
Миронов А.Н., Казаков Р.Р., Шестопалова О.Л., Харченко И.Н. Анализ влияния нестабильности обеспечения ресурсами на степень реализуемости программ развития системы средств выведения космических аппаратов [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал, 2017. – № 4(38). – Режим доступа: http://iea.gostinfo.ru/files/2017_04/2017_04_09.pdf.

УДК 685.518.5

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РЕСУРСАМИ НА СТЕПЕНЬ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОГРАММ
РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ**

Миронов А.Н., доктор технических наук, профессор, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

Казаков Р.Р., адъюнкт, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

Шестопалова О.Л., кандидат технических наук, доцент, декан филиала «Восход» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» в г. Байконуре

Харченко И.Н., первый заместитель председателя коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации

В статье рассмотрены вопросы оценки степени влияния нестабильности выделения ресурсов на степень реализуемости программ развития системы средств выведения космических аппаратов. Описана модель и алгоритм оценивания полноты и длительности реализации проектов в условиях нестабильного обеспечения ресурсами. Изложенные результаты могут быть полезны для развития методического обеспечения технического регулирования при оценке и подтверждении соответствия сложных технических систем на стадиях проектирования и эксплуатации.

Ключевые слова: техническое регулирование, система средств выведения, космический аппарат, булево целочисленное программирование.

UDC 685.518.5

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INSECURITY RESOURCES ON
THE DEGREE OF MARKETABILITY OF THE PROGRAMS
DEVELOPMENT OF THE SPACECRAFT LAUNCH VEHICLES SYSTEM**

Mironov A.N. doctorate degree of technical sciences, professor, Mozhaisky Military Space Academy

Kazakov R.R., adjunct, Mozhaisky Military Space Academy

Shestopalova O.L., candidate of technical sciences, associate professor, the dean of a Branch «Voskhod» of the Moscow aviation institute (national research university) in Baikonur

Kharchenko I.N., First Deputy Board Chairman of the Military industrial commission of the Russian Federation

The article is devoted to the questions of assessment of the degree of influence of instability of resource allocation on the degree of marketability of the development programmes of the spacecraft launch vehicles system. The model and algorithm of evaluation of the completeness and duration of implementation of projects in the context of volatile resources are described. The results presented here may be useful for the development of methodological support of the technical regulation in the evaluation and demonstration of compliance during the design and operation.

Keywords: technical regulation, spacecraft launch vehicles system, spacecraft, Boolean integer programming.

Полнота состава, своевременность развертывания и восполнения орбитальных группировок космических аппаратов (КА) определяются возможностями системы средств выведения (ССВ) космических аппаратов. Под системой средств выведения будем понимать совокупность эксплуатируемых (применяемых или готовых к применению) ракет-носителей, разгонных блоков и иных средств, предназначенных для запуска КА различного целевого назначения. От состояния и возможностей ССВ напрямую зависит уровень обороноспособности государства и эффективность функционирования его социально-экономического комплекса [1]. ССВ можно с полным правом отнести к сложным техническим системам со всеми ее атрибутами: целостностью, эмерджентностью, сложностью и динамичностью структуры, неопределенностью. Принципиальной особенностью ССВ является ее открытость (незамкнутость), означающая функционирование в условиях динамически изменяющейся среды. Данные изменения обусловлены двумя группами факторов: внешними, связанными с динамикой состава задач по запуску КА, и внутренними, связанными с процессами изменения состояния собственно средств выведения (СВ).

Динамика состава задач может проявляться как в появлении потребности решения новых задач по освоению космического пространства и расширении его использования в интересах государства, так и в потере актуальности некоторых ранее решаемых задач. Изменение состояния СВ может выражаться, в том числе, в их моральном старении - отставании их технического уровня, элементной базы, эксплуатационно-технических характеристик (например, ремонтпригодности, контролепригодности) от изменившегося вследствие технического прогресса общего уровня. И в том и в другом случаях возникает потребность во внесении своевременных изменений в структуру ССВ, касающихся разработки и введения в эксплуатацию новых средств выведения, снятия с эксплуатации устаревших средств выведения, либо их модернизации [2,4]. Таким образом, речь идет об управлении структурной динамикой ССВ КА или, иными словами, об управлении их развитием.

Своевременная и полная реализация программ развития ССВ в планируемые сроки во многом зависит от стабильности выделения необходимых ресурсов. Содержательная постановка задачи анализа степени реализуемости вариантов развития ССВ в условиях нестабильного выделения ресурсов может быть сформулирована следующим образом [5] (см. рис. 1).

Пусть задана совокупность СВ, нуждающихся в развитии. Для каждого из n средств из этой совокупности обоснован рациональный вариант развития. Для каждого варианта определены оценки требуемых ресурсов на реализацию: временных, финансовых, материальных и трудовых. Из-за наличия факторов неопределенности оценки потребных ресурсов известны приближенно [3, 6].

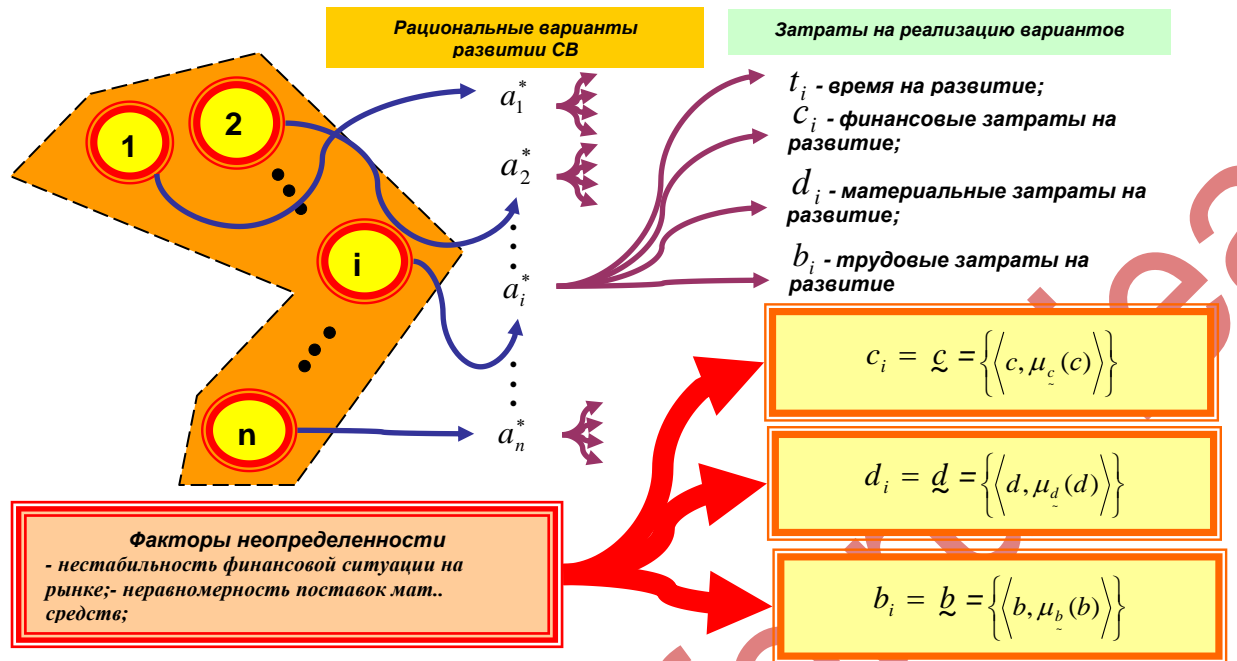


Рис. 1. Структура затрат на развитие СВ и источники неопределенности их оценок.

Реализовать вариант развития ССВ возможно путем выполнения некоторой совокупности работ, распределенных на определенном числе этапов развития (см. рис.2.).

Финансовые, материальные и трудовые ресурсы выделяются для каждого этапа развития ССВ в определенные интервалы времени, в общем случае не совпадающие с началами этапов. Работы могут выполняться только в тех интервалах времени, когда выделенные ресурсы поступили на объект.

Из-за воздействия факторов неопределенности значения выделяемых на ресурсы точно не известны, а задаются приближенно, в виде некоторых нечетких оценок.

Введем следующие обозначения. Пусть развитие элементов ССВ проводится за K этапов. Для каждого k -го ($k=1, \dots, K$) этапа заданы: W_k, V_k, B_k – соответственно, финансовые материальные и трудовые ресурсы, выделенные для выполнения работ по развитию ССВ на k -м этапе. Каждый k -й этап разбьем на m_k временных интервалов. Пусть определены значения t_j^k ($j=1, \dots, m_k$) – длительностей интервалов, когда, выделенные ресурсы

поступили на объект, и возможно выполнение запланированных работ для рассматриваемого этапа развития. Заданы n ($i=1, \dots, n$) СВ. Для развития i -го СВ определены: t_i c_i , d_i , b_i – затраты времени, финансов, материальных и трудовых ресурсов на развитие. Некоторые исходные характеристики, такие как W_k , V_k , B_k , c_i , d_i , b_i , ввиду неопределенности и неполноты информации заданы приближенно.

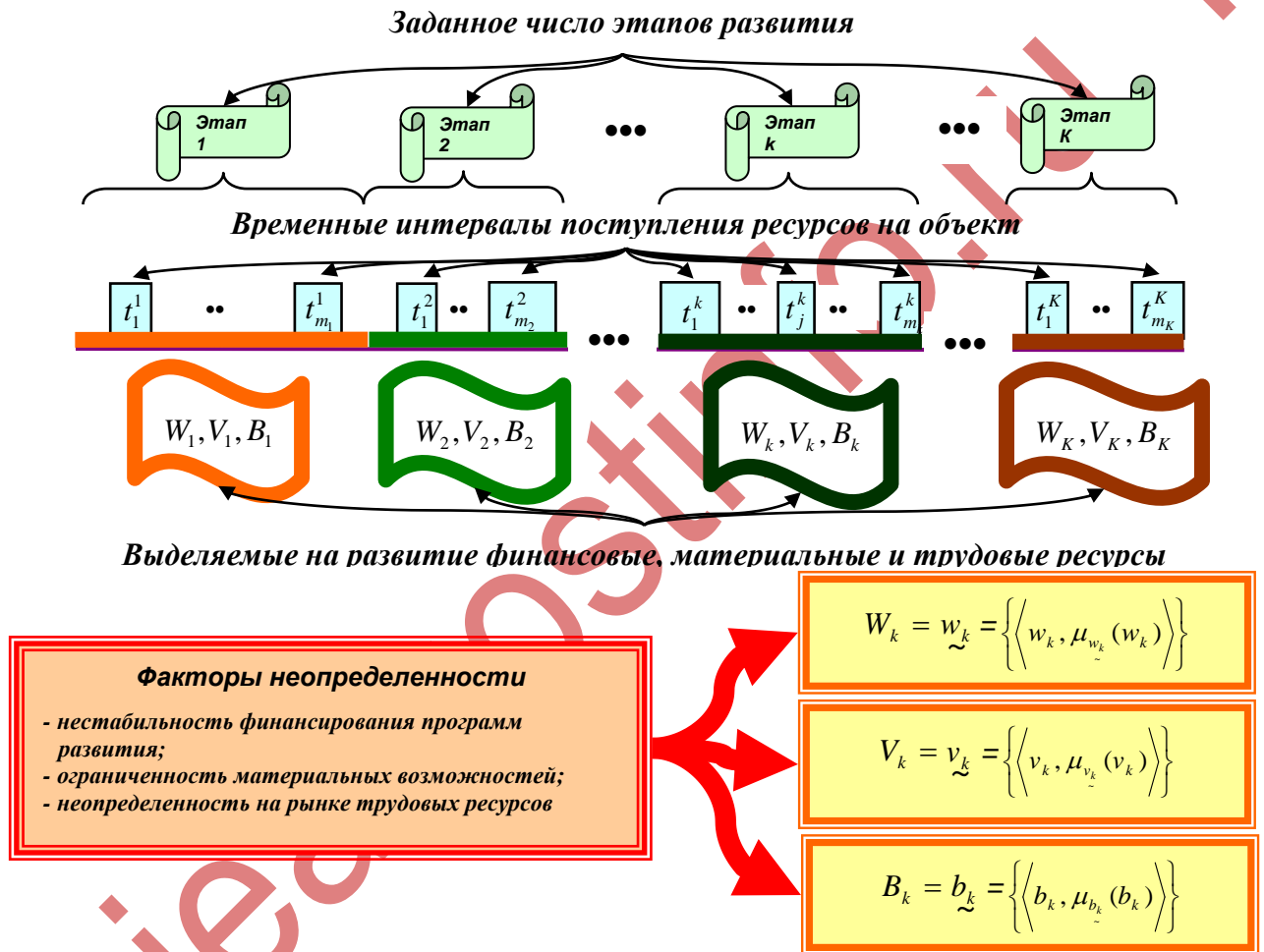


Рис. 2. Схема организации работ в интервалах выделения ресурсов

Общее теоретико-множественное описание задачи развития ССВ с использованием математической структуры выбора с мультипредпочтением и множеством неопределенности выглядит следующим образом [2-6]:

$$(Q(s), \Delta, \{\Gamma_i(\omega), i \in C\}, \{f_j(\omega), j \in G\}, \{F_l, l \in L\}, \Omega = \{\omega\}), \quad (1)$$

где $Q(s)$ - исходная структура выбора (модель), s - тип структуры; Δ - пространство альтернатив (решений); $\{\gamma_i(\omega), i \in C\}$ - множество отношений, ограничивающих выбор; C - множество индексов отношений, ограничивающих выбор; $\{f_j(\omega), j \in G\}$ - множество отношений предпочтения, задаваемых на Δ и отражающих различные требования, предъявляемые к наилучшему решению (программе развития ССВ); $\{F_l, l \in L\}$ - множество операторов, позволяющих задавать результирующее отношение предпочтения задачи развития ССВ $f_{рез} = F_l [\{f_j(\omega), j \in G\}]$; $\Omega = \{\omega\}$ - множество неопределенных состояний среды, от элементов которого ω зависят все или часть компонент, описывающих модель развития ССВ.

Как следует из содержания рассматриваемой задачи, отношения $\{\gamma_i(\omega), i \in C\}$ должны учитывать пространственно-временные, технические и технологические ограничения, связанные с развитием ССВ. А именно: каждый элемент ССВ может модернизироваться в рамках одного интервала этапа; общие затраты ресурсов по отдельным этапам должны укладываться в выделяемые ресурсы; время выполнения работ по отдельным элементам ССВ не должно превышать величину интервала развития отдельного этапа; необходимо учитывать логическую взаимосвязь операций по модернизации ССВ.

Введя булеву переменную x_{ijk} , которая принимает единичное значение, если i -е средство выведения создается в j -м интервале k -го этапа, задача поэтапного развития ССВ может быть сформулирована как многокритериальная задача нечеткого булевого линейного программирования (НЛБП) с двумя целевыми функциями, отражающими полноту выполнения программ развития (выражение (2)) и длительность выполнения программ развития (выражение (3)).

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{m_k} x_{ijk} \Rightarrow \max \quad (2)$$

$$f_2(x) = \sum_{i=1}^n t_i \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{m_k} x_{ijk} \Rightarrow \min \quad (3)$$

где $f_1(x)$ - показатель полноты выполнения задач развития ССВ;
 $f_2(x)$ - показатель длительности выполнения программ развития ССВ; α_i - коэффициент важности создания i -го элемента ССВ; t_i - длительность создания i -го элемента ССВ.

Множество ограничений состоит из пяти ограничений, представленных выражениями (4) – (8).

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{m_k} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^n \underline{d}_i x_{ijk} \text{sign}(t_j^k - t_i) \leq \underline{V}_k, \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^n \underline{b}_i x_{ijk} \text{sign}(t_j^k - t_i) \leq \underline{B}_k, \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^n \underline{c}_i x_{ijk} \text{sign}(t_j^k - t_i) \leq \underline{W}_k, \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{k=k^*}^K \sum_{j=j^*+1}^{j^*} x_{i_2jk} - x_{i_1j^*k^*} \leq 0, \quad \forall j^* = \overline{1, m_k}; \forall k^* = \overline{1, K}. \quad (8)$$

$$\text{sign}(t_j^k - t_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } t_j^k \geq t_i \\ 0, & \text{если } t_j^k < t_i \end{cases}$$

Сущность ограничений: (4) - модернизация каждого i -го элемента ССВ может осуществляться только на одном j -м интервале некоторого k -го этапа; (5), (6) и (7) - расходующие суммарные ресурсы для создаваемых элементов не должны превосходить выделяемые средства на каждом этапе; (8) – создавать элемент i_2 можно начинать лишь после окончания создания элемента i_1 .

Алгоритм решения задачи анализа степени реализуемости вариантов развития ССВ в условиях нестабильного выделения потребных ресурсов

состоит в преобразовании двухкритериальной задачи к последовательности однокритериальных задач. При этом целесообразно применить метод уступок для преобразования двухкритериальной задачи к однокритериальной и, далее, метод ветвей и границ к решению однокритериальной задачи нечеткого линейного булевого программирования.

Таким образом, в статье рассмотрены особенности решения задачи анализа степени реализуемости вариантов развития системы средств выведения в условиях нестабильного выделения ресурсов. Предложена модель, основанная на математическом методе НЛБП, позволяющая получить информацию о степени реализуемости рассматриваемых вариантов модернизации ССВ в условиях фактической нестабильности выделения необходимых ресурсов для реализации проектов развития ССВ.

Список использованных источников и литературы:

1. Басотин Е.В., Миронов А.Н., Казаков Р.Р., Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л. Определение потребности в модернизации составных частей ракетно-космических комплексов //Современные наукоемкие технологии. № 12 (часть 3), 2016. С. 486-490.
2. Витюк В.Л., Миронов Е.А., Севастьянов Д.А., Шестопалова О.Л. Определение оптимального варианта развития систем телекоммуникационного обеспечения эксплуатации и применения ракетно-космических комплексов в нечетко заданных условиях // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: www.science-education.ru/121-18052.
3. Интеллектуальное управление риском при эксплуатации сложных технологических систем/ Е.И. Бессонов, П.Е. Бессонов, Д.А. Чагин, О.Л. Шестопалова// Монография под ред. д.т.н. профессора А.Н. Миронова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008.- 523 с.

4. Казаков Р.Р., Басотин Е.В., Миронов А.Н., Казаков Р.Р., Шестопалова О.Л. Анализ путей решения проблемы управления жизненным циклом наземного оборудования ракетно-космических комплексов // Фундаментальные исследования. 2016. № 6-2. С. 282-287. URL: <http://elibrary.ru/download/71789529.pdf>.

5. Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л. Планирование поэтапной реализации инновационных программ развития комплексов космических средств в условиях неопределенности информации о временных, ресурсных и технологических ограничениях // Информация и космос, № 1, 2010.- С. 125-127.

6. Сизяков Н.П., Шестопалова О.Л. Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели // Информация и космос, № 1, 2010.- С. 133-135.

© Миронов А.Н.
© Казаков Р.Р.
© Шестопалова О.Л.
© Харченко И.Н.