

УДК 629.78:528.855

Н. А. АРХИПОВА, С. А. ЗОЛОТОЙ, В. М. КОРЗУН, В. Д. КОСТЮЧЕНКО,
О. Э. КУПРИЯНЕЦ, А. Л. СОБОЛЬ.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы» НАН Беларуси (УП «Геоинформационные системы»)

В статье рассматривается аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли, являющийся составной частью Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли. Целью разработки аппаратно-программного комплекса является создание автоматизированной системы оперативного анализа реализуемости заказов на космическую съемку с учетом ресурсов двух космических аппаратов, обеспечивающей поддержку принятия решений на преддоговорном этапе коммерческой деятельности. Задача автоматизации процесса оперативного анализа реализуемости заказов дистанционного зондирования Земли решается с использованием подходов многокритериальной оптимизации. Созданный аппаратно-программный комплекс позволяет увеличить скорость и качество выполнения расчетов, а также повысить точность оценки возможности космической съемки с привлечением ресурсов двух космических аппаратов за указанный период времени. Аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли прошел апробацию для двух спутников и может быть в дальнейшем использован в качестве основы для проведения оперативного анализа реализуемости с учетом ресурсов нескольких космических аппаратов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, многокритериальная оптимизация, космический аппарат, баллистическая информация.

Введение

На этапе, предшествующем заключению договора на получение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), проводится анализ возможности осуществить космическую съемку, удовлетворяющую требованиям потребителя. Происходит итерационное взаимодействие с потребителем и оценка возможности съемки с учетом требований заказчика, ограничений по углу съемки и высоте Солнца, характеристик и баллистической информации космических аппаратов при рациональном и эффективном использовании всех имеющихся ресурсов.

В настоящее время для получения данных ДЗЗ все чаще привлекаются группировки космических аппаратов, которые могут состоять из спутников, различных по характеристикам

бортовой аппаратуры [1, 2]. В этих условиях актуальной становится задача автоматизации оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с учетом использования ресурсов более одного космического аппарата.

Разработка системы

В УП «Геоинформационные системы» создан аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли (АПК АР) [3], который является автоматизированной системой оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ. Комплекс разработан с использованием подходов многокритериальной оптимизации [4–8]. АПК АР предназначен для поддержки

принятия решений при преддоговорном оперативном анализе реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с привлечением ресурсов двух космических аппаратов, у которых совпадают целевые параметры, высота и наклонение орбиты.

1. Постановка задачи проектирования системы

Для автоматизации процесса оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ была использована упрощенная математическая модель планирования работы целевой аппаратуры космических аппаратов ДЗЗ.

Рассмотрим постановку общей задачи построения плана космической съемки заказов различных потребителей с использованием ресурсов нескольких космических аппаратов [9]. Эта задача является задачей многокритериальной оптимизации, в которой частными критериями оптимальности является среднеквадратичное отклонение от функций потребностей конкретных потребителей данных ДЗЗ.

Пусть множество возможных решений $X \subset E^3$ состоит из векторов $x = \{x_i\}_{i=1}^3$ трехмерного Евклидова пространства, где x_1, x_2 – географические координаты центра сегмента, который снимается, $x_3 = t$ – время съемки.

Задача многокритериальной оптимизации плана проведения космической съемки состоит в определении такого решения $x^* \in X$, которое при заданных условиях, связях и ограничениях оптимизирует векторнозначную функцию эффективности планирования, зависящую от векторного аргумента

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x) = \arg \min_{x \in X} \left(y(x) - \hat{y}(x) \right)^2 \quad (1)$$

при заданных условиях $r \in R$ и ограничениях

$$s \left(\hat{y}(x) \right) \leq S, \quad (2)$$

которые для каждого космического аппарата обусловлены техническими характеристиками целевой аппаратуры.

В соотношении (1): $y(x) = \{y_k(x)\}_{k=1}^s$ – безразмерная векторнозначная функция потребностей s различных потребителей в спутниковой информации, $\hat{y}(x) = \{\hat{y}_k(x)\}_{k=1}^s$ – реальная степень удовлетворения потребностей потребителей в информации ДЗЗ.

Условия, которые описываются вектором r , заданным на множестве возможных факторов R , представляют собой статистические и прогностические данные относительно условий съемки, например, облачность.

В соотношении (2): $s \left(\hat{y}(x) \right)$ – объем информации, который определяется количеством возможных снимков, $S \in R$ – имеющийся бортовой ресурс (объем бортового запоминающего устройства) космических аппаратов, который необходимо рационально распределить между потребителями. Принадлежит множеству R , которое определяет факторы (условия, связи и ограничения), влияющие на решение задачи планирования.

Таким образом, во множестве R учитываются метеоусловия, характеристики целевой аппаратуры космических аппаратов, ограничения по углу съемки и высоте Солнца, баллистическая информация, зоны видимости для передачи целевой информации со спутников.

Типовая задача планирования решается на сутки. На практике полигон может быть снят за несколько недель или месяцев в зависимости от его площади. В АПК АР решается задача оценки возможности выполнения заказа за продолжительный промежуток времени. Это отличие позволяет упростить многокритериальную задачу планирования космической съемки и при прогнозировании срока выполнения заказа не учитывать метеоусловия, зоны видимости для передачи целевой информации со спутников, состояние платформы и целевой аппаратуры. Основными характеристиками для определения качества и эффективности съемки являются значение крена космического аппарата и угла возвышения Солнца над горизонтом.

Для оценки эффективности съемки системой ДЗЗ используется совокупная ценность информации, полученной в результате съемки наземных объектов в соответствии с заказами:

$$J_{i,m_i,k} = \left(1 - \frac{|\theta_{i,m_i,k}|}{\theta_{\max i}} \right) \frac{\delta_{i,m_i,k}^{\text{sun}}}{\delta_{\max k}^{\text{sun}}} P_{i,k}, \quad (3)$$

$$i = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}; m_i = \overline{1, M_i},$$

где i – номер спутника; k – номер заказа; m_i – номер витка i -го спутника; M_i – количество витков i -го спутника в интервале времени

прогнозирования; $J_{i,m_i,k}$ – эффективность выполнения съемки k -го заказа i -м спутником на m_i -м витке; $\theta_{i,m_i,k}$ – угол между надирной линией и направлением на объект съемки; $\theta_{\max i}$ – максимально возможный угол между надирной линией и направлением на объект; $\delta_{i,m_i,k}^{sun}$ – угол возвышения Солнца над горизонтом; $\delta_{\max k}^{sun}$ – максимально возможный угол возвышения Солнца над горизонтом (параметр заказа); $p_{i,k}$ – весовой коэффициент, выражающий важность выполнения k -го заказа i -м спутником при идеальных условиях (съемке в надир с максимальным углом Солнца). Чем ближе к надирной линии осуществляется съемка и чем лучше освещенность снимаемого сегмента, тем качественнее получается снимок, и увеличивается ценность целевой информации.

Суммарный критерий оптимальности съемки:

$$j = \sum_{i=1}^N \sum_{m_i=1}^{M_i} \sum_{k=1}^K J_{i,m_i,k} \cdot u_{i,m_i,k} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где $u_{i,m_i,k}$ – управляющий параметр равен «1», если проводится съемка i -м спутником k -го заказа на m_i -м витке, или «0», если не проводится съемка i -м спутником k -го заказа на m_i -м витке.

В процессе расчета плана съемки для каждого i -го спутника определяется матрица $U_i = \{u_{m_i,k}\}$, которая максимизирует критерий (4).

2. Пример реализации

Рассмотрим на примере механизм максимизации критерия оптимальности съемки. Пусть необходимо оценить возможность выполнения двух заказов ($K = 2$) за трое суток с привлечением ресурсов 2-х космических аппаратов ($N = 2$). Каждый из аппаратов за это время совершит 46 оборотов вокруг Земли ($M_1 = M_2 = 46$). Космический аппарат $i = 1$ на витке $m_1 = 24$ может осуществить съемку одного из двух заказов с различными углами крена. Для выбора наиболее ценной съемки, необходимо произвести расчеты по формуле (3) с использованием числовых значений таблице. Значения весовых коэффициентов: $p_{1,1} = 0,6$; $p_{1,2} = 0,4$.

По формуле (3) вычисляются значения $J_{1,24,1} = 0,3310$; $J_{1,24,2} = 0,1239$. Так как ценность съемки первого заказа выше, для максимизации критерия (4) управляющему параметру $u_{1,24,1}$ присваивается значение «1», $u_{1,24,2} =$

Значения параметров для расчета эффективности съемки двух заказов на одном витке

Параметр	Значение для $k = 1$ (в радианах)	Значение для $k = 2$ (в радианах)
$\theta_{i,m_i,k}$	$\theta_{1,24,1} = 0,0183$	$\theta_{1,24,2} = 0,1737$
$\theta_{\max i}$	$\theta_{\max 1} = 0,3491$	$\theta_{\max 1} = 0,3491$
$\delta_{i,m_i,k}^{sun}$	$\delta_{1,24,1}^{sun} = 0,9146$	$\delta_{1,24,2}^{sun} = 0,9143$
$\delta_{\max k}^{sun}$	$\delta_{\max 1}^{sun} = 1,5708$	$\delta_{\max 2}^{sun} = 1,5708$

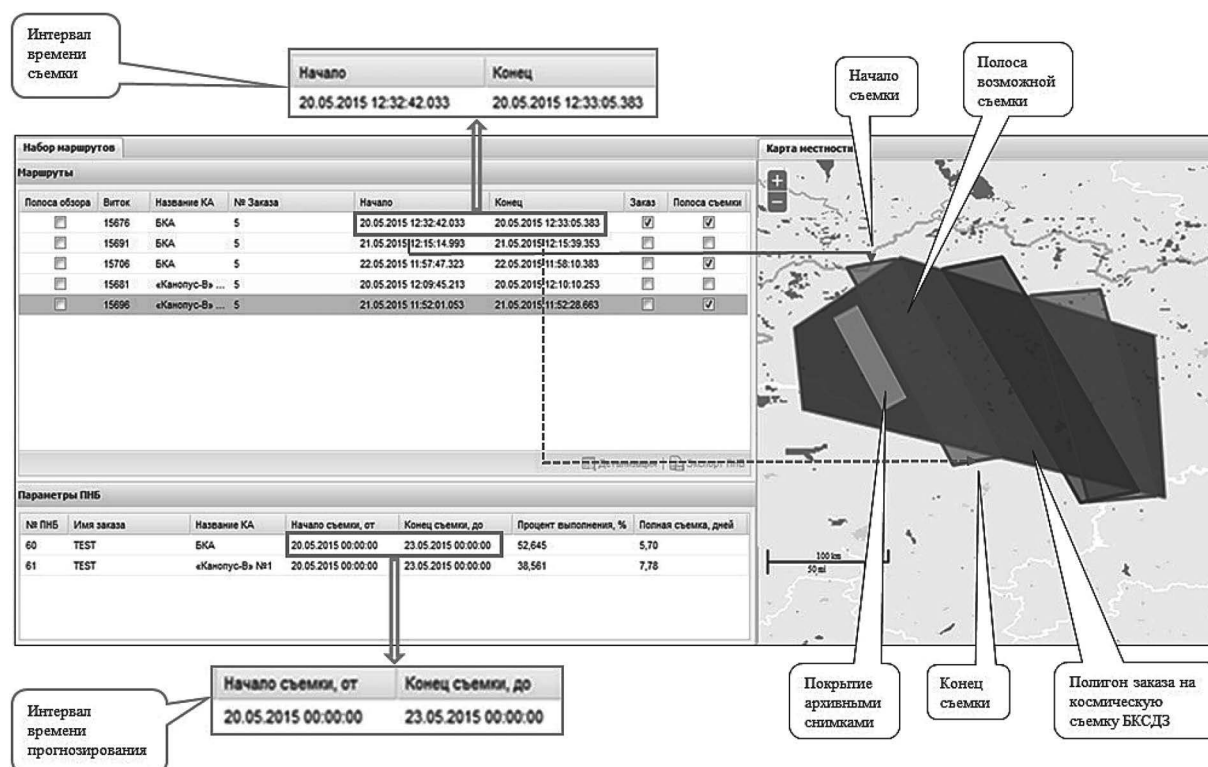
значение «0». Аналогичным образом выполняются расчеты для каждого витка. Если на m_i -м витке отсутствует пересечение полосы обзора i -го космического аппарата с полигонами заказов и съемка невозможна, эффективность съемки $J_{i,m_i,k}$ для каждого заказа полагается равной «0». Если на m_i -м витке съемка нецелесообразна, так как не выполняются требования потребителей, управляющим элементам $u_{i,m_i,k}$, $k = 1, K$, при свайваются значения «0».

3. Результат решения поставленной задачи

В результате решения задачи находятся интервалы времени съемки и координаты полос возможной съемки полигона заказа, которые зависят от крена и баллистической информации спутников, угла Солнца. Формируется покрытие полосами возможной съемки области полигона, оставшейся после покрытия архивными снимками, качество которых удовлетворило заказчика. Пример визуализации решения задачи приведен на рис. 1. На карте отображаются геопривязанный полигон заказа, покрытие полигона заказа архивными снимками и полосами возможной съемки.

На основе сформированного покрытия полигона заказа прогнозируются сроки выполнения заказа: вычисляются процент покрытия полигона заказа за время интервала прогнозирования и ожидаемое время полного покрытия полигона заказа. Результат отображается в виде таблицы: имя заказа, название космического аппарата, время начала, время окончания прогнозирования, длительность интервала прогнозирования, процент покрытия полигона заказа за время интервала прогнозирования, ожидаемое время полного покрытия полигона заказа.

Специалист по работе с потребителями анализирует результат расчета и, в случае не-



Табличное и графическое представление прогнозируемых полос съемки двумя космическими аппаратами

возможности за допустимое время прогнозирования осуществить покрытие всей территории полигона, рекомендует клиенту изменить параметры заказа (ограничения по углу съемки, по высоте Солнца, интервал времени прогнозирования). После обсуждения и согласования с потребителем модифицируются необходимые параметры заказа, и расчет производится снова с учетом изменившихся условий и ограничений.

4. Характеристика программного комплекса

Разработанный в УП «Геоинформационные системы» АПК АР входит в состав Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ) и обеспечивает поддержку принятия решений на преддоговорном этапе коммерческой деятельности БКСДЗ.

АПК АР является частью наземного сегмента БКСДЗ и взаимодействует с некоторыми смежными службами с целью получения от них прогнозной баллистической информации, границ полигонов ранее отснятых территорий и архивных снимков. После проведения оперативного анализа и принятия решения о заключении договора в АПК АР формируется заказ

на космическую съемку ДЗЗ и передается в смежные службы для дальнейшей обработки.

Архитектура специального программного обеспечения (СПО) АПК АР ориентирована на структуру наземного сегмента БКСДЗ и учитывает специфику преддоговорного этапа коммерческой деятельности, а также возможности и эффективное использование технической инфраструктуры (телекоммуникации, компьютерное оборудование). СПО АПК АР функционирует в рамках клиент-серверной архитектуры на базе WEB-технологий. Специалист по работе с потребителями получает доступ к СПО АПК АР через браузер после централизованной авторизации.

Основные программные компоненты уровня приложений СПО АПК АР строятся на основе современных технологий с открытыми кодами и с учетом стандартов взаимосвязи для открытых систем.

СПО АПК АР в соответствии с функциональным назначением подразделяется на три подсистемы:

- формирования заказа на космическую съемку БКСДЗ;
- оперативного анализа реализуемости заказа ДЗЗ;

– формирования отчета по оперативному анализу реализуемости заказа ДЗЗ.

АПК АР обеспечивает графическое представление на карте различных объектов: геопривязанного полигона заказа, полигонов ранее отснятых снимков, подспутниковых точек с направлением движения и полос обзора космических аппаратов. После проведения расчета реализуемости и получения результата возможно отображение полос прогнозируемой космической съемки на карте. Графическое представление данных осуществляется при взаимодействии с картографическим сервером БКСДЗ по протоколу Open Geospatial Consortium (OGC) Web MAP Service (WMS).

АПК АР тестировался для Белорусского космического аппарата и российского космического аппарата «Канопус-В № 1», входящих в состав российско-белорусской орбитальной группировки и имеющих схожие характеристики. В настоящее время АПК АР успешно

функционирует в составе БКСДЗ. Его применение позволяет специалисту по работе с потребителями сократить время на проведение оперативного анализа, помогает оценить сроки выполнения заказа и принять решение о заключении договора на предоставление данных ДЗЗ.

Заключение

Созданный аппаратно-программный комплекс преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли предназначен для автоматизации проведения оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ на преддоговорном этапе коммерческой деятельности БКСДЗ. АПК АР прошел апробацию для двух спутников и может быть в дальнейшем использован в качестве основы для проведения оперативного анализа реализуемости выполнения заказов ДЗЗ с учетом ресурсов нескольких космических аппаратов.

Литература

1. **Дарнопых В. В.** Автоматизация параметрического анализа целевого функционирования космических систем дистанционного зондирования Земли / В. В. Дарнопых, И. В. Усовик // Электронный журнал «Труды МАИ» [Электронный ресурс]. – 2011. – Выпуск № 47. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf>. – Дата доступа: 26.02.2016.
2. **Дарнопых В. В.** Автоматизированный программный комплекс для параметрического анализа и оптимизации планирования целевого функционирования космических систем ДЗЗ / В. В. Дарнопых, И. В. Усовик // Электронный журнал «Труды МАИ» [Электронный ресурс]. – 2013. – Выпуск № 65. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/upload/iblock/b04/b0489e8abd6dfc68189905fb36860979.pdf>. – Дата доступа: 26.02.2016.
3. **Костюченко В. Д.** Оперативный анализ реализуемости заказов ДЗЗ при прогнозировании сроков их выполнения / В. Д. Костюченко, А. В. Савитский, А. Л. Соболев // Шестой Белорусский космический конгресс. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – Т. 2. – С. 178–181.
4. **Ковтун В. С.** Выбор оптимальных вариантов маршрутов съемок для космической системы дистанционного зондирования Земли / В. С. Ковтун, А. В. Строченкин, В. Н. Фролов // Космическая наука и технологии, 2014. – № 1 (4). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energia.ru/ktt/archive/2014/03-2014/03-08.pdf>. – Дата доступа: 24.02.2016.
5. **Безняков А. М.** Методика оптимального планирования применения космических аппаратов Дистанционного зондирования Земли в обзорном режиме / А. М. Безняков, В. И. Горбулин, Д. Л. Каргу, А. С. Фадеев, В. И. Щербаков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета № 1 (39), 2013. – С. 39–45. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/view/120>. – Дата доступа: 25.02.2016.
6. **Darnopykh V. V.** Optimization of target functioning plans and constellations of satellite observation and communication systems. / V. V. Darnopykh, V. V. Malyshev // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Valeriy_Darnopykh/publication/275638455_Optimization_of_target_functioning_plans_and_constellations_of_satellite_observation_and_communication_systems/links/5540c1b90cf2b7904369bf01.pdf. – Date of access: 25.02.2016.
7. **Згуровский М. З.** Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 744 с.
8. **Струченков В. И.** Методы оптимизации в прикладных задачах / В. И. Струченков. – М.: Солон-пресс, 2009. – 320 с.
9. **Куссуль Н. Н.** Оптимизация процессов принятия решений в экспертных системах планирования работы целевой аппаратуры космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Н. Н. Куссуль, С. Л. Янчевский, А. Н. Кравченко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 64–75. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/2011v8n3/64-75.pdf. – Дата доступа: 24.02.2016.

References

1. **Darnopyh V. V.** Automation parametric analysis of the functioning of the target space systems for remote sensing of the Earth / V. V. Darnopyh, I. V. Usovik // *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»* [Electronic resource]. – 2011. – No. 47. – Mode of access: <http://www.mai.ru/upload/iblock/d83/avtomatizatsiya-parametricheskogo-analiza-tselevogo-funktsionirovaniya-kosmicheskikh-sistem-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli.pdf>. – Date of access: 26.02.2016.
2. **Darnopyh V. V.** The automated software system for parametric analysis and optimization of the target operation of space systems for Earth remote sensing planning / V. V. Darnopyh, I. V. Usovik // *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»* [Electronic resource]. – 2013. – No. 65. – Mode of access: <http://www.mai.ru/upload/iblock/b04/b0489e8a6d6dfc68189905fb36860979.pdf>. – Date of access: 26.02.2016.
3. **Kastsyuchenka V. D.** Real-time analysis of ERS requests feasibility for its deadline prediction / V. D. Kastsyuchenka, A. V. Savitsky, A. L. Sobal // *The 6th Belarusian Space Congress – Minsk: UIIP NAS of Belarus, 2014. – Vol. 2. – P. 178–181.*
4. **Kovtun V. S.** Choosing optimal survey routes for Earth remote sensing space system. / V. S. Kovtun, A. V. Strochenkin, V. N. Frolov // *Space science and technology, 2014. – No. 1 (4).* [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.en-ergia.ru/ktt/archive/2014/03–2014/03–08.pdf>. – Date of access: 24.02.2016.
5. **Beznyakov A. M.** Methods of optimal planning of using Earth remote sensing space modules in the survey mode / A. M. Beznyakov [et al.] // *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta № 1 (39), 2013. – C. 39–45.* [Electronic resource]. – Mode of access: <http://journals.ssau.ru/index.php/vestnik/article/view/120>. – Date of access: 25.02.2016.
6. **Darnopykh V. V.** Optimization of target functioning plans and constellations of satellite observation and communication systems. / V. V. Darnopykh, V. V. Malyshev // [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/profile/Valeriy_Darnopykh/publication/275638455_Optimization_of_target_functioning_plans_and_constellations_of_satellite_observation_and_communication_systems/links/5540c1b90cf2b7904369bf01.pdf. – Date of access: 25.02.2016.
7. **Zgurovskij M. Z.** System analysis: problems, methodology, application / M. Z. Zgurovskij, N. D. Pankratova. – Kiev: Naukova dumka, 2005. – 744 p.
8. **Struchenkov V. I.** Optimization methods in applied problems / V. I. Struchenkov. – Moscow: Solon-press, 2009. – 320 p.
9. **Kussul N. N.** Optimization-based decision support in expert systems for payload tasking / N. N. Kussul, S. L. Yanchevsky, A. N. Kravchenko // *Current problems in remote sensing of the Earth from space, 2011. – Vol .8. – No. 3. – P. 64–75.* [Electronic resource]. – Mode of access: http://d33.infospace.ru/d33_conf/2011v8n3/64–75.pdf. – Date of access: 24.02.2016.

Поступила
18.05.2016

После доработки
04.07.2016

Принята к печати
15.09.2016

N. Arkhipova, S. Zolotoy, V. Korzun, V. Kastsyuchenka, V. Kupryianets, A. Sobal

AUTOMATED SYSTEM OF THE OPERATIONAL ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF EARTH REMOTE SENSING

The article scopes the hardware and software of the information system for pre-contractual real-time analysis of requests feasibility for supplying of Earth remote sensing data, which is an integral part of the Belarusian Space System for Earth Remote Sensing. The main purpose of the development of this information system is the creation of computer-aided system for real-time analysis of customers' requests feasibility by using the resources of two space vehicles. This system is a decision support system in the pre-contractual phase on the everyday business practice. This automation activity is solved using multicriteria optimization approaches. The created information system allows to speed-up calculations and increase its quality as well as to augment the precision of assessment of space images acquisition by including the resources of two satellites during the requested period of time. This system has passed the evaluation test for both satellites and may be further used as the base for real-time analysis of requests feasibility taking into account the resources of several space vehicles.

Keywords: *Earth remote sensing, multicriteria optimization, space vehicle, ballistic information.*



Архипова Надежда Александровна – инженер-программист УП «Геоинформационные системы»

Nadezhda Arkhipova – Software Engineer at UE Geoinformation Systems



Золотой Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор УП «Геоинформационные системы», e-mail: gis@gis.by

Sergey Zolotoy – Candidate of Engineering Sciences, Director at UE Geoinformation Systems



Корзун Валерия Михайловна – младший научный сотрудник УП «Геоинформационные системы», e-mail: valeria_korzun@mail.ru

Valerija Korzun – Research Assistant at UE Geoinformation Systems



Костюченко Валентин Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник УП «Геоинформационные системы», e-mail: val27kas@gmail.com

Valiantsin Kastsiuchenka – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Senior Research Officer at UE Geoinformation Systems



Куприянец Ольга Эдуардовна – начальник сектора УП «Геоинформационные системы», e-mail: o.kupryianets@tut.by

Volha Kupryianets – Head of Sektor at UE Geoinformation Systems



Соболь Александр Леонидович – ведущий инженер-программист УП «Геоинформационные системы», e-mail: Animal_1990@mail.ru

Aliaksandr Sobal – Leading Software Engineer at UE Geoinformation Systems

Работа выполнена в рамках создания аппаратно-программного комплекса преддоговорного оперативного анализа реализуемости выполнения заказов дистанционного зондирования Земли (АПК АР) и модернизации специального программного обеспечения АПК АР по договорам № 17/2013-М/2014-25-021 и № 12/2015-М/2015-25-096 на выполнение опытно-конструкторской работы по модернизации Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли.