

## **Анализ возможности повышения эффективности космической системы дистанционного зондирования Земли при модернизации в планируемый период**

© В.А. Ламзин

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

*Рассмотрена задача комплексной оптимизации параметров космических аппаратов и космической системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В предложенном решении учитывается развитие (модернизация) техники и технологий в планируемый период. Задача сформулирована в детерминированной постановке. Критерием при решении задачи являются приведенные суммарные затраты на реализацию проекта космической системы ДЗЗ при модернизации в планируемый период. При поиске рационального решения задачи используется ее параметрическая декомпозиция. Отдельно формируются варианты модификаций космических аппаратов в составе системы и программа модернизации системы. Вектор варьируемых параметров включает параметры модификации космических аппаратов и программы модернизации системы (количество модификаций космических аппаратов и сроки их создания). Параметры наземного сегмента и базового космического аппарата заданы. Показано, что для решения задачи наиболее рациональным является подход, основанный на построении многоуровневой схемы проектных исследований в соответствии со структурой системы. Реализуются двухуровневая модель проектных исследований и метод двухуровневой согласованной оптимизации, включающий направленную адаптацию проектных зависимостей верхнего уровня. Алгоритм решения задачи включает блоки формирования вариантов модификации космических аппаратов, оптимизации программы модернизации, оценки целевой эффективности и определения приведенных суммарных затрат на реализацию программы модернизации системы в планируемый период. Анализ возможности повышения эффективности перспективных космических систем ДЗЗ проводится по результатам решения модельной задачи. На модельном примере проведена комплексная оценка параметров и программы модернизации двух альтернативных вариантов разновысотных космических систем, расположенных на солнечно-синхронных орбитах. Дана оценка показателей эффективности рассмотренных вариантов систем. Полученные на модельном примере оценки технико-экономических характеристик могут быть использованы для детального анализа эффективности перспективных космических систем ДЗЗ с целью прогнозирования их развития и расширения области применения.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, космическая система, космический аппарат, модернизация, модификация, целевая аппаратура, параметры, показатели эффективности

**Введение.** Космические аппараты (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как объекты космических систем (КС) используются с 1960-х годов. Накоплен большой опыт реализации проектов создания КА и КС ДЗЗ как в России, так и за рубежом. Опубликовано

большое число статей, обзоров, монографий и других трудов, посвященных исследованиям в области мониторинга окружающей среды, вопросам разработки методов анализа изображений [1–3], выбора рациональных параметров систем, проведения комплекса работ по восстановлению и расширению технических и технологических возможностей КС ДЗЗ [4–10]. В литературе в определенной мере обобщен опыт реализации проектов КА и КС ДЗЗ, приводятся тактико-технические данные объектов, рассматриваются вопросы управления и эффективного применения космических систем.

Специалисты предъявляют все более высокие требования к информации о современных КА ДЗЗ. В связи с этим вопросы проектирования, создания перспективных КА ДЗЗ при наличии технико-экономических ограничений являются весьма актуальными. В литературе [4, 6, 7, 9, 10] рассмотрены различные подходы к решению проблемы повышения эффективности перспективных КС ДЗЗ: улучшение разрешающей способности и увеличение количества спектральных каналов целевой съемочной системы КА, снижение периодичности наблюдения и др., что обеспечивается благодаря высокой надежности отработанных систем и агрегатов, их конструктивно-технологической преемственности. Однако вопросы повышения эффективности КС ДЗЗ, которые в новых экономических условиях имеют свои особенности, недостаточно освещены. Опыт разработок КС ДЗЗ показывает, что во многих случаях повышение их эффективности связано в основном с созданием модификаций КА для модернизации созданной ранее базовой системы.

Реализация проектов КС ДЗЗ — сложный многоэтапный итерационный процесс, включающий рассмотрение альтернативных решений, исследование характеристик модификаций объектов (КА) в целях повышения эффективности систем при ограниченных затратах, а также с целью расширить функциональные возможности и продлить сроки их эффективного применения. Данный подход не только является экономически целесообразным, но и позволяет учитывать развитие техники, технические и технологические ограничения. Проектные исследования с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период связаны с решением вопросов повышения эффективности КС ДЗЗ, включая определение сроков создания модификаций КА и оценку их основных технико-экономических характеристик, и представляет научный и практический интерес.

Цель настоящей работы — проанализировать возможности повышения эффективности перспективных космических систем ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период.

**Постановка задачи и метод решения.** Рассматривается задача комплексной оптимизации параметров КА и КС ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период. Космическая

система ДЗЗ включает две основные подсистемы: космическую (орбитальная группировка КА) и наземную (ракетно-космический комплекс, наземный комплекс управления, наземный комплекс приема, обработки и распространения информации). Полагается, что при модернизации космической системы ДЗЗ в орбитальную группировку вводятся модификации КА.

Задача формулируется в детерминированной постановке: при заданной целевой нагрузке  $\Psi(t_{\Pi})$  и векторе параметров наземного сегмента  $\Pi_{\text{НС}}^{\bar{0}}(\cdot)$  определить рациональную программу модернизации проекта КС ДЗЗ и оптимальные параметры модификаций КА с тем, чтобы эффективность системы была не ниже заданной, а суммарные приведенные затраты на модернизацию проекта системы в планируемый период были минимальными.

Формально математическая постановка задачи представляется в виде

$$C_{\Sigma_{\text{КС}}}^{\text{М}}(\cdot) = C_{\Sigma_{\text{КА}}}^{\bar{0}}(\cdot) \cdot \eta_1(\tau) + \sum_{i=1}^n \left[ C_{\Sigma_{\text{КА}_i}}^{\text{М}}(M_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\Pi_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot), P_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot), T_{\text{САС}_i}^{\text{М}}), PR^{\text{М}}(t), \beta_i^{\text{М}}(t_{\Pi})) \right] \times \times \eta_2(\tau_i) + C_{\Sigma_{\text{НС}}}(\cdot) \cdot \eta_3(\tau) \rightarrow \min_{\Pi_{\text{КА}}^{\text{М}}(\cdot), PR^{\text{М}}(t) \in G_{\text{КС}}^{\text{М}}(\cdot)} \quad (1)$$

при

$$(W_{\text{КС}}^{\text{М}}(\Pi^{\bar{0}}(\cdot), M_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\Pi_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot), P_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot), T_{\text{САС}_i}^{\text{М}}), PR^{\text{М}}(t), \Psi(t_{\Pi})) \geq W_{\text{КС}}^{\text{М.Т.}};$$

$$\Psi(t_{\Pi}) = \Psi(t_{\Pi})^{\text{T}}; \quad PR^{\text{М}}(t) = \{t_i, N_i\};$$

$$M_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot) \leq M_{\text{КА}_i}^{\text{М.Т.}}; \quad P_{\text{КА}_i}^{\text{М}}(\cdot) \geq P_{\text{КА}_i}^{\text{М.Т.}}; \quad T_{\text{САС}_i}^{\text{М}} = T_{\text{САС}_i}^{\text{М.Т.}};$$

$$\Pi_{\text{КА}}^{\bar{0}}(\cdot) = \Pi_{\text{КА}}^{\bar{0}}(\cdot)^{\text{T}}; \quad \langle T^{\text{М}} \rangle > \langle T \rangle,$$

где  $C_{\Sigma_{\text{КС}}}^{\text{М}}(\cdot)$  — приведенные суммарные затраты на реализацию программы модернизации КС ДЗЗ в планируемый период;  $C_{\Sigma_{\text{КА}}}^{\bar{0}}$  — приведенные суммарные затраты на разработку и создание базового КА;  $C_{\Sigma_{\text{КА}_i}}^{\text{М}}(\cdot)$  — приведенные суммарные затраты на разработку и создание модификаций КА, которые вводятся в строй при модернизации системы;  $PR^{\text{М}}(t)$  — программа модернизации системы;  $\beta_i^{\text{М}}(t_{\Pi})$  — вектор определяющих (динамических) параметров;  $t_i$  — срок создания  $i$ -й модификации КА ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $n$  — количество типов модификаций КА;  $N_i$  — количество  $i$ -й модификации КА;  $C_{\Sigma_{\text{НС}}}(\cdot)$  — суммарные приведенные затраты на эксплуатацию системы в плани-

руемый период с учетом реализации программы ввода в строй модификаций КА;  $\eta_1(\tau_i)$ ,  $\eta_2(\tau_i)$  и  $\eta_3(\tau)$  — соответственно коэффициенты приведения затрат на создание базового КА и модификаций КА, на эксплуатацию программы модернизации системы;  $W_{КС}^M(\cdot)$  — вектор-функция, определяющая изменение эффективности системы при реализации программы модернизации  $PR^M(t)$  в планируемый период;  $\Pi_{КАi}^M(\cdot)$  — параметры  $i$ -й модификации КА;  $\Pi(t_{пл})$  — целевая нагрузка на систему в планируемый период;  $T_{САСi}^M$  — срок активного существования  $i$ -й модификации КА;  $\Pi^{\bar{}}(\cdot)$  — параметры ( $\Pi^{\bar{}}(\cdot) = (\Pi_{КА}^{\bar{}}, \Pi_{НС}^{\bar{}})$ ) базовой КС ДЗЗ;  $M_{КАi}^M(\cdot)$  — масса  $i$ -й модификации КА;  $P_{КАi}^M(\cdot)$  — надежность  $i$ -й модификации КА;  $\langle T^M \rangle$  — период реализации программы модернизации;  $\langle T \rangle$  — временной интервал существования базовой системы; индекс «т» — заданное (требуемое) значение.

Критерием при решении задачи (1) являются приведенные суммарные затраты на реализацию проекта КС ДЗЗ при модернизации в планируемый период.

При поиске рационального решения задачи (1) используется ее параметрическая декомпозиция. Отдельно формируются варианты модификаций КА в составе КС ДЗЗ при модернизации в планируемый период и программа модернизации КС ДЗЗ (определяются  $t_i$  и  $N_i$ ). Вектор варьируемых параметров включает параметры модификации КА  $\Pi_{КАi}^M(\cdot)$  и программы  $PR^M(t)$ . Параметры базового объекта  $\Pi_{КА}^{\bar{}}(\cdot)$  известны, рассматриваемый период  $\langle T^M \rangle$  больше  $\langle T \rangle$ .

При поиске в планируемый период эффективных проектных решений КА и КС ДЗЗ наиболее рациональным является подход, основанный на многоуровневой (иерархической) схеме управления разработкой объекта — на построении многоуровневой схемы проектных исследований в соответствии со структурой данного объекта [6, 8].

На верхнем ( $i - 1$ ) уровне управления разработкой рассматривается КС ДЗЗ, в составе которой два сегмента — космический и наземный. Один или несколько КА в КС ДЗЗ образуют космический сегмент (орбитальную группировку). В случае модернизации системы в планируемый период в состав космического сегмента входят базовый вариант КА и его модификации. При реализации модульного принципа создания космический аппарат рассматривается как объект, состоящий из двух основных подсистем: модуля служебных подсистем (МСП) и модуля целевой аппаратуры (МЦА).

На нижнем ( $i$ -м) уровне управления разработкой в общем случае детализируется структура подсистем космического и наземного сегментов. Тогда при модульном принципе создания КА на нижнем уровне управления разработкой модуль МЦА рассматривается, например, как объект, включающий подсистемы: целевую аппаратуру, бортовой радиокомплекс передачи целевой информации, систему терморегулирования и конструкцию. Модуль МСП рассматривается как объект, состоящий из следующих подсистем: бортового комплекса управления, системы энергопитания, двигательной установки, системы терморегулирования и др.

Уровнем ниже ( $i + 1$ )-го проводится дальнейшая детализация процесса реализации проекта КС ДЗЗ. Например, целевая аппаратура рассматривается как объект, состоящий из таких подсистем, как системы датчиков, блок управления считыванием информации, блок обработки информации, блок формирования сигналов.

Для решения задачи разработан алгоритм проведения исследований. Реализуется двухуровневая модель управления разработкой КС ДЗЗ и метод двухуровневой согласованной оптимизации, включающий направленную адаптацию проектных зависимостей верхнего уровня. Задача двухуровневой согласованной оптимизации формулируется в виде: пусть имеется модель системы  $M_1$ , описывающая весь объект (КС ДЗЗ), и модель  $M_2$  — более подробная для подсистем объекта. Пусть также  ${}^{i-1}P = ({}^{i-1}P, {}^{i-1}P^*)$  — параметры управления задачи верхнего уровня, а  ${}^iP$  — параметры управления задачи нижнего уровня. Причем, согласно правилам организации многоуровневого исследования,  ${}^iP \in {}^iG({}^{i-1}P^1)$  и для  $\forall l$  и  $k$  будет  ${}^iP_l = {}^{i-1}P_k$ . Тогда задача статистической двухуровневой согласованной оптимизации формулируется следующим образом: определить  ${}^{i-1}P^{1\text{опт}} = {}^{i-1}P^{1\text{опт}}$ ,  ${}^{i-1}P^{*\text{опт}} \in {}^{i-1}G({}^{i-2}P)$  и  ${}^iP^{\text{опт}} \in {}^iG({}^{i-1}P^{1\text{опт}})$ , при которых

$${}^{i-1}C({}^{i-1}C_1({}^{i-1}P^{1\text{опт}}, {}^{i-1}P^{*\text{опт}})) = {}^{i-1}C^{\min};$$

$${}^iC_1({}^iP^{\text{опт}}) = {}^iC_1^{\min};$$

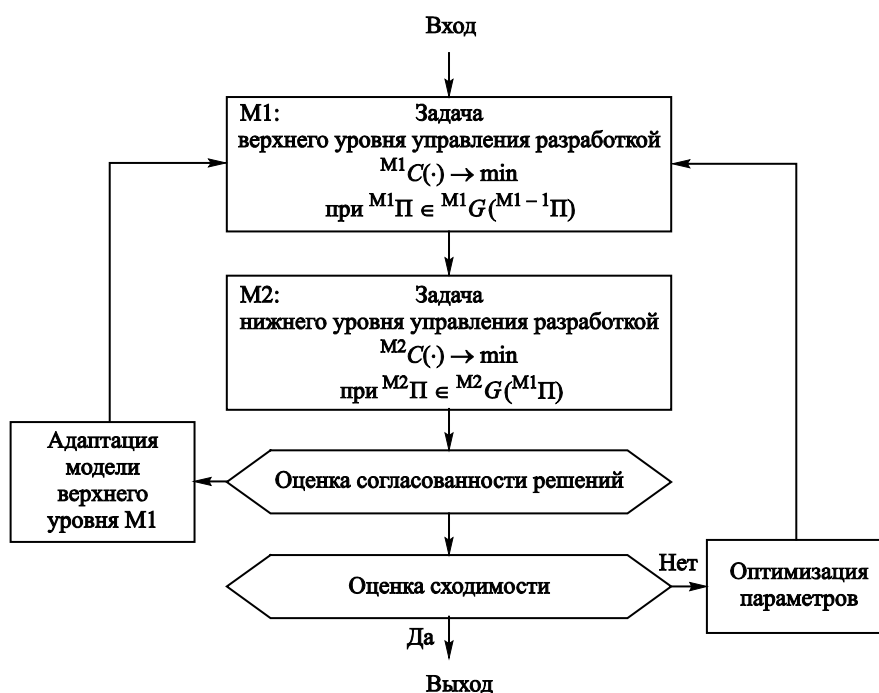
$$\Delta C^* = \left| {}^{i-1}C_1^{\min} - {}^iC_1^{\min} \right| \leq \Delta C_1^{\text{зд}} \text{ и } \left| {}^{i-1}C_{(j)} - {}^{i-1}C_{(j+1)} \right| \leq \Delta C^{\text{зд}},$$

где  $j$  — номер шага в итерационном поиске решения; индекс «зд» — заданное значение.

В случае, когда решается задача определения  ${}^iP^{\text{опт}} \in {}^iG({}^{i-1}P^{\text{зд}})$  и  ${}^{i-1}P = {}^{i-1}P^{\text{зд}}$ , при котором  ${}^iC_1({}^iP^{\text{опт}}) = {}^iC_1^{\min}$  и  $\Delta C^* = \left| {}^{i-1}C_1({}^{i-1}P^{\text{зд}}) - {}^iC_1^{\min} \right| \leq \Delta C^{\text{зд}}$ , будем

считать, что рассматривается задача оценки качества управления на адаптированных моделях.

Следует отметить, что декомпозиционный метод решения сформулированной экстремальной задачи зависит от принятого алгоритма согласованной двухуровневой оптимизации. Применяемый в настоящей статье алгоритм включает процедуры последовательного решения экстремальных задач верхнего и нижнего уровней управления разработкой, адаптации модели верхнего уровня — формирование аппроксимационных зависимостей модели М1 по данным статистических испытаний на модели М2 в области, определенной на предыдущем шаге. Блок-схема алгоритма двухуровневого согласованного оптимизационного поиска приведена на рисунке.



Блок-схема алгоритма двухуровневого согласованного оптимизационного поиска

При детализации и проведении проектных исследований на всех уровнях управления разработкой формируются соответствующие проектные и технико-экономические модели.

Алгоритм решения задачи включает блоки формирования вариантов модификации КА, оптимизации программы модернизации, оценки информационной производительности, надежности и целевой эффективности, а также определения приведенных суммарных затрат на реализацию программы модернизации КС ДЗЗ в планируемый период.

**Результаты исследований.** Рассматривается модельная задача в предположении, что космическая система ДЗЗ включает КА и их модификации с оптико-электронной целевой аппаратурой на борту и при модернизации способна решать ряд новых целевых задач: создание и обновление топографических карт масштабов до 1:2000, создание цифровых моделей рельефа местности высокой точности, инженерные изыскания объектов инфраструктуры и др.

Для решения новых целевых задач значительно повышены требования к характеристикам эффективности системы: к разрешающей способности целевой аппаратуры  $R$  и периодичности наблюдения системы  $T_n$  — в 3 раза ( $R \approx 0,3$  м,  $T_n \leq 1$  суток), к информационной производительности  $I_{пр}$  — выше на один-два порядка, к количеству спектральных каналов  $N_k$  — в десятки раз. Целевые задачи решаются комплексно с применением данных различных диапазонов от целевой аппаратуры базового КА и его модификаций, работающей в панхроматическом (П) и многозональном (М) диапазонах.

Цель исследования — сравнительный анализ эффективности космических систем ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период.

Рассматриваются два альтернативных варианта КС ДЗЗ, расположенных на солнечно-синхронных орбитах высотой  $H_1 = 800$  км и  $H_2 = 450$  км наклонением  $i_1 \approx 98,55^\circ$  и  $i_2 \approx 97,16^\circ$ . Предварительный анализ показал, что для решения новых задач на модификациях КА предпочтительнее применять комбинированный вариант целевой аппаратуры со сверхвысоким значением разрешающей способности. Для каждого варианта решается задача (1) комплексной оптимизации параметров КА и КС ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период. Срок активного существования  $T_{САС}^M$  принимается равным для всех модификаций КА. При решении задачи использовались проектные и технико-экономические модели, представленные в [6].

Результаты численных исследований двух альтернативных вариантов системы при решении задачи комплексной оптимизации параметров КА и КС ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период (10 лет) приведены ниже. Основные характеристики базового КА и его модификаций для вариантов системы приведены в табл. 1 и 2.

Проведена оценка суммарных приведенных затрат на реализацию двух вариантов системы. Анализ результатов исследования показывает, что разработку и создание модификаций КА целесообразнее проводить в первые четыре года десятилетнего периода модерниза-

ции системы. Суммарные приведенные затраты на реализацию варианта системы из четырех модификаций КА с высотой орбиты, равной 450 км, на 15 % выше затрат на реализацию первого варианта системы.

Таблица 1

**Основные характеристики базового КА и его модификаций (вариант 1)**

Характеристика	Базовый КА	Модификации КА	
		КА № 1	КА № 2
Разрешение (проекция пиксела), м	0,87	0,325 (1,075)	0,3 (0,95)
Высота орбиты, км	800		
Масса, кг	350	3 335	3 565
Полоса захвата, км	14,2	20	20
Диаметр апертуры, м	0,5	1,2	1,5
Фокусное расстояние, м	4	20	21,4
Размер пиксела, мкм	8	8 П (24 М)	8 П (24 М)
Радиометрическое разрешение, бит/пиксел	8	11	14
Скорость передачи информации, Мбит/с	280	800	980
Суммарные затраты на КА, млн у.е.	50	267	281

Таблица 2

**Основные характеристики базового КА и его модификаций (вариант 2)**

Характеристика	Базовый КА	Модификации КА	
		КА № 1 (№ 2)	КА № 3 (№ 4),
Разрешение (проекция пиксела), м	0,87	0,325 (1,0)	0,3 (0,92)
Высота орбиты, км	450		
Масса, кг	350	1 730	1 889
Полоса захвата, км	8	9	9
Диаметр апертуры, м	0,5	0,68	0,84
Фокусное расстояние, м	4,0	8,9	9,6
Размер пиксела, мкм	8	6,5 (20)	6,5 (20)
Радиометрическое разрешение, бит/пиксел	8	11	14
Скорость передачи информации, Мбит/с	280	400	470
Суммарные затраты на КА, млн у.е.	50	164 (140)	175 (150)



**Заключение.** Приведена формулировка и обсуждаются особенности задачи комплексной оптимизации параметров КА с оптико-электронной целевой аппаратурой на борту и КС ДЗЗ с учетом развития (модернизации) техники в планируемый период. Задача рассмотрена в детерминированной постановке. При поиске рационального решения задачи использована ее параметрическая декомпозиция. Отдельно сформированы варианты модификаций КА в составе КС ДЗЗ и программа модернизации системы в планируемый период (10 лет). Вектор варьируемых параметров включает параметры модификаций КА и программы модернизации системы. Приведены метод и алгоритм решения задачи.

С целью определения возможностей повышения эффективности КС ДЗЗ рассмотрены два альтернативных варианта разновысотных систем, решающих одинаковые целевые задачи. На модельном примере для каждого варианта системы проведены комплексная оптимизация параметров модификаций КА и определение рациональной программы модернизации.

Результаты исследований показали, что рациональная программа модернизации проекта создания КС ДЗЗ в планируемый период с минимальными затратами на ее реализацию включает разработку двух модификаций КА массой 3 335 и 3 565 кг (вариант системы, для которой высота орбиты КА составляет 800 км). Суммарные приведенные затраты на реализацию варианта системы из четырех модификаций КА с высотой орбиты, равной 450 км, на 15 % выше затрат на реализацию первого варианта. Создание и выведение модификаций КА целесообразнее проводить в первые четыре года десятилетнего периода модернизации системы.

Полученные на модельном примере оценки технико-экономических характеристик могут быть использованы для детального анализа эффективности существующих и перспективных космических систем с целью прогнозирования их развития, расширения области применения, продления сроков использования.

## 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] Grishin V.A. Estimation of visual shoreline navigation errors. *Journal of Navigation*, 2019, vol. 72, iss. 2, pp. 389–404. DOI: 10.1017/S0373463318000875
- [3] 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

- 
- [4] 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. ID 110021, pp. 110021-1–110021-9. <https://doi.org/10.1063/1.5133255>
- [5] Фортесько П., Суайнерд Г., Старк Д., ред. *Разработка систем космических аппаратов*. Москва, Альпина Паблишер, 2015, 765 с.
- [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] Матвеев Ю.А., Ламзин В.А., Ламзин В.В. Исследование влияния надежности модификаций КА на программу развития космической системы. *Вестник НПО имени С.А. Лавочкина*, 2015, № 1, с. 41–47.
- [8] 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.
- [9] Занин К.А., Москатиньев 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.
- [10] 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 20.07.2021

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ламзин В.А. Анализ возможности повышения эффективности космической системы дистанционного зондирования Земли при модернизации в планируемый период *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2021, вып. 8.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2021-8-2101>

**Ламзин Владимир Алексеевич** — канд. техн. наук, доцент Института № 6 «Аэро-космический» 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

## **Exploring the possibility of increasing the efficiency of the Earth remote sensing space system during modernization in the planned period**

© V.A. Lamzin

Moscow Aviation Institute, Moscow, 125993, Russia

*The paper considers the problem of complex optimization of the parameters of spacecraft and the space system for Earth remote sensing (ERS). The development (modernization) of equipment and technologies in the planned period is taken into account. The problem is formulated in a deterministic setting. The criterion for solving the task is the reduced total costs for the implementation of the ERS space system project during modernization in the planned period. When searching for a rational solution to the problem, its parametric decomposition is used. Variants of spacecraft modifications as part of the system and the program of modernization of the system are formed separately. The vector of variable parameters includes the parameters of the spacecraft modification and the system modernization program, i.e. the number of modifications of this spacecraft and the timing of their creation. The parameters of the ground segment and the base spacecraft are set. The study shows that the most rational approach to solving the problem is to construct a multi-level design research diagram in accordance with the structure of the system. A two-level design research model and a two-level coordinated optimization method are implemented, including a directed adaptation of the top-level design dependencies. The algorithm for solving the problem includes blocks for forming variants of the spacecraft modification, optimizing the modernization program, assessing the target efficiency, and determining the reduced total costs for the implementation of the system modernization program in the planning period. The possibility of increasing the efficiency of future ERS space systems is explored according to the results of solving the model problem. Using the model example, the parameters and the program of modernization of two alternative options for space systems of different altitudes located in sun-synchronous orbits are comprehensively assessed. The estimation of performance indicators of the considered variants of the systems is given. The assessment of technical and economic characteristics obtained on the basis of the model example can be used for a detailed analysis of the efficiency of future ERS space systems in order to predict their development and expand the field of application.*

**Keywords:** *Earth remote sensing, space system, spacecraft, modernization, modification, target equipment, parameters, performance indicators*

### 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] Grishin V.A. Estimation of Visual Shoreline Navigation Errors. *Journal of Navigation* 2019, vol. 72 (2), pp. 1–16, (pp. 389–404). DOI: 10.1017/S0373463318000875
- [3] Golubkov G.V., Manzheliy 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, no. 1 (76), pp. 35–40. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1

- [4] 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. ID 110021, pp. 110021-1–110021-9. <http://doi.org/10.1063/1.5133255>
- [5] Fortescue P., Swinerd G., Stark J., eds. *Spacecraft Systems Engineering*. 4th ed. Wiley, 2011, 728 p. [In Russ.: Fortescue P., Swinerd G., Stark J., eds. *Razrabotka sistem kosmicheskikh apparatov*. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2015, 765 p.].
- [6] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Osnovy proektirovaniya modifikatsii kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Fundamentals of designing modifications of spacecraft for Earth remote sensing]. Moscow, MAI Publ., 2015, 176 p.
- [7] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina (Bulletin of Lavochkin Association)*, 2015, no. 1, pp. 41–47.
- [8] Matveev Yu.A., Lamzin V.A., Lamzin V.V. *Metody prognozirovaniya kharakteristik modifikatsii kosmicheskikh apparatov distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Methods for predicting the characteristics of modifications of spacecraft for Earth remote sensing]. Moscow, MAI Publ., 2019, 160 p.
- [9] Zanin K.A., Moskatinev I.V. *Vestnik NPO imeni S.A. Lavochkina (Bulletin of Lavochkin Association)*, 2019, no. 2 (44), pp. 28–36.
- [10] Sevastyanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A., Kazinskiy N.V., Kondranin T.V., Negodyaev S.S. *Trudy MFTI — Proceedings of MIPT*, 2009, vol. 1, no. 3, pp. 15–23.

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