

НЕЧЁТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЦЕЛЕВЫХ РИСКОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАЗВИТИЕМ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

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

Рассматривается подход к оцениванию целевых рисков, возникающих в процессе управления развитием орбитальной группировки в условиях неопределённости. Предложен показатель рисков в виде нечёткой величины, позволяющей для различных уровней достоверности оценки прогнозируемого и требуемого значения целевого показателя оценить вероятность неблагоприятного исхода при реализации стратегии развития орбитальной группировки космических аппаратов. Рассмотренный подход может использоваться для количественной оценки целевого риска в условиях недостаточности статистических данных о процессе развития орбитальной группировки.

Ключевые слова: риск, орбитальная группировка, нечёткие множества, целевые показатели.

Одной из основных задач научно-методического сопровождения процесса управления развитием орбитальной группировки космических аппаратов (ОГКА) является выбор оптимальных стратегий достижения требуемого варианта её облика – стратегий развития [1]. Несмотря на то, что развитие ОГКА относится к сфере государственных приоритетов и повышению обороноспособности страны, данный процесс находится в сильной зависимости от военно-политической и социально-экономической ситуации в стране и мире. Факторы, относящиеся к данным областям жизнедеятельности, примерами которых могут быть изменение политической ситуации, объёмов выделяемых средств на развитие космической отрасли, стратегических целей противника и др., на протяжении последних десятилетий характеризуются нестабильностью и высокой динамикой изменения [2]. Это приводит к появлению неопределённостей различного рода относительно реализуемости выбранных стратегий развития ОГКА.

В формализованном виде описание варианта облика ОГКА может быть представлено в виде совокупности требуемых значений по целевым показателям (ЦП), определяющим её основные (главные, целевые) параметры, свойства. Тогда достижение требуемых значений ЦП будет соответствовать выполнению целевого отношения вида «меньше или равно» или «больше или равно» на множестве пар прогнозируемых и требуемых значений целевого показателя [3]. При этом зачастую влияние выделенных факторов на реализуемость стратегий развития ОГКА заключается не только в неопределённости достигаемых (прогнозируемых) значений ЦП, но также и в возможности изменения требуемых значений ЦП, характеризующих конечную цель построения ОГКА.

Данные обстоятельства обуславливают необходимость учёта и количественной оценки рисков невыполнения целевых отношений (целевых рисков) при выборе стратегий развития ОГКА для принятия необходимых и своевременных мер по достижению требуемых значений ЦП [2, 4]. При наличии необходимых статистических данных для решения этой задачи могут быть применены методы теории вероятностей и математической статистики [5, 6], однако отсутствие достаточно полной статистической информации делает практическое использование подобных методов затруднительным.

Для решения данной проблемы разработан подход к оценке риска, основанный на представлении прогнозируемых и требуемых значений ЦП в виде нечётких величин – нечётких чисел [4, 7–9], который позволяет осуществлять количественную оценку возможности невыполнения целевых отношений при отсутствии соответствующих статистических данных и таким образом обеспечивать учёт неопределённостей, неподдающихся вероятностному описанию, при выборе стратегий развития ОГКА.

Предлагаемый подход предусматривает представление информации о значениях выбранного целевого показателя в виде соответствующих нечётких чисел

$$\tilde{Y} = (\mu_Y(y) / y, y \in Y) \quad \text{и} \\ \tilde{X} = (\mu_X(x) / x, x \in X),$$

где $x \in X$ – прогнозируемые, $y \in Y$ – требуемые значения целевого показателя, построение нечёткого показателя риска и осуществление количе-

ственной оценки риска для различных значений достоверности получаемых оценок ситуации [3].

В частности, в качестве целевого показателя при управлении развитием ОГКА может рассматриваться стоимость выполнения мероприятий по созданию элементов ОГКА. В данном случае неопределённость уровня прогнозируемых фактических затрат x обуславливается влиянием производственно-технологических и экономических факторов, а величина требуемого значения целевого показателя y , определяемого предельным объёмом средств, выделяемых на создание ОГКА, может зависеть от внешней по отношению к предприятиям финансово-экономической обстановки и формироваться в нечётком виде на основе обобщения нескольких сценариев развития экономической обстановки.

Для построения графиков функций принадлежности могут быть использованы методы экспертного оценивания, рассмотренные в [4, 8, 9]. При этом экспертные мнения могут использоваться как напрямую, например, для оценивания прогнозируемых затрат на создание элементов ОГКА, так и опосредовано, например, для оценивания субъективной вероятности реализации различных сценариев развития экономической обстановки, связанных с различными требуемыми значениями целевого показателя.

Пример вида графиков функций принадлежности $\mu_Y(y)$ и $\mu_X(x)$ представлен в системе координат xOy (рис. 1) прерывистой и сплошной линией соответственно, при этом область значений $\mu_Y(y)$ и $\mu_X(x)$ составляет отрезок $[0, 1]$.

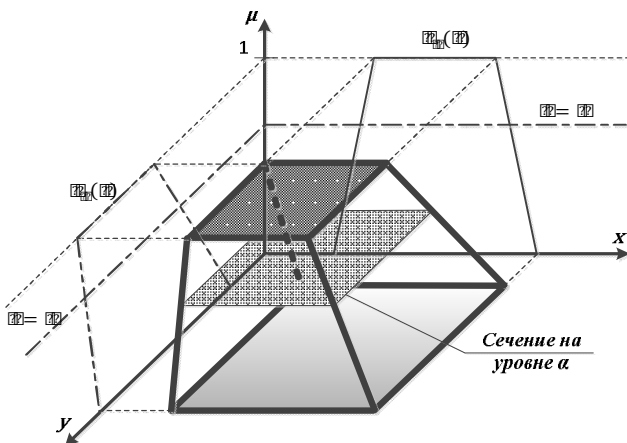


Рис. 1. Графическое представление области возможных исходов реализации стратегии развития ОГКА

Формирование функций принадлежности прогнозируемого и требуемого значений целевого показателя позволяет построить область возможных

исходов стратегии развития ОГКА, как декартово произведение $R = \tilde{X} \times \tilde{Y}$. При этом под *исходом* понимается совокупность фактического результата выполнения стратегии развития x и требуемого значения целевого показателя y при заданном уровне достоверности суждения о значении данных параметров, например, фактические затраты необходимые для создания элементов ОГКА и предельный объём выделяемых средств.

Далее область R декомпозируется по сечениям, соответствующим уровням достоверности $a \in [0, 1]$, на множества уровня R_a , определяемым исходя из выражения [7 – 9]:

$$R_a = (x, y: \mu_X(x) \geq a, \mu_Y(y) \geq a, x \in X, y \in Y). \quad (1)$$

В данном случае термин «достоверность» характеризует степень уверенности экспертов в том, что рассматриваемый параметр обладает теми или иными свойствами.

Для каждого из получаемых в результате декомпозиции по сечениям множеств R_a определяется область исходов \bar{C}_a , для которых не выполняется целевое отношение, после чего рассчитываются площади областей S_{R_a} и $S_{\bar{C}_a}$. Графическое отображение области \bar{C}_a для целевого отношения « x меньше, либо равно y » представлено в системе координат xOy на рис. 2. В частности, данная область соответствует исходам, в которых уровень фактически необходимых затрат x превысит величину выделяемого финансирования y .

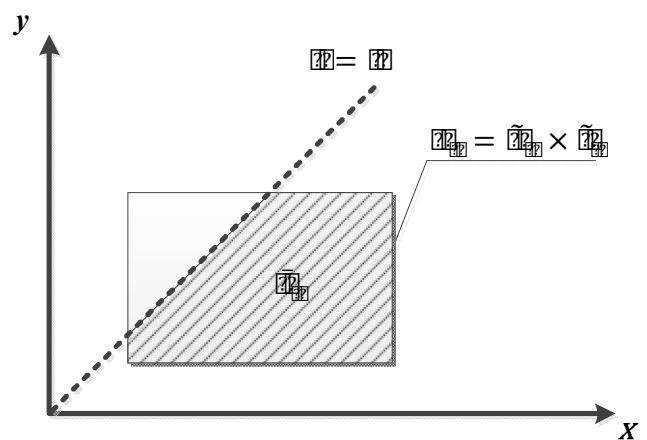


Рис. 2. Графическое представление области невыполнения целевых отношений для сечения a

Затем для каждого уровня достоверности оценивается целевой риск как возможность наступления неблагоприятного исхода (не соответствующего целевому отношению) при помощи геометрического способа определения вероятности наступления случайного события [5]:

$$\gamma = \frac{S_{\bar{c}_a}}{S_{R_a}}, \quad (2)$$

где γ_a – вероятность неблагоприятного исхода (невыполнения целевого отношения), представляющая собой точечное значение показателя риска для уровня достоверности a .

Например, достоверности суждения экспертов на уровне 0,8 соответствуют величина прогнозируемых затрат на создание элемента ОГКА с диапазоном от 120 млн. руб. до 130 млн. руб. и величина предельного объёма выделяемого финансирования в интервале от 110 млн. руб. до 125 млн. руб. Показатель риска для данного уровня достоверности принимает значение 0,75.

Каждому значению γ_a ставится в соответствие значение достоверности высказывания «Значение показателя риска равно γ_a », равное a , при этом совокупность пар (a, γ_a) формирует нечёткое множество оценок γ_a , представляющее собой нечёткий показатель риска вида

$$\tilde{G} = (\mu_G(\gamma) / \gamma, \gamma \in G), \quad (3)$$

где $\mu_G(\gamma) = a$, $\gamma = \gamma_a$, G – множество значений показателя риска γ .

На основании полученных значений γ для $\mu_G(\gamma) \in [0; 1]$ может быть построен график функции принадлежности полученного нечёткого показателя риска $\mu_G(\gamma)$. При этом значения γ представляют собой количественную оценку риска для различных уровней достоверности.

В зависимости от используемых средств визуализации и аналитической поддержки могут применяться различные способы для определения границ областей R_a и \bar{C}_a , а также значений S_{R_a} , $S_{\bar{C}_a}$ и γ_a , в частности, удобным средством аналитических расчётов и визуализации данных является пакет прикладных программ Mathcad. Применение методов сплайн-интерполяции позволяет на основании значений γ сформировать функцию принадлежности $\mu_G(\gamma)$ в численном виде с возможностью расчёта значения μ_G для любых значений $\gamma \in [0; 1]$. Общий вид возможных графиков $\mu_G(\gamma)$, построенных с использованием средств Mathcad, представлен на рис. 3. Таким образом, предложенный подход позволяет осуществить количественную оценку целевого риска в условиях отсутствия необходимых статистических данных. Использование полученных оценок (3) обеспечивает учёт неопределённостей различного рода, влияющих на реализуемость стратегий развития и достижимость требуемого варианта облика ОГКА. В качестве используемых показателей могут рассматриваться сроки, стоимость выполнения мероприятий жизненного цикла при развитии ОГКА,

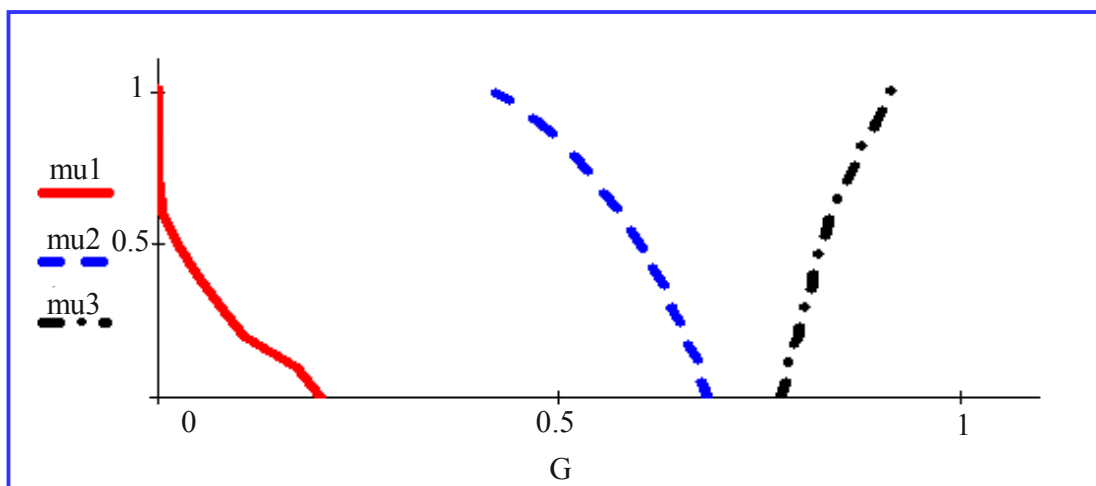


Рис. 3. Пример функций принадлежности нечёткого показателя риска, построенных в среде Mathcad

а также различные показатели качества элементов ОГКА. При этом необходимым условием к применению предложенного подхода является возможность описания значений ЦП в виде нечётких множеств.

Использование нечёткого показателя риска \tilde{G} также позволяет:

- оценить диапазон возможного риска, как длину интервала $\left[\min_{\gamma \in G} \gamma, \max_{\gamma \in G} \gamma \right]$;
- получить точечную оценку уровня риска для заданного значения достоверности;
- оценить устойчивость получаемых оценок риска на всём диапазоне изменения достоверности.

Литература

1. Макаренко Д. М., Потюпкин А. Ю. Системный анализ космических аппаратов / Д. М. Макаренко, А. Ю. Потюпкин. – М. : МО РФ, 2007. – 331 с.
2. Буренок В. М., Косенко А. А., Лавринов Г. А. Техническое оснащение Вооружённых сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологи-

ческие аспекты / В. М. Буренок и др. – М. : Издательский дом «Граница», 2008. – 728 с.

3. Потюпкин А. А., Молоканов Г. Г. Способ оценки риска на основе нечёткой информации // Труды XXXIV Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем»: Сборник № 7. – Серпухов: Военная академия РВСН имени Петра Великого (филиал), 2015. – С. 100 – 103.
4. Воробьёв С. Н., Уткин В. Б. Теория обоснования военно-технических решений / С. Н. Воробьёв, В. Б. Уткин. – М. : РВСН, 2003. – 468 с.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1972. – 552 с.
6. Волков И. С., Потюпкин А. А. Методика анализа отказов сложных технических систем на различных этапах эксплуатации // Вопросы электромеханики. Труды НИИ ВНИИЭМ. – 2009. – Т. 113. – № 6. – С. 49 – 54.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
8. Недосекин А. О. Нечётко-множественный анализ риска фондовых инвестиций: Монография / А. О. Недосекин. – СПб., 2002. – 181 с.
9. Штовба С. Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с., ил.

Поступила в редакцию 24.11.2015

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

*Александр Васильевич Пинчук, канд. воен. наук, доцент,
учёный секретарь, АО «Корпорация «ВНИИЭМ»,
т. (495) 624-03-31,
e-mail: Pinchuk_aleks@inbox.ru.*

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

FUZZY MULTIPLE APPROACH to TARGET RISK ASSESSMENT DURING CONTROL of SATELLITE CONSTELLATION EVOLUTION

G.G. Molokanov, A.V. Pinchuk, A.A. Potytkin

An approach to assessment of target risks during control of Satellite constellation evolution in conditions of indeterminacy is considered in the article. Risk factor in form of a fuzzy value, which enables to estimate probability of failures by implementation of Satellite constellation evolution strategy for different significance levels, is offered for consideration. The considered approach could be used for quantitative estimation of target risks in conditions of lack of statistic data on Satellite constellation evolution.

Key words: risk, Satellite constellation, fuzzy sets, performance targets.

List of References

1. Makarenko D. M., Potypkin A. Yu. System Analysis of Spacecraft / D. M. Makarenko, A. Yu. Potypkin. – Moscow: Publ. of MO RF [Ministry of Defence of the Russian Federation], 2007. – 331 pp.
2. Burenok V. M., Kosenko A. A., Lavrinov G. A. Technological Infrastructure of Armed Forces of the Russian Federation: Organizational, Economical and Methodological Aspects – V. M. Burenok et al. – Moscow: ‘Granitsa’ [Frontier] Publ., 2008. – 728 pp.
3. Potypkin A. A., Molokanov G. G. Method for Risk Assessment on the Basis of Fuzzy Data // Proceedings of the XXXIV. International Conference ‘Issues of Efficiency and Safety in Complex Engineering and Information Systems’: Collected Works, No. 7. – Serpukhov: Peter the Great Military Academy of SMF [Strategic Missile Forces] (Branch), 2015. – Pp. 100 – 103.
4. Vorobyov S. N., Utkin V. B. Theory for Justification of Military Engineering Solutions / S. N. Vorobyov, V. B. Utkin. – Moscow: Peter the Great Military Academy of SMF [Strategic Missile Forces], 2003. – 468 pp.
5. Ventsel E. S. Operations Analysis / E. S. Ventsel. – Moscow: Sov. Radio [Soviet Radio] Publ., 1972. – 552 pp.
6. Volkov I. S., Potypkin A. A. Failure Analysis Method for Complex Utilities Systems in Different Operational Stages // Matters of Electromechanics. RPE VNIIEEM Works. – 2009. – Vol. 113. – No. 6 – Pp. 49 – 54.
7. Zade L. Notion and Usage of Linguistic Variable for Approximate-Decision-Making / L. Zade. – Moscow: Mir [World] Publ., 1976. – 165 pp.
8. Nedosekin A. O. Fuzzy-Multiple Analysis of Investment Risk: Monograph / A. O. Nedosekin – St. Petersburg, 2002. – 181 pp.
9. Shtovba S. D. Fuzzy system Design Using MATLAB Tools: Monograph / S. D. Shtovba. – Moscow: ‘Goryachaya Linia [Hot Line] – Telecom’ Publ., 2007. – 288 pp.

Gennady Gennadyevich Molokanov, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,
Peter the Great Military Academy of SMF [Strategic Missile Forces],
tel.: (926) 566-98-22,
e-mail: Gennadiy.molokanov@gmail.com.

Alexandr Vasilyevich Pinchuk, Ph. D. of Military Science, Associate Professor, Academic Secretary,
JC ‘VNIIEEM Corporation’,
tel.: (495)624-03-31, e-mail: Pinchuk_aleks@inbox.ru.

Alexandr Alexandrovich Potypkin, Ph. D. (Tech.), Junior Resercher,
Peter the Great Military Academy of SMF [Strategic Missile Forces],
tel.: (916) 797-10-65, e-mail: suntur@bk.ru.