

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ СРАВНИТЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Ю. Г. ПИЧУРИН, А. В. РАДЬКОВ

*„НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“,
141091, Московская область, г. Королев, Россия
E-mail: niiks@khrunichev.com*

При реализации космических проектов все шире используются унифицированные космические платформы (УКП). Принцип унификации состоит в возможности построения космических платформ, соответствующих по своим тактико-техническим характеристикам проектируемым на их основе космическим аппаратам, из набора надежных, отработанных, в том числе имеющих летную квалификацию, блоков и устройств. Главным образом, использование УКП обеспечивает полезную нагрузку ресурсами по массе, энергетике, условия эксплуатации, требуемую точность ориентации и стабилизации, возможности маневрирования на орбите, командную и телеметрическую информацию и др. Рассмотрены основные положения методики сравнительного оценивания технического уровня унифицированных космических платформ методом сведения многокритериальной задачи к однокритериальной, путем введения комплексного показателя эффективности, зависящего от частных показателей, т.е. выполнение так называемой свертки критериев.

Ключевые слова: *унифицированная космическая платформа, технический уровень, методика, критерий, сравнительная оценка, основные характеристик*

В настоящее время практически все автоматические космические аппараты имеют модульную конструкцию. Современный космический аппарат состоит из модуля полезной нагрузки и обеспечивающего модуля. В соответствии с ГОСТ Р 53802-2010 „Системы и комплексы космические. Термины и определения“ космическая платформа — обеспечивающий модуль автоматического космического аппарата.

Применение принципа модульного построения автоматических космических аппаратов обеспечивает сокращение сроков их создания, снижение затрат и повышает надежность аппарата в целом за счет увеличения кратности использования обеспечивающих систем, то есть космической платформы [1, 2].

Космическая платформа как основа создания космических средств различного целевого назначения относится к классу сложных технических систем и характеризуется совокупностью параметров, отражающих свойства размещаемых на ней обеспечивающих систем, приборов и устройств. Унифицированная космическая платформа (УКП) — это стандартный набор обеспечивающих систем (электропитания, управления движением, ориентации и стабилизации, терморегулирования, управления и передачи служебной телеметрической информации), которые необходимы на любом спутнике. Каждая такая платформа позволяет создавать космические аппараты с некоторым диапазоном технических характеристик.

Детальный сравнительный анализ отечественных и зарубежных УКП возможен лишь на базе полной и достоверной информации о их конструктивном исполнении и тактико-технических характеристиках бортовых служебных систем, приборов и устройств. В связи с этим представляется целесообразным анализировать основные характеристики, отражающие массоэнергетические и ресурсные возможности УКП.

Обычно космические платформы выбираются (проектируются) исходя из массы модуля полезной нагрузки, что, в свою очередь, определяет массу всего спутника и мощность системы энергоснабжения.

Анализируя несущую способность космической платформы, в качестве одного из основных показателей целесообразно использовать отношение предельно возможной массы полезной нагрузки, которая может быть установлена на нее, к массе самой платформы* [3, 4]. Очевидно: чем большее значение этого показателя достигнуто для проектируемой платформы, тем эффективнее могут быть решения задачи КА, созданного на ее основе. Обычно грузоподъемность ракеты-носителя определяет максимальную массу КА на орбите. Таким образом, чем меньше масса платформы, тем больше полезного груза может быть доставлено на заданную орбиту. С другой стороны, чем больше допустимая предельная масса полезной нагрузки, которая может быть установлена на космическую платформу, и ее энерговооруженность, тем больше создаваемый на ее основе ряд КА различного целевого предназначения, за счет возможности размещения на ней разнотипной целевой аппаратуры (оптико-электронной, радиолокационной, связи и телевидения и др.).

В настоящей статье основное внимание уделено анализу технического уровня многоцелевых УКП отечественного и зарубежного производства, используемых для создания на их основе КА ДЗЗ, связи и телевидения.

Целевая аппаратура (полезная нагрузка) может быть описана набором проектных параметров $P_n = (p_1 \dots p_r)$ и требований, которые должна обеспечить УКП, имеющая определенную конструктивно-компоновочную схему и схему полета. В качестве основных параметров полезной нагрузки можно принять [4]:

$$P_n = (M_n, N_n, \Delta_{орн}, \Delta_{стн}, T_n),$$

где M_n — масса полезной нагрузки, N_n — среднесуточное энергопотребление полезной нагрузки, $\Delta_{орн}$ — требуемая точность ориентации КА, $\Delta_{стн}$ — требуемая точность стабилизации КА, T_n — требования по сроку активного существования.

Тогда и целевая функция космической платформы, предназначенной для обеспечения работы полезной нагрузки, будет иметь вид:

$$F = f(M_p, M_n, N_p, \Delta_{орп}, \Delta_{стп}, T_p),$$

где M_p — масса космической платформы; M_n — масса возможной полезной нагрузки; N_p — электрическая мощность системы энергоснабжения платформы; $\Delta_{орп}$ — точность ориентации, обеспечиваемой платформой; $\Delta_{стп}$ — точность стабилизации, обеспечиваемой платформой, T_p — срок активного существования платформы.

Для проведения сравнительной оценки не по отдельному показателю, а по всем характеристикам платформы в целом необходимо многокритериальную задачу привести к однокритериальной, введя комплексный показатель эффективности, зависящий от частных показателей, т.е. осуществив так называемую свертку критериев. Свертка критериев может быть как объективной, основанной на физической связи между отдельными критериями, так и субъективной, основанной на введении так называемых удельных весов каждого отдельного критерия.

Для упрощения оценок в настоящей работе использована субъективная свертка. Комплексный показатель эффективности при субъективной свертке должен учитывать все рассматриваемые частные показатели, причем с учетом вклада (важности) каждого из них. Для расчета

* ГОСТ 22851-77 „Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения“. Издательство стандартов, 1997. 12 с.

комплексного показателя эффективности обеспечения платформой полезной нагрузки используется средневзвешенная сумма l основных частных показателей эффективности УКП W_i [5—7]:

$$W = \sum_{i=1}^l (k_i W_i), \quad W \rightarrow \max,$$

где k_i — удельный вес частного показателя эффективности УКП.

Удельный вес частных показателей эффективности назначается экспертным методом для разного класса задач. При этом должно соблюдаться следующее соотношение:

$$\sum_{i=1}^l k_i = 1.$$

Использовать комплексный показатель эффективности возможно, если размерность сворачиваемых показателей одинакова, иначе следует предварительно привести значения всех частных показателей эффективности к безразмерному виду. Это можно, например, сделать методом экспертного назначения так называемых приведенных показателей эффективности (оценки в балл). При этом максимальные W_{\max} значения должны быть одинаковыми для всех частных показателей, выберем 1.

Пусть необходимо выбрать наилучшую космическую платформу по комплексному показателю (исходные характеристики — показатели эффективности УКП приведены в табл. 1).

Многокритериальная задача формулируется следующим образом:

$$M_n / M_n \rightarrow \max, N_n \rightarrow \max, \Delta_{\text{ор}n} \rightarrow \min, \Delta_{\text{ст}n} \rightarrow \min, T_n \rightarrow \max.$$

Поскольку частные показатели технического уровня УКП выражены в разных физических величинах, то их необходимо привести к безразмерным показателям $W_M, W_N, W_{\text{ор}}, W_{\text{ст}}, W_T$.

Таблица 1

Частные показатели эффективности УКП

Платформа	M_n	M_n	N_n	$\Delta_{\text{ор}n}$	$\Delta_{\text{ст}n}$	T_n
УКП ₁	M_{1n}	M_{1n}	N_{1n}	$\Delta_{\text{ор}1n}$	$\Delta_{\text{ст}1n}$	T_{1n}
УКП ₂	M_{2n}	M_{2n}	N_{2n}	$\Delta_{\text{ор}2n}$	$\Delta_{\text{ст}2n}$	T_{2n}
.....
УКП _j	M_{jn}	M_{jn}	N_{jn}	$\Delta_{\text{ор}jn}$	$\Delta_{\text{ст}jn}$	T_{jn}
.....
УКП _n	M_{nn}	M_{nn}	N_{nn}	$\Delta_{\text{ор}nn}$	$\Delta_{\text{ст}nn}$	T_{nn}

Их нормирование можно выполнить по следующему правилу: $W_{\max}=1$, если УКП лучшая по этому показателю, т.е.:

$$W_{Mj} = (M_n / M_n)_j / (M_n / M_n)_{\max}; W_{Nj} = N_{nj} / N_{n\max};$$

$$W_{\text{ор}j} = 1 / (\Delta_{\text{ор}j} / \Delta_{\text{ор} \min}); W_{\text{ст}j} = 1 / (\Delta_{\text{ст}j} / \Delta_{\text{ст} \min}); W_{Tj} = T_j / T_{\max}.$$

В табл. 2 приведены нормированные значения безразмерных частных показателей эффективности обеспечения полезной нагрузки космической платформой.

Таблица 2

Платформа	W_M	W_N	$W_{\text{ор}}$	$W_{\text{ст}}$	W_T
УКП ₁	W_{M1}	W_{N1}	$W_{\text{ор}1}$	$W_{\text{ст}1}$	W_{T1}
УКП ₂	W_{M2}	W_{N2}	$W_{\text{ор}2}$	$W_{\text{ст}2}$	W_{T2}
.....
УКП _j	W_{Mj}	W_{Nj}	$W_{\text{ор}j}$	$W_{\text{ст}j}$	W_{Tj}
.....
УКП _n	W_{Mn}	W_{Nn}	$W_{\text{ор}n}$	$W_{\text{ст}n}$	W_{Tn}
k_W	k_M	k_N	$k_{\text{ор}}$	$k_{\text{ст}}$	k_T

Значения критериальной функции для различных платформ рассчитываются следующим образом:

$$W_j = k_M W_{Mj} + k_N W_{Nj} + k_{op} W_{opj} + k_{ст} W_{стj} + k_T W_{Tj}.$$

Поскольку унифицированные (многоцелевые унифицированные) космические платформы по назначению и размерности могут быть разделены на классы (например: для создания КА ДЗЗ массой более 1000; 500—1000; 100—500 и менее 100 кг), корректно сравнивать их технический уровень в каждом классе отдельно [8, 9].

При проведении сравнительного анализа технического уровня космических платформ может быть использовано различное количество параметров, характеризующих их возможности и характеристики.

Множество фирм в России и за рубежом разрабатывают унифицированные космические платформы в качестве основы создания космических средств различного целевого назначения. Такой подход позволяет повысить надежность КА, снизить сроки создания и стоимость разработки.

Предложенная методика сравнительного оценивания технического уровня унифицированных космических платформ позволяет разработчику принимать научно обоснованное решение по выбору варианта унифицированной платформы для создания на ее основе космических аппаратов ДЗЗ; обеспечить обоснованность принимаемых заказчиком (Госкорпорацией „Роскосмос“) решений при выборе лучшего образца космической платформы, предлагаемой к созданию разработчиками на конкурсной основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заичко В. А. Российская система ДЗЗ будет развиваться в рамках специализированных по целевому назначению подсистем // Геоматика. 2015. № 2. С. 12—21.
2. Райкунов Г. Г., Любченко Ф. Н., Карелин А. В. Стратегия развития космического сегмента системы дистанционного зондирования Земли в России до 2030 года // Космонавтика и ракетостроение. 2012. № 3(68). С. 5—20.
3. Ильичев А. В. Эффективность проектируемой техники. Основы анализа. М.: Машиностроение, 1991. 336 с.
4. Волоцунев В. В., Ткаченко И. С., Сафронов С. Л. Выбор проектных параметров универсальных платформ малых космических аппаратов // Вестн. Самарского государственного аэрокосмического университета. 2012. № 2(33). С. 35—46.
5. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции // Стандарты и качество. 1990. № 9. С. 33—37.
6. Методика оценки уровня конкурентоспособности промышленной продукции. М.: Изд-во стандартов, 1984. 118 с.
7. Методические указания. Установление базовых образцов для оценки технического уровня и качества промышленной продукции (РД 50-451-84). М.: Изд-во стандартов, 1984. 23 с.
8. Пичурин Ю. Г., Радьков А. В. и др. НТО о НИР „Оценка технического уровня существующих космических платформ, формирование проектного облика базовых космических платформ нового поколения с учетом реализации перспективных технических решений и технологий. Шифр НИР „Платформа-ГКНПЦ“. М., 2013. 187 с.
9. Фортескью П., Старк Дж., Суинерд Г. Разработка систем космических аппаратов. М.: Альбина Паблишер, 2017. 764 с.

Сведения об авторах

Юрий Георгиевич Пичурин

— „НИИ КС имени А. А. Максимова“ — филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; заместитель начальника комплекса;
E-mail: niiks@khrunichev.com

Александр Васильевич Радьков — канд. техн. наук, старший научный сотрудник; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; начальник комплекса; E-mail: niiks@khrunichev.com

Поступила в редакцию
26.02.18 г.

Ссылка для цитирования: Пичурин Ю. Г., Радьков А. В. Основные положения методики сравнительного оценивания технического уровня унифицированных космических платформ // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 7. С. 584—589.

BASIC CONCEPTS OF A METHOD FOR COMPARATIVE EVALUATION OF TECHNICAL LEVEL OF UNIFIED SPACE PLATFORMS

Yu. G. Pichurin, A. V. Radkov

A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch
of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC,
141091, Moscow Region, Korolev, Russia
E-mail: niiks@khrunichev.com

Unified space platforms (USP) are increasingly being used in space projects implementation. The concept of the unification principle consists in the possibility of constructing space platforms with tactical and technical characteristics corresponding to the intended purpose of the spacecraft project from a set of reliable and tested blocks and devices, including those having flying qualifications. Application of unified space platforms is mainly aimed at providing a useful load of resources by mass, energy, operating conditions, required accuracy of orientation and stabilization, maneuvering capabilities in orbit, command and telemetry information. Basic concepts of comparative evaluation of the technical level of the universal space platforms are considered. The methods in question are reducing the multicriteria problem to a one-criterion one, by introducing a complex performance indicator that depends on partial parameters, thus performing the so-called convolution of criteria.

Keywords: unified space platforms, technical level, methodology, criteria, comparative evaluation, main characteristics

REFERENCES

1. Zaichko V.A. *Geomatics*, 2015, no. 2, pp. 12–21. (in Russ.)
2. Raykunov G.G., Lyubchenko F.N., Karelin A.V. *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2012, no. 3(68), pp. 5–20. (in Russ.)
3. Il'ichev A.V. *Effektivnost' proyektiruyemoy tekhniki. Osnovy analiza* (Efficiency of the Designed Equipment. Analysis Bases), Moscow, 1991, 336 p. (in Russ.)
4. Volotsuyev V.V., Tkachenko I.S., Safronov S.L. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*, 2012, no. 2 (33), pp. 35–46. (in Russ.)
5. *Obshchiye metodicheskiye rekomendatsii, po otsenke tekhnicheskogo urovnya promyshlennoy produktsii. Standarty i kachestvo* (General Guidelines for the Assessment of the Technical Level of Industrial Products. Standards and Quality), 1990, no. 9, pp. 33–37. (in Russ.)
6. *Metodika otsenki urovnya konkurentosposobnosti promyshlennoy produktsii* (Methods of Assessing the Level of Competitiveness of Industrial Products), Moscow, 1984, 118 p. (in Russ.)
7. *Metodicheskiye ukazaniya. Ustanovleniye bazovykh obraztsov dlya otsenki tekhnicheskogo urovnya i kachestva promyshlennoy produktsii (RD 50-451-84)* (Methodical Instructions. Establishment of Basic Samples for Evaluation of Technical Level and Quality of Industrial Products (RD 50-451-84)), Moscow, 1984, 23 p. (in Russ.)
8. Pichurin Yu.G., Rad'kov A.V. et al. *Nauchno-tekhnicheskii otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote "Otsenka tekhnicheskogo urovnya sushchestvuyushchikh kosmicheskikh platform, formirovaniye proyektного oblika bazovykh kosmicheskikh platform novogo pokoleniya s uchetom realizatsii perspektivnykh tekhnicheskikh resheniy i tekhnologii". Shifr "Platforma – GKNPTS* (Scientific and Technical Report on the Research Work "Assessment of the Technical Level of Existing Space Platforms, the Formation of the Design of the Basic Space Platforms of the New Generation, Taking into Account the Implementation of Advanced Technical Solutions and Technologies), Moscow, 2013, 187 p. (in Russ.)
9. Fortescue P., Swinerd G., and Stark J. *Spacecraft Systems Engineering*, J. Wiley & Sons, 2011.

Data on authors

Yury G. Pichurin

— A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Deputy Director of Complex; E-mail: niiks@khrunichev.com

Alexander V. Radkov — PhD, Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Director of Complex; E-mail: niiks@khrunichev.com

For citation: Pichurin Yu. G., Radkov A. V. Basic concepts of a method for comparative evaluation of technical level of unified space platforms. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 7. P. 584—589 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-7-584-589