

## ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СБАЛАНСИРОВАННОСТИ РЕКОНФИГУРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

А.В. Пинчук,  
Г.Г. Молоканов, А.А. Потюпкин

*Рассматривается способ моделирования и оценивания реконфигурационного потенциала космических систем и комплексов (КСК). Для обеспечения требуемой эффективности функционирования космических систем и комплексов при изменении ситуаций применения предложено понятие реконфигурационного потенциала (РП) системы, отражающего её способность к изменению облика в зависимости от условий обстановки. Представленный комплекс моделей позволяет провести комплексное оценивание КСК, функционирующих в условиях ситуационной неопределённости, а предложенные характеристики реконфигурационного потенциала могут рассматриваться как показатели качества КСК при обосновании направлений их дальнейшего развития.*

**Ключевые слова:** реконфигурационный потенциал, ситуация, эффективность.

В работе [1] были рассмотрены условия использования реконфигурации сложных организационно-технических систем, в частности космических систем и комплексов (КСК), для обеспечения требуемой эффективности их функционирования при изменении ситуаций применения и предложено понятие реконфигурационного потенциала (РП) системы, отражающего её способность к изменению облика в зависимости от условий обстановки. Для практического применения предложенных положений и проведения исследований РП КСК целесообразным представляется использование показателей, позволяющих оценить соответствие реконфигурационного потенциала КСК многообразию возможных ситуаций их применения.

Для решения данной задачи рассматриваемая предметная область может быть описана с применением теоретико-множественного подхода, согласно которому каждый объект предметной области представляется некоторой сущностью, обладающей определёнными свойствами и способной формировать отношения с другими объектами. Исходя из описанных в [1, 2] особенностей развития и функционирования КСК целесообразным представляется рассмотреть три аспекта описания данных объектов.

Функциональное описание строится на основании критериев и показателей эффективности (целевой функции), охватывает процессы функционирования КСК и выражает сущность их взаимодействия с внешней средой. Морфологическое (структурное) описание отражает всё, что извест-

но о структурных свойствах системы, опирается на выделение подсистем в составе КСК и внешней среды их функционирования и может быть использовано для отражения многообразия ситуаций применения и механизма реконфигурации. Информационное описание касается внутреннего и внешнего информационного обмена, отражая неопределённость внешней среды функционирования системы и способов поведения в различных ситуациях (рис. 1) [3].

В рамках данного описания структурная модель позволяет учесть вариативную часть ситуационной неопределённости развития и функционирования КСК и возможности, обусловленные наличием их реконфигурационного потенциала, посредством декомпозиции предметной области на элементарные объекты и задания структурных отношений, определяющих возможные варианты композиций данных объектов, соответствующие конфигурациям КСК и ситуациям их применения. Результатом структурного моделирования является набор исходных данных (возможных вариантов облика КСК, реализуемых на основе реконфигурационного потенциала, и множества ситуаций применения КСК) для проведения функционального моделирования при решении задачи оценивания РП КСК.

Функциональное моделирование основано на установлении взаимосвязи между качественными свойствами объектов предметной области и направлено на определение значений показателей эффективности применения различных вариантов облика КСК в рассматриваемом множестве ситуа-



Рис. 1. Структура описания исследуемой предметной области

ций применения. Результаты функционального моделирования могут быть представлены в виде матрицы

$$W = \|w_{ij}\|, i = 1 \dots N, j = 1 \dots M$$

где  $w_{ij}$  – показатель (в общем случае векторный) эффективности применения  $i$ -го варианта облика образца КСК в  $j$ -й ситуации (рис. 2).

$\frac{S^{\tilde{n}\tilde{e}\tilde{o}}}{S_I^{\tilde{E}\tilde{N}\tilde{E}}}$	$S_1^{\tilde{n}\tilde{e}\tilde{o}}$	...	$S_j^{\tilde{n}\tilde{e}\tilde{o}}$	...	$S_i^{\tilde{n}\tilde{e}\tilde{o}}$
$S_{A1}^{\tilde{e}\tilde{n}\tilde{e}}$	$W_{11}$	...	$W_{1j}$	...	$W_{1M}$
...	...	...	...	...	...
$S_{Ai}^{\tilde{e}\tilde{n}\tilde{e}}$	$W_{i1}$	...	$W_{ij}$	...	$W_{iM}$
...	...	...	...	...	...
$S_{Ay}^{\tilde{e}\tilde{n}\tilde{e}}$	$W_{N1}$	...	$W_{Nj}$	...	$W_{NM}$

Рис. 2. Табличное представление значений показателя эффективности КСК, обладающих реконfigurационным потенциалом

Полученный массив значений может быть использован для вынесения суждения относительно целевой устойчивости КСК и их возможностей к решению задач КСК в условиях многообразия ситуаций применения, обеспечиваемых РП КСК. При этом для оценивания потенциальной эффективности (эффективности применения КСК при условии своевременной реконfigurации) РП КСК могут различные методы многокритериального принятия решений [4]. Например, минимаксная свёртка представленных значений (минимально гарантированное значение показателя эффективности при условии, что для каждой ситуации посредством реконfigurации будет реализован наилучший облик КСК):

$$W^{P\Pi} = \min_j \max_i w_{ij}$$

Однако результаты структурного и функционального моделирования позволяют учесть только вариативную часть неопределённости условий применения КСК, не позволяя оценить влияние поведенческой и природной неопределённости, связанной с различной возможностью возникновения ситуаций, отсутствием достоверной оценки их характеристик и т. д. Для учёта данных факторов предлагается использование информационной модели, отражающей характеристики

возможности возникновения различных ситуаций применения и использования реконфигурации для адаптации образцов БРТ к изменяющимся условиям.

То есть, если структурная декомпозиция служит для анализа объектов функциональной модели при формировании диапазонов варьирования качественных свойств КСК, то информационная модель предназначена для дополнения данных диапазонов некоторыми вероятностными характеристиками. В данных целях предлагается рассмотреть два аспекта информации об объектах структурной модели – достоверность и точность.

Достоверность характеризует возможность активного участия рассматриваемого объекта в процессе функционирования исследуемой системы и может быть оценена субъективной вероятностью включения объекта в состав системы (вариант облика КСК) либо ситуации применения. Точность характеризует данные с точки зрения их полноты и соответствия реальному состоянию объекта и может быть учтена посредством применения аппарата нечётких множеств.

Оценивание данных характеристик объектов предметной области позволяет с применением известных математических методов теории вероятностей и теории нечётких множеств провести расчёт вероятности реализации различных ситуаций применения КСК.

Допустим, что значения показателя эффективности применения КСК в сочетании с известным критерием их функционирования, позволяет определить какие конфигурации системы (варианты облика КСК) должны быть реализованы в каждой из ситуаций для достижения целей применения КСК. На основании данной информации, исходя из прогнозируемой вероятности реализации ситуаций применения (в случае полного отсутствия данных все ситуации считаются равновероятными), может быть рассчитана субъективная вероятность реализации каждого из состояний системы. Данная характеристика позволяет использовать для оценивания реконфигурационного потенциала КСК величину энтропии  $H^{PI}$ , характеризующей разнообразие реализуемых вариантов облика КСК.

Максимальное значение энтропии  $H^{PI}_{max}$  соответствует случаю, когда полностью отсутствует информация о предпочтительности вариантов облика КСК (варианты конфигураций считаются равновероятными), и может быть рассчитано по следующей зависимости:

$$H^{PI}_{max} = -\ln N, \quad (1)$$

где  $N$  – количество состояний, реализуемых на основе реконфигурационного потенциала системы. При этом, если возможность реализации различных конфигураций КСК не равновероятна, а обуславливается целями функционирования КСК либо закономерностями организации внешней среды, их энтропия определяется следующей величиной:

$$H^{PI} = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i, \quad (2)$$

где  $p_{li}$  – субъективная вероятность реализации  $i$ -го варианта облика КСК.

Также необходимо отметить, что состояния системы, не являющиеся рациональными ни в одной из ситуаций, не влияют на значение информационной мощности её реконфигурационного потенциала. Таким образом, учитываются только те состояния, которые соответствуют внешней среде функционирования КСК.

Представленные выражения (1) и (2) позволяют ввести показатель, характеризующий сбалансированность реконфигурационного потенциала как отношение текущего значения энтропии КСК к максимальной:

$$K^{cb} = H^{PI} / H^{PI}_{max},$$

где  $K^{cb}$  – коэффициент сбалансированности реконфигурационного потенциала КСК.

Максимальное значение данного коэффициента, равное 1, соответствует случаю, когда все варианты облика КСК в равной мере полезны в условиях заданного многообразия ситуаций применения. Минимальное значение коэффициента сбалансированности, равное 0, означает, что актуальным является лишь один вариант облика КСК, а остальные не несут никакой роли в составе реконфигурационного потенциала.

Таким образом, представленный комплекс моделей позволяет провести комплексное оценивание КСК, функционирующих в условиях ситуационной неопределённости, а предложенные характеристики реконфигурационного потенциала могут рассматриваться как показатели качества КСК при обосновании направлений их дальнейшего развития.

### Литература

1. Казарин В. Е., Молоканов Г. Г., Мосиенко А. Н. Предложения по организации жизненного цикла космических систем и комплексов с использованием реконfigurационного потенциала / В. Е. Казарин и др. // Сборник трудов 26-й Всероссийской научно-практической конференции «Передача, обработка, отображение информации». – Терскол, 2013. – С. 61 – 63.
2. Анисимов В. Ю., Молоканов Г. Г., Пинчук А. В. Методический подход к обоснованию требований к пер-

- спективной системе КА ДЗЗ. / В. Ю. Анисимов и др. // Труды ВНИИЭМ. Вопросы электромеханики. – 2014. – Т. 138. – № 1. – С. 49 – 53.
3. Дружинин В. В., Конторов Д. С., Вопросы военной системотехники / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – М.: Воениздат, 1976. – 224 с.
4. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие / А. В. Лотов, И. И. Поспелова. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

Поступила в редакцию 23.12.2014

*Александр Васильевич Пинчук*, канд. воен. наук, доцент,  
учёный секретарь, АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,  
т. (903) 707-92-27,  
e-mail: Pinchuk\_aleks@inbox.ru.

*Геннадий Геннадьевич Молоканов*, канд. техн. наук,  
научный сотрудник, Военная академия РВСН им. Петра Великого,  
т. (926) 566-98-22,  
e-mail: Gennadiy.molokanov@gmail.com.

*Потюпкин Александр Александрович*, канд. техн. наук,  
научный сотрудник, Военная академия РВСН им. Петра Великого,  
т. (916) 797-10-65,  
e-mail: suntur@bk.ru.

## APPROACHES to EVALUATE EFFICIENCY and BALANCE of SPACE SYSTEMS and SPACE COMPLEXES RECONFIGURATIONAL RESERVE

**A.V. Pinchuk,  
G.G. Molokanov, A.A. Potyupkin**

*In the article a technique of modeling and evaluation of space systems and space complexes (SS&SC) reconfiguration capabilities is considered. To provide required SS&SC efficiency in case of application situation change, concept for system reconfiguration reserve (RR) demonstrating its capability to change configuration depending on specific conditions is offered for consideration. The represented set of models enables a complex evaluation of SS&SC functioning in conditions of situational uncertainty, and offered RR characteristics can be considered as SS&SC quality factors which can be used during determination of directions for their further development.*

**Key words:** reconfiguration reserve, condition, efficiency.

### List of References

1. Kazarin V. E., Molokanov V. E., Mosienko G. G. Recommendations for arrangement of space systems and space complexes lifecycle using reconfigurability reserve / V. E. Kazarin et al. // Collected Works of 26<sup>th</sup> All Russian research and training conference Transmission, processing and displaying of information. – Terskol, 2013. – Pp. 61 – 63.
2. Anisimov V. Yu., Molokanov G. G., Pinchuk A. V. Methodical approach to justification of requirements to future ERSS system / V. Yu. Anisimov, et al. // Issues of electromechnics. Proceedings of VNIIEM. – 2014. – Vol. 138. – No. 1. – Pp. 49 – 53.
3. Druzhinin V. V., Kontorov D. S. Issues of Military System Engineering. – Moscow: Voenizdat Publ. – 1976. – 224 p.
4. Lotov A. V., Pospelova I. I. Multiobjective Decision-Finding Problems: Learning Aid / A. V. Lotov, I. I. Pospelova. – Moscow: MAKS Press Publ., 2008. – 197 p.

**Alexandr Vasilyevich Pinchuk,**

*Ph. D. in Military Sciences*

*(Scientific Secretary, 'VNIEM Corporation' JC).*

*Tel.: (903) 707 92 27,*

*e-mail: Pinchuk\_aleks@inbox.ru.*

**Gennady Gennadyevich Molokanov,**

*Ph. D. in Engineering Sciences*

*(Research Engineer,*

*Peter the Great Strategic Rocket Forces Academy).*

*Tel.: (926)566 98 22,*

*e-mail: Gennadiy.molokanov@gmail.com.*

**Alexandr Alexandrovich Potyupkin,**

*Ph. D. in Engineering Sciences*

*(Research engineer*

*Peter the great strategic rocket forces academy).*

*Tel.: (916)797 10 65,*

*e-mail:suntur@bk.ru.*