было найти решение для каждого блока.

Последовательности решения задач 1 и 2 приведены на рис. 9, 10 соответственно, где каждый блок выделен прямоугольником. Стрелка, исходящая из вершины, соответствующей каждому уравне-

нию, обозначает тот факт, что при решении данного уравнения будет получено значение переменной, в которую эта стрелка входит. Стрелка же, исходящая из вершины, соответствующей той или иной переменной, показывает, что найденное значение этой переменной используется в уравнении, в вершину которого стрелка входит.

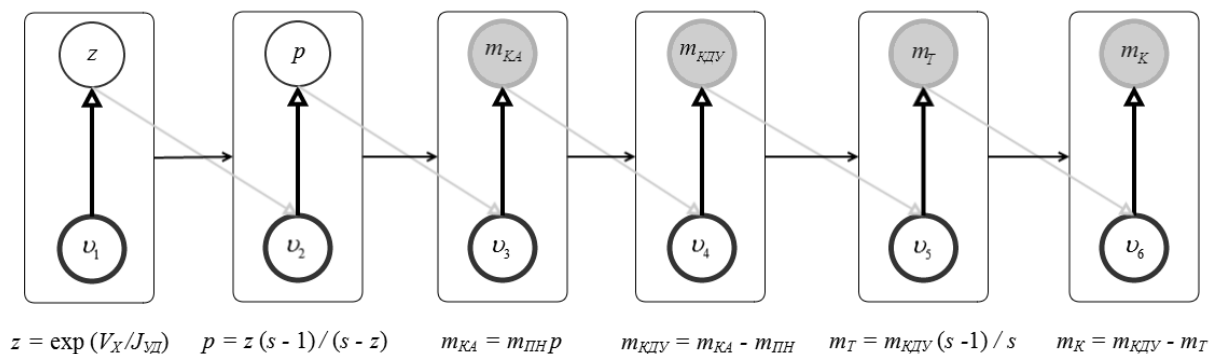


Рис. 9. Последовательность решения задачи 1

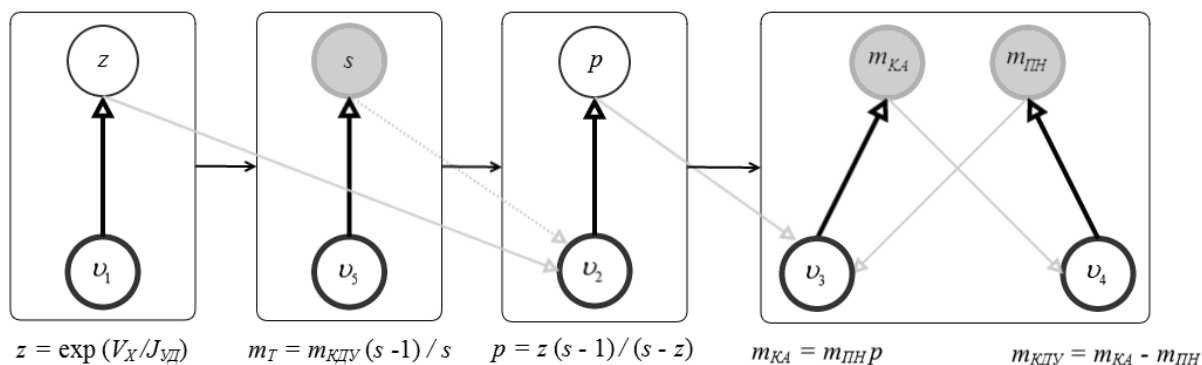


Рис. 10. Последовательность решения задачи 2

Можно видеть, что для первой задачи уравнения должны решаться последовательно, в порядке их записи в системе (1). Для решения же второй задачи вначале решаются первое и пятое уравнения, полученные значения переменных z и s подставляются во второе уравнение, а затем решается система, состоящая из третьего и четвертого уравнений, для чего используется найденное значение p .

Для поиска полного набора пар также эффективно использование методов теории графов.

7. Получение численных значений выходных параметров

Данный этап реализуется с помощью численных методов решения уравнений.

Описанная выше методика разработки ПОС автоматизированного проектирования может быть реализована с использованием методов теории множеств и теории графов [1; 2], что позволяет в дальнейшем автоматизировать процесс решения проектных задач.

Рассмотрим методы теории графов, используемые для решения задачи, со ссылкой на описанные этапы решения.

Построение двудольного графа (этап 3). В терминах теории графов схема связей между параметрами и отношениями математической модели объекта проектирования, приведённая на рис. 1, представляет собой двудольный граф $G=(U,V,E)$. Множество рёбер E этого графа обладает тем свойством, что одна из вершин каждого ребра принадлежит множеству U (далее – u -вершина), а другая – множеству V (v -вершина).

После удаления из графа G вершин, соответствующих входным параметрам, в нём остаются только u -вершины, принадлежащие подмножеству $U'=U \setminus U_{ex}$, и v -вершины, принадлежащие подмножеству $V'=\{v: U(v) \subseteq U'\}$, где $U(v)$ – множество переменных, связанных отношением v , а также соответствующие рёбра $E' \subset E$. Проверка корректности поставленной задачи выполняется на полученном графе $G'=(U',V',E')$.

Построение паросочетания (этап 4). Построение рассмотренного выше набора пар «переменная-отношение» выполняется в результате решения задачи о паросочетании. Паросочетанием называется такое подмножество M рёбер графа, в котором никакие два ребра не имеют общей вершины. Паросочетание, имеющее наибольшее число рёбер,

называется максимальным, а паросочетание, содержащее наибольшее возможное число рёбер графа, – полным. Доказано, что класс задач $K=(U',V')$ корректно определён тогда и только тогда, когда в его графе существует полное паросочетание M ; такое паросочетание соответствует полному набору пар «переменная-отношение».

Задача о построении максимального паросочетания может быть сведена к задаче о нахождении максимального потока в транспортной сети. Для определения такой сети к множеству вершин двудольного графа $G'=(U',V',E')$ необходимо добавить две фиктивные вершины: s (источник) и t (сток), задать на рёбрах графа направления от s к t (рис. 11, 12) и присвоить каждому из рёбер единичный вес. Максимальный поток полученной транспортной сети из вершины s в вершину t может быть найден с помощью известных методов, например, метода Форда-Фалкерсона [3].

Совокупность рёбер, обеспечивающая протекание максимального потока, образует максимальное паросочетание. На рис. 11, 12 представлены транспортные сети и максимальное паросочетание для проектных задач 1 и 2 соответственно. Рёбра максимального паросочетания изображены утолщёнными линиями.

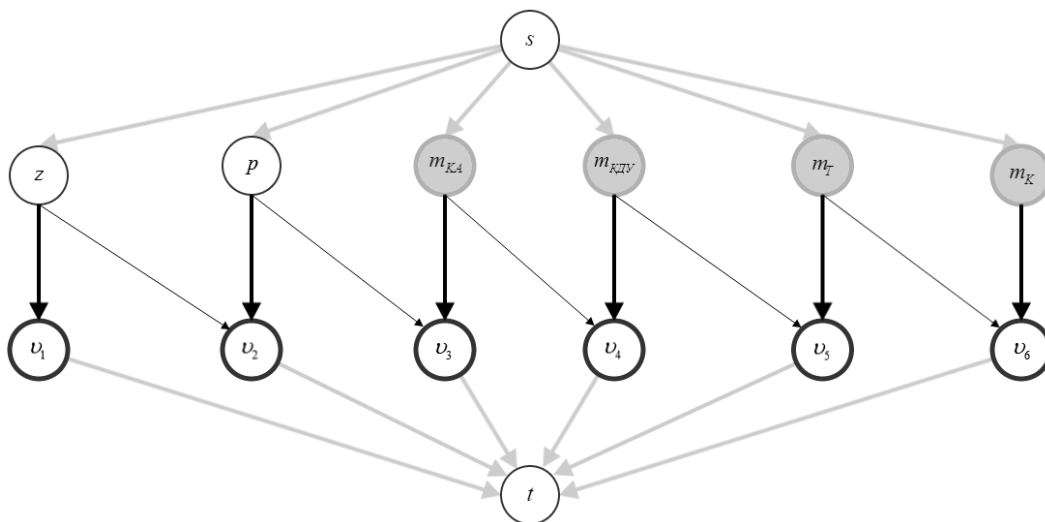


Рис. 11. Транспортная сеть и максимальное паросочетание для задачи 1

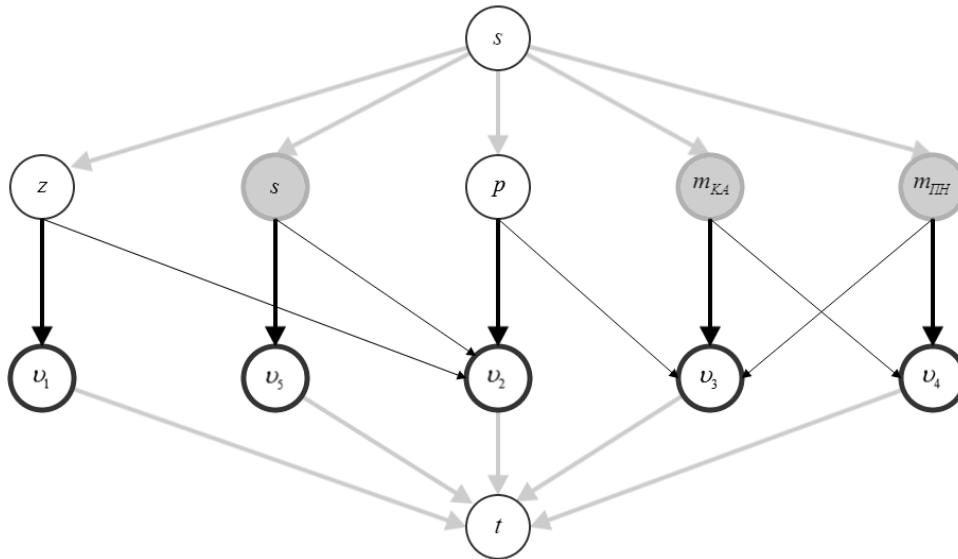


Рис. 12. Транспортная сеть и максимальное паросочетание для задачи 2

Можно видеть, что полученные паросочетания соответствуют полным наборам пар, показанным соответственно на рис. 4, 6.

Нахождение сильносвязных компонентов графа (этап 5). Нахождение независимых подсистем уравнений выполняется в результате определения так называемых сильносвязных компонентов графа, которые соответствуют ранее рассмотренным блокам. Поиск сильносвязных компонентов графа может быть выполнен с помощью алгоритма Косарайю [4].

Рассмотренный укрупнённый алгоритм решения проектной задачи с использованием проблемно-ориентированной системы был реализован в программном комплексе, разработанном на языке программирования Java. Комплекс позволяет ставить и решать проектные задачи, в которых фигурируют сотни параметров и уравнений; в перспективе возможности комплекса ограничиваются только вычислительными возможностями компьютера. Комплекс даёт возможность рассчитывать проектные параметры как отдельных систем, так и КА в целом.

Для иллюстрации результатов его работы на рис. 13 показано диалоговое окно, в котором приведён результат рас-

чёта массогабаритных характеристик КА ДЗЗ.

Программный комплекс позволяет вести обмен данными с системами твёрдотельного моделирования и специализированными программами расчёта целевых показателей КА.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Предложены методические основы разработки автоматизированной системы, позволяющей в интерактивном режиме изменять постановки проектных задач, проводить уточнения проектных параметров и оперативно получать необходимые результаты для формирования проектного облика космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

2. Рассмотренная методика решения проектной задачи с использованием проблемно-ориентированной системы реализована в программном комплексе, разработанном на языке программирования Java.

3. Использование проблемно-ориентированной системы позволяет, по сути дела, реализовать при выборе основных проектных параметров КА так называемую концепцию точного попадания без составления целевых функций и решения задач математического программирования.

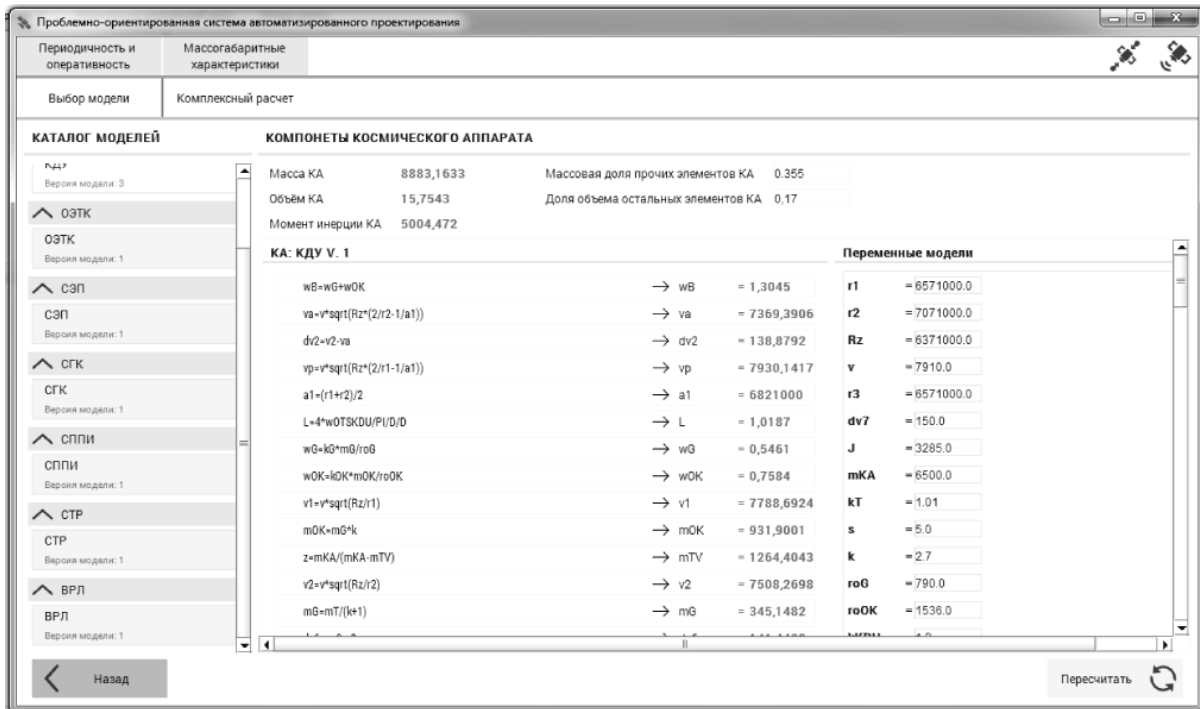


Рис. 13. Результат расчёта характеристик КА ДЗЗ

Библиографический список

1. Друшляков Ю.И., Ежова И.В. Теоретические основы программирования: уч. пособие. М.: МАИ, 1986. 60 с.
2. Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1968. 352 с.
3. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. М.: ВИЛЬЯМС, 2013. 1328 с.
4. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на C++. Часть 5. Алгоритмы на графах. СПб.: ДиаСофтЮП, 2002. 496 с.
5. Kuchеров A.S., Kurenkov V.I., Yakischik A.A. Spacecraft Designing with the Aid of Problem-Oriented System Integrated with 3D Design System // Proceedings of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST 2013). 2013. P. 523-526. DOI: 10.1109/RAST.2013.6581264

Информация об авторах

Стратилатов Николай Ремирович, кандидат технических наук, главный конструктор, начальник отделения АО «РКЦ «Прогресс». E-mail: mail@samspace.ru. Область научных интересов: проектирование, моделирование целевого функционирования, надёжность ракет-носителей и космических аппаратов наблюдения.

Куренков Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры космического машиностроения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. E-mail: kvi.48@mail.ru. Область научных интересов: проектирование, моделирование целевого функционирования, надёжность ракет-носителей и космических аппаратов наблюдения.

Кучеров Александр Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры космического машиностроения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. E-mail: ask@ssau.ru. Область научных интересов: проектирование, моделирование целевого функционирования и надёжность космических аппаратов наблюдения, исследование операций.

Якищик Артём Андреевич, аспирант кафедры космического машиностроения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. E-mail: yakischik@mail.ru. Область научных интересов: проектирование, моделирование целевого функционирования, надёжность ракет-носителей и космических аппаратов наблюдения.

METODOLOGICAL BASIS OF THE DEVELOPMENT OF A PROBLEM-ORIENTED SYSTEM FOR SELECTING DESIGN PARAMETERS OF SPACE VEHICLES

© 2016 N. R. Stratilatov¹, V. I. Kurenkov², A. S. Kucherov², A. A. Yakishik²

¹JSC Space Rocket Center «Progress», Samara, Russian Federation

²Samara National Research University, Samara, Russian Federation

The paper deals with the methodological approach to the development of a problem-oriented system of automated design. The system enables interactive setting and solving of design problems, updating design parameters and obtaining the results required for Earth remote sensing satellites quickly and efficiently. The process of setting and solving problems with the help of the system under discussion involves the following stages: input of the design object parameters and connection operators; setting of input (known) and output (required) parameters; checking of the problem accuracy and solvability; determining, for each variable, the equation it may be found from; dividing the mathematical model into separate models; determining the sequence of steps in solving the problem; calculating the numerical values of required parameters. The development of a problem-oriented system can be carried out using methods of the theory of sets and theory of graphs that makes it possible to automate the process of solving design problems. The methodology under consideration is implemented in software developed in Java programming language that allows solving problems of high dimensionality. Illustrative examples are given.

Spacecraft, setting design tasks, adopted elements, input and output parameters, multivariate, formalization, problem-oriented system.

References

1. Drushlyakov U.I., Ezova I.V. *Teoreticheskie osnovy programmirovaniya: uch. posobie* [Software science]. Moscow: Moscow Aviation Institute Publ., 1986. 60 p.
2. Ore O. *Teoriya graphov* [Graph theory]. Moscow: Nauka Publ., 1968. 352 p.
3. Cormen Th.H., Leiserson Ch.E., Rivest R.L., Stein C. *Introduction to Algorithms*. MIT Press, 2009. 1312 p.
4. Sedgewick R. *Algorithms in C++. Parts 5. Graph Algorithms*. Addison Wesley Longman, 2002. 496 p.
5. Kucherov A.S., Kurenkov V.I., Yakishik A.A. *Spacecraft Designing with the Aid of Problem-Oriented System Integrated with 3D Design System. Proceedings of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST 2013)*. 2013. P. 523-526. DOI: 10.1109/RAST.2013.6581264.

Citation: Stratilatov N.R., Kurenkov V.I., Kucherov A.S., Yakishik A.A. Methodological basis of the development of a problem-oriented system for selecting design parameters of space vehicles. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2016. V. 15, no. 2. P. 68-79. DOI: 10.18287/2412-7329-2016-15-2-68-79

About the authors

Stratilatov Nikolay Remirovich, Candidate of Science (Engineering), Chief Designer, Head of Design Division, JSC Space Rocket Center «Progress», Samara, Russian Federation. E-mail: mail@samspace.ru. Area of Research: design, modeling target operation, reliability of launch vehicles and space observation satellites, operational research.

Kurenkov Vladimir Ivanovich, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Space Engineering, Samara National Research University, Samara, Russian Federation. E-mail: kvi.48@mail.ru. Area of Research: design, modeling target operation, reliability of launch vehicles and observation spacecraft.

Kucherov Alexander Stepanovich, Candidate of Science (Engineering), Assistant Professor of the Department of Space Engineering, Head of the Department of Space Engineering, Samara National Research University, Samara, Russian Federation. E-mail: ask@ssau.ru. Area of Research: design, modeling target operation, reliability of launch vehicles and space observation satellites, operation analysis.

Yakischik Artyom Andreevich, postgraduate student of the Department of Space Engineering, Samara National Research University, Samara, Russian Federation. E-mail: yakischik@mail.ru. Area of Research: design, modeling target operation, reliability of launch vehicles and observation spacecraft.