

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 629.78

АЛГОРИТМЫ МЕЖПРОЕКТНОЙ УНИФИКАЦИИ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В. А. Ламзин

Рассмотрены два варианта задач межпроектной унификации бортовых систем при разработке модификаций космических аппаратов, входящих в состав космических систем дистанционного зондирования Земли. Первый вариант задачи предполагает частичное объединение унифицированных бортовых систем и готовых изделий, второй – полностью унифицированные бортовые системы. При разработке алгоритмов решения задач межпроектной унификации бортовых систем рассмотрены бортовые системы двух типов. Показано, что для бортовых систем первого типа характеристики унифицированных изделий есть верхние границы характеристик какого-либо неунифицированного изделия. Для второго типа – унифицированные бортовые системы могут иметь промежуточные оптимальные значения проектных параметров, не выходящих на границы областей параметров неунифицированных систем. Выбран критерий решения задач межпроектной унификации. Разработаны метод и алгоритмы решения задач межпроектной унификации бортовых систем при разработке модификаций космических аппаратов, входящих в состав космических систем дистанционного зондирования Земли, при частичном объединении унифицированных бортовых систем и готовых изделий и из полностью унифицированных бортовых систем (агрегатов). Показано отличие алгоритма проектирования космического аппарата из полностью унифицированных бортовых систем от алгоритма с частичным объединением унифицированных бортовых систем и готовых изделий.

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

Введение

Методология проектирования космических систем (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предполагает помимо конструктивной взаимосвязи бортовых систем и агрегатов космических аппаратов (КА) (совместимости по обобщенным параметрам, перекрестным связям и др.) наличие их проектной совместимости по соотношению вероятности выполнения частных задач, масс, надежности и затрат на разработку и изготовление. В методологию проектирования КС ДЗЗ также должна органично входить задача межпроектной унификации бортовых систем и агрегатов КА с целью снижения затрат на космическую систему за счет применения идентичных изделий в ряде программ, значительного сокращения сроков создания модификаций КА.

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 типажа, что позволяет, как показывает опыт разработки, снизить затраты на разработку и изготовление изделия [1 – 4]. Опыт разработки различных типов КА [5 – 14], в том числе и КА ДЗЗ, показывает, что кроме снижения затрат за счет применения идентичных подсистем и агрегатов в ряде аппаратов, важным преимуществом унификации является сокращение объема проектно-конструкторских и испытательных работ, сроков создания КА. Однако вопросы разработки КС ДЗЗ с учетом развития техники (модернизации

системы в планируемый период), выбора рациональных параметров модификаций КА в составе системы с учетом межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов), которые в новых экономических условиях имеют свои особенности, 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, полученных при его индивидуальной разработке. Анализ таких характеристик позволяет выявить направления межпроектной унификации, те бортовые системы и агрегаты, для которых она наиболее целесообразна, и дает возможность сформулировать основополагающие принципы проведения модернизации КС ДЗЗ и создания модификаций КА в планируемый период. Проектные исследования с учетом развития (модернизации) техники неразрывно связаны с оценкой технико-экономических характеристик КС ДЗЗ с учетом межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов) и представляют научный и практический интерес.

Цель работы – определить варианты и привести математические постановки задач межпроектной унификации бортовых систем и агрегатов перспективных модификаций КА, входящих в состав КС ДЗЗ, при разработке (модернизации) систем в планируемый период.

Особенности унификации бортовых систем

Опыт разработки КС ДЗЗ показывает, что при решении задач межпроектной унификации борто-

вых систем имеет место два типа систем, имеющих свои отличительные особенности характеристик.

Для первого типа бортовых систем (агрегатов) характеристики унифицированного изделия есть верхние границы характеристик какого-либо не-унифицированного изделия. Такими характеристиками, например, могут быть мощность бортового передатчика и системы электропитания, точность стабилизации системы управления и др. При этом для бортовой системы (агрегата), включающей N программ с кратностью $v_i (i = 1, 2, \dots, N)$, выбирается максимальное значение надежности или ресурса.

Характеристики унифицированных бортовых систем (агрегатов) второго типа могут иметь промежуточные оптимальные значения проектных параметров, не выходящих на границы областей параметров неунифицированных систем. Например, для унифицированной двигательной установки значения тяги и удельного импульса могут иметь промежуточные оптимальные значения, что приводит к изменению запасов топлива и значений других характеристик. При этом, с учетом кратности реализации отдельных программ, экономический эффект может быть положительным. Для каждого типа бортовых систем строится свой алгоритм межпроектной унификации.

Суммарный экономический эффект $\Delta C_{\Sigma j}$ j -й бортовой системы (агрегата) первого типа имеет вид

$$\Delta C_{\Sigma j} = \max \left\{ \sum_{j=1}^{\Omega_j^*} \left[K_1 \left(\sum_{i \in U_j^*} C_{P_i}(\cdot) - C_{P_j}^*(\cdot) \right) + K_2 \left(\sum_{i \in U_j^*} C_{И_i}(\cdot) - C_{И_j}^*(\cdot) \right) + \sum_{i \in U_j^*} K_{B_i} C_{B_i}(\cdot) (M_i - M_j^*) \right] \right\},$$

где $C_{P_i}(\cdot)$ и $C_{И_i}(\cdot)$ – соответственно затраты на разработку и изготовление i -й бортовой системы; $C_{P_j}^*(\cdot)$ и $C_{И_j}^*(\cdot)$ – соответственно затраты на разработку и изготовление j -й унифицированной бортовой системы; C_{B_i} – удельные затраты на выведение единицы массы для i -й программы; K_1 , K_2 и K_{B_i} – соответственно коэффициенты, учитывающие разновременность затрат на разработку, изготовление и выведение; U_j^* – область унификации; Ω_j^* – количество областей унификации; M_i и M_j^* – соответственно масса i -й и j -й (унифицированной) бортовой системы.

Для решения задач унификации бортовых систем (агрегатов) первого типа предлагается метод последовательного попарного объединения программ. Сущность предлагаемого метода заключается в следующем. При рассмотрении n -й и l -й программ для бортовой системы (агрегата) КА может быть найдено значение экономического эффекта их идентичного решения, который может быть как положительным, так и отрицательным:

$$\Delta C_{n,l} = \left\{ K_1 (C_{P_n}(\cdot) + C_{P_l}(\cdot) - \max[C_{P_n}(\cdot); C_{P_l}(\cdot)]) + K_2 (C_{И_n}(\cdot) + C_{И_l}(\cdot) - \max[C_{И_n}(\cdot); C_{И_l}(\cdot)]) + [K_n C_{B_n}(\cdot) M_n + K_l C_{B_m}(\cdot) M_m - (K_n C_{B_n}(\cdot) + K_l C_{B_m}(\cdot)) \max[M_n; M_l]] \right\}.$$

Целесообразным считается объединение, отвечающее условию

$$\Delta C_{n^*, l^*} = \max_{n, l} \Delta C_{n, l} > 0. \quad (1)$$

Две бортовые системы объединяются одной большей мощности и производительности с максимальной надежностью или ресурсом. На следующем шаге рассматривается новый спектр программ с объединенной парой (n^*, l^*) . Процесс объединения продолжается, пока выполняется условие (1) и останавливается, если условие (1) не выполняется для любой пары задач.

Решение задач унификации бортовых систем второго типа имеет существенные отличия. При объединении задач характеристики выбираются не по верхним границам, а принимают оптимальные промежуточные значения. Формула для определения суммарного экономического эффекта j -й бортовой системы (агрегата) $\Delta C_{\Sigma j}$ включает изменение затрат из-за отклонения проектных параметров унифицированных бортовых систем от их оптимальных значений, не выходящих на границы областей параметров неунифицированных систем.

Алгоритмы решения задач

Опыт разработки КС ДЗЗ показывает, что при создании модификаций КА, входящих в состав космических систем, имеет место два варианта задач межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов).

Первый вариант задачи предполагает частичное объединение унифицированных бортовых систем (агрегатов) и готовых изделий, второй – полностью унифицированные бортовые системы (агрегаты).

Вначале рассмотрим алгоритм проектирования КА из частично унифицированных бортовых систем и агрегатов с учетом возможности использования готовых изделий.

При проведении межпроектной унификации для каждой j -й бортовой системы (агрегата) определяются границы областей унификации U_j^* ($j = 1, 2, \dots, S$) и их количество – Ω_j^* ; проектные параметры – масса $M_{j,q}^*$ ($q = 1, 2, \dots, \Omega_j^*$) и надежность $P_{j,q}^*$; суммар-

$$\text{ный экономический эффект } \Delta C_{\Sigma}^* = \sum_{q=1}^{\Omega_j^*} \Delta C_q^* .$$

Если масса КА M_i^* из унифицированных бортовых систем (агрегатов) не превышает значения располагаемой массы полезной нагрузки M_B , выводимой на орбиту функционирования для всех i -х программ ($i = 1, 2, \dots, N$):

$$M_i^* < M_B, \quad (2)$$

то осуществляется проверка целесообразности использования готовых изделий в следующей последовательности.

Замена j -й бортовой системы (агрегата) для i -й программы проводится при выполнении условий

$$\widehat{M}_{nj}^i \leq M_{nj}^i; \widehat{P}_{nj}^i \geq P_{nj}^i,$$

где M_{nj}^i и P_{nj}^i – соответственно начальные значения массы и надежности готовых изделий.

Если масса КА ДЗЗ из унифицированных бортовых систем или агрегатов с учетом возможности использования готовых изделий \widehat{M}_i^* не больше допустимой массы полезной нагрузки M_B для всех i -х программ ($i = 1, 2, \dots, N$):

$$\widehat{M}_i^* \leq M_B, \quad (3)$$

то определяются суммарные затраты на комплекс программ C_{Σ} с учетом межпроектной унификации и использования готовых изделий.

Если условие (3) не выполняется, то осуществляется переход к алгоритму корректировки областей унификации, в котором при введении готового изделия дополнительно проводится нормирование надежности бортовых систем (агрегатов) i -го

КА. Проверка целесообразности использования готовых изделий завершается.

Если $M_i^* > M_B$, то осуществляется переход к алгоритму корректировки областей унификации, который позволяет создать КА из унифицированных бортовых систем (агрегатов), масса которых не превышает значения располагаемой массы полезной нагрузки. Это достигается за счет исключения некоторой совокупности программ из областей унификации и перехода на новый уровень надежности бортовых систем и агрегатов при наличии системного резервирования.

Исключению из области унификации U_j^* подлжит i^* -я программа j -й бортовой системы (агрегата), для которой величина снижения эффекта унификации $\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*)$ составляет минимальное значение

$$\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) = \min \left\{ \Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) \right\},$$

где $q = 1, 2, \dots, \Omega_j^*$; $j = 1, 2, \dots, S$; $i = 1, 2, \dots, N$.

Минимальное значение величины $\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*)$ определяется в результате решения задачи унификации бортовых систем (агрегатов), исходные данные для которой не содержат i^* -й программы.

Для i^* -й программы j -й бортовой системы (агрегата) с помощью функции «штрафа» определяется снижение эффекта унификации $\Delta C_{q_j}^{i^*}(P_j^*)$ при переходе на новый уровень надежности. Под функцией «штрафа» понимается функция вектора отклонений проектных параметров бортовой системы (агрегата) от оптимального уровня. Функция «штрафа» учитывает увеличение затрат в связи с отклонением проектных параметров бортовой системы (агрегата) от оптимального уровня, ограничений на характеристики системы и др.

Если с учетом новых значений масс бортовых систем (агрегатов) условие (2) выполняется, то снижение эффекта $\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*)$ при исключении из области унификации i^* -й программы составляет:

$$\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) = \min \left\{ \Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*); \Delta C_{q_j}^{i^*}(P_j^*) \right\}.$$

Суммарный экономический эффект межпроектной унификации равен:

$$\Delta C_{\Sigma}^* = \Delta C_{\Sigma 0}^* - \Delta C_{q_j}^{i^*},$$

где $\Delta C_{\Sigma 0}^*$ – первоначальное значение эффекта унификации.

Далее осуществляется переход к проверке целесообразности использования готовых изделий.

Если условие (2) не выполняется, то из области унификации подлежит исключению следующая i^{**} -я программа j -й бортовой системы (агрегата), для которой снижение эффекта $\Delta C_{q_j}^{i^{**}}(\Omega_j^*)$ составляет минимальное значение

$$\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) = \min \left\{ \Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) \right\},$$

где $i = 1, 2, \dots, N - i^*$.

Определяется снижение эффекта межпроектной унификации $\Delta C_{q_j}^{i^{**}}(P_j)$ при переходе на новый уровень надежности.

Если условие (2) выполняется, то снижение эффекта межпроектной унификации при исключении i^{**} -й программы будет:

$$\Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*) = \min \left\{ \Delta C_{q_j}^{i^*}(\Omega_j^*); \Delta C_{q_j}^{i^*}(P_j^*) \right\}.$$

Суммарный экономический эффект межпроектной унификации равен

$$\Delta C_{\Sigma}^* = \Delta C_{\Sigma 0}^* - \Delta C_{q_j}^{i^*}.$$

Отличие алгоритма проектирования КА только с учетом межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов) от алгоритма, изложенного выше, в том, что исключается этап проверки целесообразности использования готовых изделий. После окончания работы алгоритма корректировки областей унификации осуществляется переход к определению суммарных затрат на комплекс программ в целом.

Заключение

Анализ источников информации показал, что КА ДЗЗ являются уникальными изделиями, допускающими решение актуальной проблемы – межпроектной унификации бортовых систем (агрегатов). Выявлено, что межпроектная унификация позволяет не только снизить затраты за счет применения идентичных подсистем и агрегатов в ряде космических аппаратов, но и сократить объем про-

ектно-конструкторских и испытательных работ, сроков создания КА.

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. Дана математическая постановка частного случая задачи межпроектной унификации из полностью унифицированных бортовых систем и агрегатов перспективных проектов КА.

Статья 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. Конструктивно-технологические основы унификации параметров цельнометаллических баллонов высокого давления в ракетно-космическом машиностроении / В. А. Тарасов, А. В. Бараев, А. С. Филимонов [и др.] // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2014. – № 5. – С. 70 – 84. – DOI : 10.18698/1812-3368-2018-1-61-73.
2. Унификация элементов устройства отделения космических аппаратов / А. С. Вехов, С. И. Немчанинов // 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). – Текст : электронный.
3. Ракетные технические средства геофизического мониторинга, их развитие и возможность / Ю. А. Матвеев, А. А. Позин, В. М. Шершаков // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – 2017. – № 8. – С. 26 – 31.
4. Малышев Г.В. Проектирование автоматических космических аппаратов. Вероятностные методы анализа / Г. В. Малышев, Х. С. Блейх, В. И. Зернов. – Москва : Машиностроение, 1982. – 152 с.
5. The Objective of Defining a Rational Programme for the Modernization of the Space System for Remote Sensing of the Earth During the Planned Period / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin // Journal AIP Conference Proceedings 2171. – 2019. – P. 110021-1 – 110021-9. – DOI : [org/10.1063/1.5133255](https://doi.org/10.1063/1.5133255).
6. Forecasting the Program for the Modernization of the Space System of Earth Remote Sensing and the Creation of Spacecraft Modifications in the Planned Period / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin [et al.] // Journal AIP Conference Proceedings 2318. – 2021. – P. 110013-1 – 110013-8. – DOI : [org/10.1063/5.0038382](https://doi.org/10.1063/5.0038382).
7. Synthesis of an Information Channel in Planning Goal Functioning of Space Remote Sensing Systems According to Quality Criteria / V. V. Darnopykh, V. V. Efanov,

- К. А. Zanin [et al.] // Journal of Computer and System Sciences international. – 2010. – Vol. 49. – No. 4. – P. 607 – 614.
8. Method of Predictive Studies of the Effectiveness of Spacecraft Modifications with Integrated Subsystem Replacement / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin // Solar System Research. – 2016. – Vol. 50. – No. 7. – P. 604 – 610.
9. Матвеев Ю. А. Основы проектирования модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Ю. А. Матвеев, В. А. Ламзин, В. В. Ламзин. – Москва : Издательство МАИ. – 2015. – 176 с.
10. Основные направления развития зарубежных оптико-электронных космических систем дистанционного зондирования Земли (обзор) / К. А. Занин, И. В. Москатиньев // Вестник НПО имени С. А. Лавочкина. – 2019. – № 2/44. – С. 28 – 36.
11. Матвеев Ю. А. Методы прогнозирования характеристик модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Ю. А. Матвеев, В. А. Ламзин, В. В. Ламзин. – Москва : Издательство МАИ. – 2019. – 160 с.
12. Аппаратура высокого разрешения для перспективного космического аппарата «Ресурс-ПМ» / А. И. Бакланов, В. Д. Блинов, И. А. Горбунов [и др.] // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2016. – Т. 15. – № 2. – С. 30 – 35.
13. Разработка систем космических аппаратов / Под ред. П. Фортецкью, Г. Суайнерда, Д. Старка ; пер. с англ. – Москва : Альпина Паблишер, 2015. – 765 с.
14. Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли / Н. Н. Севастьянов, В. Н. Бранец, В. А. Панченко [и др.] // Труды МФТИ. – 2009. – Т. 1. – № 3. – С. 15 – 23.

Поступила в редакцию 16.04.2021

Владимир Алексеевич Ламзин, доцент, кандидат технических наук,
т. 8 (916) 846-58-36, e-mail: 8465836@mail.ru.

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

ALGORITHMS INTERPROJECT UNIFICATION ONBOARD SYSTEMS OF THE EARTH REMOTE SENSING SPACECRAFTS

V. A. Lamzin

Two variants of problems of interproject unification of onboard systems in the development of modifications of spacecraft that are part of the Earth remote sensing space systems are considered. The first variant of the problem involves the partial integration of unified onboard systems and finished products, the second – completely unified onboard systems. When developing algorithms for solving problems of interproject unification of onboard systems, two types of onboard systems were considered. It is shown that for onboard systems of the first type, the characteristics of a unified product are the upper boundaries of the characteristics of any non-standardized product. For the second type, unified onboard systems may have intermediate optimal values of design parameters that do not go beyond the boundaries of the parameter regions of non-unified systems. The criterion for solving the problems of interproject unification is selected. A method and algorithms have been developed for solving problems of interproject unification of onboard systems in the development of spacecraft modifications that are part of the Earth remote sensing space systems, with partial integration of unified onboard systems and finished products, and from completely unified onboard systems. The difference between the algorithm for designing a spacecraft from completely unified onboard systems and an algorithm with partial integration of unified onboard systems and finished products is shown.

Keywords: Earth remote sensing, space system, spacecraft, modernization, modification, interproject unification, onboard system, algorithm

References

1. Problems of satellite navigation and remote sensing of earth's surface / V. A. Tarasov, A. V. Baraev, A. S. Filimonov [et al.] // Journal Vestnik of MSTU named after N. E. Bauman. Series Natural Sciences. – 2018. – No. 1. – P. 61 – 73. – DOI : 10.18698/1812-3368-2018-1-61-73.
2. Unifying Separation Devices for Spacecraft / A. S. Vehov., S. I. Nemchaninov // Materials of the XXI International scientific and practical conference «Reshetnev Readings». – 2017. – Vol. 1. – P. 101 – 103. – URL : <https://reshetnev.sibsau.ru/page/materialy-konferensii> (applied on: 28.04.2021).
3. Sounding rockets, their development and opportunities / Yu. A. Matveev, A. A. Pozin, V. M. Shershakov // All-Russian Scientific-Technical Journal «Polyot» (Flight). – 2017. – No. 8. – P. 26 – 31.
4. Malyshev G. V. Design of unmanned spacecraft. Probabilistic methods of analysis / G. V. Malyshev, Kh. S. Bleikh, V. I. Zernov. – Moscow : Mechanical Engineering, 1982. – 152 p.
5. The Objective of Defining a Rational Programme for the Modernization of the Space System for Remote Sensing of the Earth During the Planned Period / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin. // Journal AIP Conference Proceedings 2171. – 2019. – P. 110021-1 – 110021-9. – DOI : [org/10.1063/1.5133255](https://doi.org/10.1063/1.5133255).
6. Forecasting the Program for the Modernization of the Space System of Earth Remote Sensing and the Creation of Spacecraft Modifications in the Planned Period / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin [et al.] // Journal AIP Conference Proceedings 2318. – 2021. – P. 110013-1 – 110013-8. – DOI : [org/10.1063/5.0038382](https://doi.org/10.1063/5.0038382).

7. Synthesis of an Information Channel in Planning Goal Functioning of Space Remote Sensing Systems According to Quality Criteria / V. V. Darnopykh, V. V. Efanov, K. A. Zanin [et al.] // Journal of Computer and System Sciences international. – 2010. – Vol. 49. – No. 4. – P. 607 – 614.
8. Method of Predictive Studies of the Effectiveness of Spacecraft Modifications with Integrated Subsystem Replacement / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin. // Journal Solar System Research. – 2016. – Vol. 50. – No. 7. – P. 604 – 610.
9. Matveev Yu. A. Fundamentals of designing of the Earth remote sensing modifications spacecraft / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin. – Moscow : MAI Publ., 2015. – 176 p.
10. Principle directions of development of foreign Earth remote sensing electro-optical space systems (review) / K. A. Zanin, I. V. Moskatin'ev // Journal Vestnik of NPO named after S. A. Lavockin. – 2019. – No. 2 (44). – P. 28 – 36.
11. Matveev Yu.A. Method for predicting the characteristics of the Earth remote sensing spacecraft modifications / Yu. A. Matveev, V. A. Lamzin, V. V. Lamzin. – Moscow : MAI Publ., 2019. – 160 p.
12. High-resolution equipment for the advanced spacecraft «Resurs-PM» / A. I. Baklanov, V. D. Blinov, I. A. Gorbunov [et al.] // Journal Vestnik of Samara State Aerospace University. – 2016. – Vol. 15. – No. 2. – P. 30 – 35.
13. Spacecraft Systems Engineering / P. Fortescue, G. Swinerd, J. Stark, ed. ; translation from English. – Moscow: Alpina, 2015. – 765 p.
14. Analysis of modern possibilities of creating small spacecraft for Earth remote sensing / N. N. Sevast'yanov, V. N. Branec, V. A. Panchenko [et al.] // Journal Proceeding of MIPT. – 2009. – Vol. 1. – No. 3. – P. 15 – 23.

Vladimir Alekseevich Lamzin, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences,
tel.: +7 (916) 846-58-36, e-mail: 8465836@mail.ru.
(Moscow Aviation Institute (National Research University)).