

Задачи межпроектной унификации бортовых систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли

© В.А. Ламзин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, 125993, Россия

Рассмотрены и приведены постановки задач межпроектной унификации бортовых систем при разработке модификаций космических аппаратов, входящих в состав космических систем дистанционного зондирования Земли. Показано, что при разработке комплекса перспективных космических систем возможно частичное объединение унифицированных бортовых систем и готовых изделий, обеспечивающее при заданных ограничениях минимум суммарных затрат. Приведена постановка основной задачи межпроектной унификации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с использованием готовых изделий и частично унифицированных бортовых систем и частного случая задачи — проведение экономически оправданной межпроектной унификации из полностью унифицированных бортовых систем (агрегатов) перспективных модификаций космических аппаратов. Определены исходные данные и ограничения при решении основной и частной задач. Задачи представлены в детерминированной постановке. Сформулировано понятие оптимальности выбора областей унификации каждой бортовой системы, которое характеризуется минимумом критерия, имеющего аддитивную структуру, это суммарный экономический эффект по областям унификации. Полагается, что анализ результатов решения задач межпроектной унификации при разработке перспективных модификаций космических аппаратов позволит: выявить направления межпроектной унификации, те бортовые системы, для которых она наиболее целесообразна; сформулировать основополагающие принципы проведения модернизации космических систем и создания модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в планируемый период.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, космическая система, космический аппарат, модернизация, модификация, межпроектная унификация, бортовая система

Введение. В течение последних нескольких десятилетий большое внимание в литературе [1–9] уделяется проблемам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), связанным с решением таких вопросов, как модернизация космических систем (КС) ДЗЗ, разработка модификаций космических аппаратов (КА), выбор их состава и оптимальных параметров, рациональное управление функционированием систем при наличии технических и технологических ограничений, проведение комплекса работ по восстановлению КС, расширение их технических и технологических возможностей и др. Следует отметить, что для изделий ракетно-космической техники важной и актуальной стала задача унификации, которая предполагает создание

ряда агрегатов и подсистем (топливных емкостей, устройства отделения, баллонов высокого давления и др.) КА из относительно небольшого числа их типов, что позволяет снизить затраты на разработку и изготовление изделия [10–12]. Опыт разработки различных типов КА [13–21], в том числе и КА ДЗЗ, показывает, что важным преимуществом применения идентичных подсистем и агрегатов в ряде аппаратов, кроме снижения затрат, является сокращение объема проектно-конструкторских и испытательных работ, сроков создания КА. Однако вопросы выбора рациональных параметров модификаций КА в составе системы с учетом межпроектной унификации бортовых систем и агрегатов не нашли должного освещения.

Межпроектная унификация бортовых систем и агрегатов, как правило, связана с увеличением габаритных, массовых, энергетических и других технико-экономических характеристик аппарата, которые отличаются от оптимальных значений, полученных при индивидуальной разработке объекта. Анализ значений таких характеристик позволяет выявить направления межпроектной унификации, т. е. такие бортовые системы (агрегаты), для которых она наиболее целесообразна, и дает возможность сформулировать основополагающие принципы проведения модернизации КС ДЗЗ и создания модификаций КА в планируемый период.

Цель работы — сформировать варианты и привести постановки задач межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов) перспективных модификаций КА, входящих в состав КС ДЗЗ.

Варианты задач и выбор критерия унификации. Опыт показывает [6, 9, 14, 17], что при разработке космических систем возможны два варианта задач межпроектной унификации. Первый вариант задач предполагает частичное объединение унифицированных бортовых систем (агрегатов) и готовых изделий, второй — полностью унифицированные бортовые системы (агрегаты).

Если j -я бортовая система (агрегат) используется в S задачах, то суммарные затраты $C_{\Sigma}^j(\cdot)$ без учета межпроектной унификации, как показано в [6, 14], включают составляющие затрат на разработку $C_p(\cdot)$, изготовление $C_{и}(\cdot)$, выведение C_v и эксплуатацию $C_3(\cdot)$. Предполагается, что при решении задач межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов) в сравнительном критерии эффективности затратами на эксплуатацию можно пренебречь и ограничиться затратами на разработку, изготовление и выведение, связанными с изменением массы бортовой системы (агрегата) M_i . Тогда суммарные затраты на j -ю бортовую систему $C_{\Sigma}^j(\cdot)$ можно представить в виде

$$C_{\Sigma}^j = \sum_{i=1}^S \left[(K_1 \cdot C_{pi}(\cdot) + K_2 \cdot C_{ni}(\cdot)) + K_i \cdot M_i \cdot C_{vi}(\cdot) \right], \quad (1)$$

где K_1 , K_2 и K_i — коэффициенты, учитывающие разновременность затрат на разработку, изготовление и выведение.

Количество областей унификации Ω^* ограничено, и они могут частично охватывать спектр решаемых задач.

Оптимальность выбора областей унификации j -й бортовой системы (агрегата) U_j^* характеризуется минимумом критерия вида

$$C_{\Sigma}^j = \inf \left\{ K_1 \left(\sum_{i \notin U_j^*} C_{pi}(\cdot) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \in U_j^*}}^{\Omega^*} C_{pj}(\cdot) \right) + K_2 \left(\sum_{i \notin U_j^*} C_{ni}(\cdot) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \in U_j^*}}^{\Omega^*} C_{nj}(\cdot) \right) + \left(\sum_{i \notin U_j^*} K_i M_i \cdot C_{vi}(\cdot) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \in U_j^*}}^{\Omega^*} K_j M_j^* \cdot C_{vj}(\cdot) \right) \right\}.$$

Следует отметить, что задача выбора количества и определения оптимальных границ областей унификации относится к классу комбинаторных задач, которые в общем случае решаются с учетом особенностей критерия межпроектной унификации.

Критерий межпроектной унификации j -й бортовой системы (агрегата) имеет аддитивную структуру, это суммарный экономический эффект ΔC_j по областям унификации U_j^* :

$$\Delta C_j = \max_{i \in U_j^*} \{ \Delta C_i \}.$$

Общий экономический эффект представляется в виде

$$\Delta C_{\Sigma}^* = \max \left\{ \sum_{j=1}^{\Omega^*} \left[K_1 \left(\sum_{i \in U_j^*} C_{pi}(\cdot) - C_{pj}^*(\cdot) \right) + K_2 \left(\sum_{i \in U_j^*} C_{ni}(\cdot) - C_{nj}^*(\cdot) \right) + \sum_{i \in U_j^*} K_i \cdot C_{vi}(\cdot) \cdot (M_i - M_j^*) \right] \right\}. \quad (2)$$

Постановка задач. Постановка первого (основного) варианта задачи межпроектной унификации КА ДЗЗ с использованием готовых

изделий и частично унифицированных бортовых систем (агрегатов) формулируется в следующем виде. Для заданного комплекса космических систем известны научно-технические задачи, альтернативные варианты, типы и характеристики готовых бортовых систем и агрегатов. Требуется из фиксированной совокупности разработанных перспективных бортовых систем и агрегатов КА, а также готовых изделий выбрать такие, которые обеспечили бы при заданных ограничениях минимальные суммарные затраты. Другими словами, при известных характеристиках готовых изделий осуществить экономически оправданную межпроектную унификацию бортовых систем (агрегатов) перспективных КА, подлежащих разработке, определить их количество и рациональные проектные параметры.

Пусть известно множество S задач с кратностью или количеством повторений v_i ($i = 1, 2, \dots, S$).

Вектор вариантов заданий (исходных данных) на j -ю бортовую систему (агрегат) i -й задачи $\bar{Z}_{i\phi}^j$ представляется в виде

$$\bar{Z}_{i\phi}^j = Z^j \left(Z_{i1}^j, Z_{i2}^j, \dots, Z_{im^j}^j \right),$$

где $\phi = 1, 2, \dots, m^j$, m^j — количество вариантов заданий на j -ю бортовую систему или агрегат ($j = 1, 2, \dots, m$, m — количество типов бортовых систем (агрегатов)).

Заданы начальные значения обобщенных характеристик (надежности $P_{ин}^j$ и массы $M_{ин}^j$) j -х систем для всех i -х задач. Известны типы готовых бортовых систем и агрегатов, выполняющих аналогичные функции, — \hat{m}_i^j ($i = 1, 2, \dots, \hat{N}^j$, где \hat{N}^j — количество готовых бортовых систем и агрегатов j -го типа), и их обобщенные характеристики надежности $\hat{P}_{ин}^j$ и массы $\hat{M}_{ин}^j$.

С учетом формы критерия сравнительной эффективности (1) и выражения (2) математическая постановка основной задачи межпроектной унификации из частично унифицированных бортовых систем и агрегатов КА с учетом возможности использования готовых изделий представляется в виде

$$C_{\Sigma} = \min \left\{ \sum_{i=1}^S \left[\sum_{j=1}^{m-\hat{m}} \left(K_{1j} \cdot C_{pij}(\cdot) + K_{2j} \cdot C_{nij}(\cdot) \right) + \sum_{j=1}^{\hat{m}} K_{2j} \cdot C_{nij}(\cdot) + K_i \cdot C_{vi}(\cdot) \right] \right\}$$

$$\begin{aligned}
 & - \sum_{j=1}^{m-\hat{m}} K_{\Sigma j}^* \cdot \left\{ \sum_{j=1}^{\Omega^*} \left[K_{1j} \cdot \sum_{i \in U_j^*} (C_{pij}(\cdot) - C_{pij}^*(\cdot)) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + K_{1j} \cdot \sum_{i \in U_j^*} (C_{nij}(\cdot) - C_{nij}(\cdot)) + \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. + \sum_{i \in U_j^*} K_i \cdot C_i(\cdot) \cdot (M_{ij} - M_{ji}^*) \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

Решения задачи должны удовлетворять следующим ограничениям:
 – надежность бортовых систем и агрегатов k -го КА в течение срока его активного существования не ниже установленного уровня:

$$\prod_{j=1}^m P_j^k \geq P^k,$$

где P^k — надежность k -го КА;

– максимально допустимая масса выведения КА на орбиту функционирования ограничена и представляется в виде

$$\sum_k M^k \leq M_{\text{в}} + \Delta M^*,$$

где M^k — масса k -го КА; $M_{\text{в}}$ — располагаемая масса выведения КА на орбиту функционирования; ΔM^* — располагаемый резерв массы;

– при замещении в КА бортовой системы или агрегата j -го типа готовым изделием обобщенные характеристики готового изделия (надежность \hat{P}_i^j и масса \hat{M}_i^j) должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$\hat{P}_i^j \geq P_{\text{ин}}^j,$$

$$\hat{M}_i^j \leq \hat{M}_{\text{ин}}^j,$$

где $P_{\text{ин}}^j$ и $M_{\text{ин}}^j$ — начальные (оптимальные) значения характеристик надежности и массы;

– при интеграции бортовых систем (агрегатов) в КА их габаритные характеристики не должны превышать компоновочных ограничений.

Решение задачи в такой постановке для множества S задач позволяет определить количество областей межпроектной унификации Ω_j^* , их

границы U_j^* , оптимальные проектные параметры j -й унифицированной бортовой системы (агрегата) КА ДЗЗ, максимальную экономическую эффективность разработки комплекса космических систем при заданных ограничениях.

Постановка задачи межпроектной унификации из полностью унифицированных бортовых систем и агрегатов перспективных проектов КА (частный случай первой задачи) формулируется в виде: провести экономически оправданную межпроектную унификацию из полностью унифицированных бортовых систем и агрегатов перспективных КА в составе космических систем.

Математическая постановка задачи имеет вид

$$C_{\Sigma} = \min \left\{ \sum_{i=1}^S \left[\sum_{j=1}^m (K_{1j} \cdot C_{pij}(\cdot) + K_{2j} \cdot C_{nij}(\cdot)) + K_i \cdot (C_{vi}(\cdot) + \bar{C}_{\varepsilon i}(\cdot) \cdot T_{\varepsilon i}) \right] - \right. \\ \left. - \sum_{j=1}^m K_{\Sigma j}^* \left\{ \sum_{j=1}^{\Omega^*} K_{1j} \left(\sum_{i \in U_j^*} (C_{pij}(\cdot) - C_{pij}^*(\cdot)) \right) + K_{2j} \left(\sum_{i \in U_j^*} (C_{nij}(\cdot) - C_{nij}^*(\cdot)) \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{i \in U_j^*} K_i \cdot C_i(\cdot) \cdot (M_{ij} - M_{ij}^*) \right\} \right\}; \\ \prod_{j=1}^m P_j^k \geq P^k; \\ M^k \leq M_B.$$

Заключение. Анализ источников информации показал, что КА ДЗЗ являются уникальными изделиями, допускающими решение актуальной проблемы — межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов). Выявлено, что межпроектная унификация бортовых систем позволит не только снизить затраты за счет применения идентичных подсистем и агрегатов в ряде КА, но и сократить объем проектно-конструкторских и испытательных работ, сроков создания КА.

Рассмотрена и приведена математическая постановка основной задачи межпроектной унификации КА ДЗЗ с использованием готовых изделий и частично унифицированных бортовых систем и агрегатов. Сформулировано понятие оптимальности выбора областей унификации бортовой системы (агрегата). Приведен вид критерия решения задачи межпроектной унификации, имеющий аддитивную структуру, это суммарный экономический эффект по областям унификации.

Приведена математическая постановка частного случая основной задачи — межпроектной унификации из полностью унифицированных бортовых систем (агрегатов) перспективных проектов КА.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
Министерства науки и высшего образования Российской
Федерации в рамках выполнения проекта по базовой
части государственного задания № FSFF-2020-0016.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Голубков Г.В., Манжелий М.И., Берлин А.А., Морозов А.Н., Эппельбаум Л.В. Проблемы спутниковой навигации и зондирования поверхности Земли. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2018, № 1, с. 61–73. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-61-73
- [2] Golubkov G.V., Manzhelli M.I., Berlin A.A. et al. The problems of passive remote sensing of Earth surface. *Trans. of the 5th Intern. Conf. «Atmosphere, Ionosphere Safety»*. Kaliningrad, Russia, 2016, iss. 1 (76), pp. 35–40. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1
- [3] Costes V., Cassar G., Escarrat L., Conseil S. Optical design of a compact telescope for the next generation earth observation system. *Int. Conf. on Space Optics (ICSO 2012), Ajaccio-Corsica, France, 2012.* <https://doi.org/10.1117/12.2309055>
- [4] Darnopykh V.V., Efanov V.V., Zanin K.A., Malyshev V.V. Synthesis of an Information Channel in Planning Goal Functioning of Space Remote Sensing Systems According to Quality Criteria. *Journal of Computer and System Sciences International*, 2010, vol. 49, no. 4, pp. 607–614.
- [5] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. Method of Predictive Studies of the Effectiveness of Spacecraft Modifications with Integrated Subsystem Replacement. *Solar System Research*, 2016, vol. 50 (7), pp. 604–610.
- [6] Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. *Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли*. Москва, Изд-во МАИ, 2015, 176 с.
- [7] Фортескью П., Суайнерд Г., Старк Д., ред. *Разработка систем космических аппаратов*. Москва, Альпина Паблишер, 2015, 765 с.
- [8] Алифанов О.М., Матвеев Ю.А., Ламзин В.В., Ламзин В.А. Методические основы прогнозирования эффективной модернизации космических систем ДЗЗ. *Материалы 9-й Международной конференции «Авиация и космонавтика — 2010»*. Москва, 16–18 ноября 2010 г. Санкт-Петербург, Мастерская печати, 2010, с. 102–103.
- [9] Бакланов А.И., Блинов В.Д., Горбунов И.А. и др. Аппаратура высокого разрешения для перспективного космического аппарата «Ресурс-ПМ». *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета*, 2016, т. 15, № 2, с. 30–35.
- [10] Тарасов В.А., Бараев А.В., Филимонов А.С., Боярская Р.В. Конструктивно-технологические основы унификации параметров цельнометаллических баллонов высокого давления в ракетно-космическом машиностроении. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2014, № 5, с. 70–84.
- [11] Вехов А.С., Немчанинов С.И. Унификация элементов устройства отделения космических аппаратов. *Материалы XXI Международной научно-практической конференции «Решетневские чтения»*, 2017, т. 1, с. 101–103.

- URL: <https://reshctnev.sibsau.ru/page/materialy-konferensii> (дата обращения 28.04.2021).
- [12] Матвеев Ю.А., Позин А.А., Шершаков В.М. Ракетные технические средства геофизического мониторинга, их развитие и возможность. *Общероссийский научно-технический журнал «Полет»*, 2017, № 8, с. 26–31.
- [13] Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Метод прогнозных исследований эффективности модификаций КА при комплексной замене подсистем. *Вестник НПО имени С.А. Лавочкина*, 2015, № 4, с. 53–59.
- [14] Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. *Методы прогнозирования характеристик модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли*. Москва, Изд-во МАИ, 2019, 160 с.
- [15] Занин К.А., Москатиный И.В. Основные направления развития зарубежных оптико-электронных космических систем дистанционного зондирования Земли (обзор). *Вестник НПО имени С.А. Лавочкина*, 2019, № 2 (44), с. 28–36.
- [16] Гарбук С.В., Гершензон В.Е. *Космические системы дистанционного зондирования Земли*. Москва, Издательство А и Б, 1997, 296 с.
- [17] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. The objective of defining a rational programme for the modernization of the space system for remote sensing of the Earth during the planned period. *Journal AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171, art. no. 110021, pp. 110021-1–110021-9. <https://doi.org/10.1063/1.5133255>
- [18] Кучейко А.А., ред. *Космическая съемка Земли. Спутники оптической съемки Земли с высоким разрешением*. Москва, ИПРЖР, 2001, 136 с.
- [19] Носенко Ю.И. Космическая система дистанционного зондирования Земли. *Общероссийский научно-технический журнал «Полет»*, 2006, № 11, с. 103–105.
- [20] Перминов А.Н. Возможности и перспективы развития российской космонавтики. *Аэрокосмический курьер*, 2005, № 01, с. 6–8.
- [21] Севастьянов Н.Н., Бранец В.Н., Панченко В.А., Казинский Н.В., Кондранин Т.В., Негодяев С.С. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли. *Труды МФТИ*, 2009, т. 1, № 3, с. 15–23.

Статья поступила в редакцию 07.05.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ламзин В.А. Задачи межпроектной унификации бортовых систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-6-2087>

Ламзин Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент Института № 6 «Аэрокосмический» МАИ. Область научных интересов: аэрокосмические технологии, космические системы и аппараты. Автор более 100 печатных работ и ряда монографий, а также патентов на изобретения. e-mail: 8465836@mail.ru

Tasks of inter-project unification of spacecraft on-board systems for remote sensing of the Earth

© V.A. Lamzin

Moscow Aviation Institute (National Research University),
Moscow, 125993, Russia

The article discusses and presents the formulation of problems of inter-project unification of on-board systems in the development of modifications of spacecraft that are part of space systems for remote sensing of the Earth. It is shown that when developing a complex of advanced space systems, it is possible to partially combine unified on-board systems and finished products, which, under given constraints, provides a minimum of total costs. The formulation of the main task of inter-project unification of spacecraft for remote sensing of the Earth using finished products and partially unified on-board systems and a special case of the problem — conducting an economically justified inter-project unification from completely unified on-board systems (aggregates) of promising modifications of spacecraft is given. The initial data and limitations for solving the main and particular problems are determined. The tasks are presented in a deterministic setting. The concept of optimality of the choice of areas of unification of each on-board system is formulated, which is characterized by the minimum of a criterion having an additive structure, this is the total economic effect for areas of unification. It is believed that the analysis of the results of solving the problems of inter-project unification in the development of promising modifications of spacecraft will reveal the directions of inter-project unification of those on-board systems for which it is most appropriate; to formulate the fundamental principles of modernization of space systems and creation of modifications of spacecraft for remote sensing of the Earth in the planned period.

Keywords: *remote sensing of the Earth, space system, spacecraft, modernization, modification, inter-project unification, on-board system*

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the project on the basic part of the state assignment No. FSFF-2020-0016

REFERENCES

- [1] Golubkov G.V., Manzheliy M.I., Berlin A.A., Morozov A.N., Eppelbaum L.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Estestvennyye nauki — Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2018, no. 1, pp. 61–73. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-61-73
- [2] Golubkov G.V., Manzhelli M.I., Berlin A.A., et al. The problems of passive remote sensing of Earth surface. *Trans. of the 5th Int. Conf. "Atmosphere, Ionosphere Safety"*. Kaliningrad, Russia, 2016, iss. 1 (76), pp. 35–40. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1
- [3] Costes V., Cassar G., Escarrat L., Conseil S. Optical design of a compact telescope for the next generation earth observation system. *Int. Conf. on Space Optics (ICSO 2012), Ajaccio-Corsica, France, 2012.* <https://doi.org/10.1117/12.2309055>
- [4] Darnopykh V.V., Efanov V.V., Zanin K.A., Malyshev V.V. Synthesis of an Information Channel in Planning Goal Functioning of Space Remote Sensing Sys-

- tems According to Quality Criteria. *Journal of Computer and System Sciences International*, 2010, vol. 49, no. 4, pp. 607–614.
- [5] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. Method of Predictive Studies of the Effectiveness of Spacecraft Modifications with Integrated Subsystem Replacement. *Solar System Research*, 2016, vol. 50 (7), pp. 604–610.
- [6] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Osnovy proektirovaniya modifikatsiy kosmicheskikh apparatov distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Fundamentals of designing modifications of spacecraft of the Earth remote sensing]. Moscow, MAI Publ., 2015, 176 p.
- [7] Fortescue P., Swinerd G., Stark J., ed. *Spacecraft Systems Engineering*. 4th ed. Wiley, 2011, 724 p. [In Russ.: Fortescue P., Swinerd G., Stark J., ed. Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov. Moscow, Alpina, 2015, p. 765].
- [8] Alifanov O.M., Matveev Yu.A., Lamzin V.V., Lamzin V.A. Metodicheskie osnovy prognozirovaniya effektivnoj modernizacii kosmicheskikh sistem DZZ [Methodological foundations for forecasting effective modernization of the Earth remote sensing space systems]. *Materials of the 9th Int. Conf. "Aviation and Cosmonautics—2010"*. Moscow, 16–18th November, 2010. St. Petersburg, Printing Workshop Publ., 2010, pp. 102–103.
- [9] Baklanov A.I., Blinov V.D., Gorbunov I.A., et al. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta — Herald of the Samara State Aerospace University*, 2016, vol. 15, no. 2, pp. 30–35.
- [10] Tarasov V.A., Baraev A.V., Filimonov A.S., Boyarskaya R.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2014, no. 5, pp. 70–84.
- [11] Vekhov A.S., Nemchaninov S.I. Unifikatsiya elementov ustroystva otdeleniya kosmicheskikh apparatov [Unifying Separation Devices for Spacecraft]. *Materials of the XXI International scientific and practical conference «Reshetnev Readings»*, 2017, vol. 1, pp. 101–103. Available at: <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialy-konferensii> (accessed April 28, 2021).
- [12] Matveev Yu.A., Pozin A.A., Shershakov V.M. *Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Polet» — All-Russian Scientific-Technical Journal «Polyot» (Flight)*, 2017, no. 8, pp. 26–31.
- [13] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina — Herald of the NPO named after S.A. Lavockin*, 2015, no. 4, pp. 53–59.
- [14] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Metody prognozirovaniya kharakteristik modifikatsiy kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Method for predicting the characteristics of Earth remote sensing spacecraft modifications]. Moscow, MAI Publ., 2019, 160 p.
- [15] Zanin K.A., Moskatin'ev I.V. *Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina — Herald of the NPO named after S.A. Lavockin*, 2019, no. 2 (44), pp. 28–36.
- [16] Garbuk S.V., Gershenzon V.E. *Kosmicheskie sistemy distancionnogo zondirovaniya Zemli* [Space systems for Earth remote sensing]. Moscow, A and B Publ., 1997, 296 p.
- [17] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. The Objective of Defining a Rational Programme for the Modernization of the Space System for Remote Sensing of the Earth During the Planned Period. *Journal AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171, art. no. 110021, pp. 110021-1–110021-9. <https://doi.org/10.1063/1.5133255>
- [18] Kucheiko A.A., ed. *Kosmicheskaya s"emka Zemli. Sputniki opticheskoy s"emki Zemli s vysokim razresheniem* [Space survey of the Earth. High resolution optical imaging satellites]. Moscow, IPRZR Publ., 2001, 136 p.

- [19] Nosenko Yu.I. *Obshcherossijskij nauchno-tehnicheskij zhurnal «Polet» — All-Russian Scientific-Technical Journal «Polyot» (Flight)*, 2006, no. 11, pp. 103–105.
- [20] Perminov A.N. *Aerokosmicheskij kur'er — Aerospace Courier*, 2005, no. 1, pp. 6–8.
- [21] Sevast'yanov N.N., Branec V.N., Panchenko V.A., Kazinskij N.V., Kondranin T.V., Negodyaev S.S. *Trudy MFTI — Proceeding of MIPT*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 15–23.

Lamzin V.A., Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Space System Engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University). Specializes in aerospace technology; author of over 100 publication, monographs and patents.
e-mail: 8465836@mail.ru