

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 629.783:621.396

© И.А. ГЛАЗКОВА, В.В. МАЛЫШЕВ, В.В. ДАРНОПЫХ, 2009

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ МИКРОСПУТНИКОВ ДЗЗ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ине́сса Анато́льевна ГЛАЗКОВА родилась в городе Москве. Аспирант МАИ. Заместитель генерального директора — генерального конструктора ФГУП «НПП ВНИИ ЭМ». Основные научные интересы — в области создания космических систем на базе малых космических аппаратов. Автор более 20 научных работ. E-mail: vniemGIA@mail.ru

Inessa A. GLAZKOVA was born in Moscow. She is a postgraduate student at MAI, the deputy-director at Russian Research Institute of Electric Mechanics. Her major research interests are in the development of system on the base of small satellites. She has published over 20 technical papers. E-mail: vniemGIA@mail.ru

Вениа́мин Васи́льевич МАЛЫШЕВ родился в 1940 г. в городе Москве. Заведующий кафедрой МАИ. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области системного анализа и управления летательными аппаратами. Автор более 200 научных работ. E-mail: VeniaminMalyshev@yandex.ru

Veniamin V. MALYSHEV, D.Sci., was born in 1940, in Moscow. He is the Head of the System Analysis and Control Department at the MAI. His major research interests are in the system analysis and flight control. He has published over 200 technical papers. E-mail: VeniaminMalyshev@yandex.ru

Вале́рий Вита́льевич ДАРНОПЫХ родился в 1973 г. в городе Владивостоке. Доцент МАИ. Кандидат технических наук, доцент. Основные научные интересы — в области системного анализа многоспутниковых и многоцелевых систем дистанционного зондирования Земли и связи, моделирования и оптимизации планирования процессов их целевого функционирования. Автор более 50 научных работ. E-mail: darnopykh@mail.ru

Valeriy V. DARNOPYKH, Ph.D., was born in 1973, in Vladivostok. He is an associate-professor of the System Analysis and Control Department at the MAI. His major research interests are in the system analysis of multisatellite and multifunctional observation and communication systems, modeling and optimization of operative planning of systems functioning. He has published over 50 technical papers. E-mail: darnopykh@mail.ru

В статье рассматривается задача предварительной оценки эффективности функционирования перспективной системы микроспутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Изучены пять различных вариантов построения орбитального сегмента системы, а также предложены адаптированные сценарии ее целевого функционирования, позволяющие применить метод имитационного моделирования к оценке ее эффективности. Представлены результаты моделирования и дан их анализ.

The problem of a-priori estimation of a perspective Earth observation system functioning is considered at the article. The orbital segment of the system is based in 5 micro-satellites. Five variants of orbital segment are researched and adapted scenarios of target functioning are offered also. These scenarios allow to apply a method of imitative modeling for system efficiency estimation. The results of modeling are presented and analyzed.

Ключевые слова: системы ДЗЗ, орбитальные группировки, микроспутники, бортовая целевая аппаратура, эффективность, оценка, имитационное моделирование, сравнительный анализ.

Key words: earth observation systems, constellations, micro-satellites, special on-board equipment, efficiency, estimation, imitative modeling, comparative analysis.

Введение

Космические средства ДЗЗ в настоящее время широко применяются во всем мире. Неуклонно ра-

стет разнообразие создаваемых типов космических аппаратов (КА) ДЗЗ и их общее количество. Получаемая ими космическая информация использует-

ся для решения многочисленных хозяйственных и научных задач мониторинга природной среды. На этой основе достигается ощутимое повышение эффективности производственной деятельности в таких областях, как общегеографическое и тематическое картографирование, землеустройство и землепользование, контроль источников загрязнения окружающей среды и наблюдение за экологической обстановкой в целом, гидротехника и мелиорация, лесозаготовки и лесовосстановление, планирование и обеспечение поиска полезных ископаемых, прокладка рациональных маршрутов и снижение аварийности морского и иного транспорта, добыча морепродуктов и безопасное ведение рыболовного промысла и т.д. Важнейшее значение имеют также многолетние ряды космических данных ДЗЗ для проведения климатологических исследований, изучения Земли как целостной экологической системы, обеспечения различных изысканий и работ в интересах океанографии, океанологии, гляциологии и других отраслей науки.

Последние годы характеризуются резким ростом числа космических программ ДЗЗ, а также существенным изменением их технического, организационного, маркетингового характера. Заметен разрыв между числом «сверхцентрализованных программ», связанных с запуском тяжелых, космических платформ и эксплуатацией затратоемких приемных и архивных центров, и стремительно растущим числом программ запуска малых космических аппаратов, а также развивающейся распределенной инфраструктуры приема, хранения, распространения ДЗЗ. При этом начинают лидировать программы, демонстрирующие не только наибольшую технологическую, но и «политическую» (с точки зрения ценовой и маркетинговой политики) гибкость: граница открытого и бесплатного доступа смещается в сторону более высокого разрешения (NOAA — EOS), в централизованных программах (Landsat 7, Aster) конкурентоспособным преимуществом становится политика свободного распространения и копирования данных (copyright free), в коммерческих — открытость информационных интерфейсов и гибкость лицензионной политики (RADARSAT, IRS).

При разработке средств ДЗЗ необходимо учитывать, что качество решения социально-экономических задач зависит от информативности данных, формируемых бортовой датчиковой аппаратурой, оперативности и точности передачи этих данных потребителю, а также эффективности способов их последующего анализа. Параметры технических средств к началу их практического использования должны удовлетворять требования потребителей и соответствовать техническому уровню, не уступающему уровню лучших зарубежных аналогов.

Одним из вариантов создания современной спутниковой системы ДЗЗ является применение малых и микро-КА в ее орбитальной группировке, что позволяет обслужить большое число потребителей со своими требованиями в отношении получаемой информации. В этой связи задача предварительной оценки эффективности функционирования такой системы является актуальной научно-технической задачей, имеющей прикладное значение.

В статье такая задача решается применительно к перспективной системе микроспутников ДЗЗ. Рассматриваемая задача отличается от исследованных ранее, поскольку в ней изучены пять различных вариантов построения орбитального сегмента системы, а также предложены адаптированные сценарии ее целевого функционирования, позволяющие применить метод имитационного моделирования к оценке ее эффективности. Одним из достоинств предложенного подхода к решению задачи является его универсальность, т.е. возможность применения к оценке эффективности функционирования систем ДЗЗ по различным сценариям.

1. Постановка задачи

Предполагаются известными типы и характеристики КА, которые могут входить в состав орбитального сегмента ДЗЗ. Поскольку предполагается получение предварительных результатов анализа, то поэтому не рассматриваются эволюция системы в целом и, как следствие, вопросы поддержания и восполнения космической группировки. Что касается бортового состава аппаратуры наблюдения и ее параметров, то для существующих КА они известны, а для вновь разрабатываемых должны быть определены.

Таким образом, задачу сравнительного анализа вариантов космического сегмента можно сформулировать как задачу определения наилучшей орбитальной группировки, состоящей из существующих и разрабатываемых КА, и наилучшего состава бортовой аппаратуры для вновь разрабатываемых КА.

Как показывает практика, в качестве показателей эффективности системы ДЗЗ целесообразно использовать совокупность следующих разноприродных показателей:

- оперативность получения информации о выбранном районе на заданном пункте приема информации (ППИ) $t_{оп}$ (отсчитывается от момента получения команды на борту КА на проведение съемки выбранного района);
- периодичность обновления информации о выбранном районе $t_{обн}$;
- производительность системы, задаваемая числом проконтролированных районов (объектов) за сутки $n_{пр}$;

- качество информации, характеризуемое совокупностью частных показателей:
- разрешение на местности l_{PM} ;
- точность привязки получаемых изображений к земным координатам δ_{PP} ;
- погрешность геометрических искажений в изображении наблюдаемого объекта или района $\delta_{ИС}$.

Пусть орбитальная группировка системы ДЗЗ имеет следующие характеристики:

X_{OG} — совокупность характеристик, включающая общее число КА в группировке и их орбитальные параметры;

$X_{КА}^{OCH}$ — характеристики системы ориентации и стабилизации КА, а также системы автономной навигации;

$X_{ЦА}$ — совокупность характеристик целевой аппаратуры.

Наземные ППИ пусть заданы совокупностью характеристик $X_{ППИ}$, а наблюдаемый район (районы) — совокупностью характеристик $X_{НР}$. Съёмка производится в сезонно-погодных условиях, характеризующих совокупностью параметров $X_{СПУ}$.

Тогда для введенных показателей эффективности системы ДЗЗ могут быть записаны функциональные зависимости общего вида:

$$t_{OP} = f_1 (X_{OG}, X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА}, X_{ППИ}, X_{НР}, X_{СПУ});$$

$$t_{OBN} = f_2 (X_{OG}, X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА}, X_{ППИ}, X_{НР}, X_{СПУ});$$

$$n_{PP} = f_3 (X_{OG}, X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА}, X_{ППИ}, X_{НР}, X_{СПУ}); \quad (1)$$

$$l_{PM} = f_4 (X_{OG}, X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА}, X_{СПУ});$$

$$\delta_{PP} = f_5 (X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА});$$

$$\delta_{ИС} = f_6 (X_{КА}^{OCH}, X_{ЦА}).$$

В полученных выражениях под функциональной зависимостью того или иного показателя понимается его зависимость не обязательно от всех характеристик той или иной совокупности. Например, разрешение l_{PM} зависит от высоты орбиты КА $h_{КА} \in X_{OG}$, хотя размерность X_{OG} намного больше.

Задачей оценки эффективности системы ДЗЗ является, во-первых, имитационное моделирование функционирования системы с целью установления зависимостей, входящих в (1), во-вторых, с помощью полученных зависимостей анализ вариантов построения системы ДЗЗ и нахождение варианта, удовлетворяющего требованию заказчика по основным показателям эффективности системы.

В случае детерминированного подхода к решению поставленной задачи не представляется возможным осуществить свертывание показателей (1)

в какой-либо один обобщенный показатель. Поэтому в этом случае нахождение необходимого варианта построения системы ДЗЗ осуществляется по совокупности удовлетворения всех требований к системе по перечисленным показателям, т. е.

$$(t_{OP} \leq t_{OP}^*) \wedge (t_{OBN} \leq t_{OBN}^*) \wedge \dots \wedge (\delta_{ИС} \leq \delta_{ИС}^*) \quad (2)$$

при соответствующих ограничениях на характеристики системы ДЗЗ.

2. Состав перспективной системы микроспутников ДЗЗ

Основным принципом построения космической системы на основе группировки микроспутников является создание функционально завершенного комплекса, который обеспечит весь цикл функционирования системы от запуска КА до получения конечной продукции. Реализация этого принципа осуществляется путем создания группировки микроспутников; наземного сегмента, а также ракетно-космического комплекса «Рокот». Состав и структура рассматриваемой системы ДЗЗ на базе микроспутников представлены на рис. 1.

Орбитальный сегмент системы будет состоять из нескольких КА, численный состав которых будет оптимально решать задачи потребителей и обеспечивать высокую периодичность обновления информации. Групповой вывод на орбиту будет осуществляться с помощью ракеты-носителя (РН) легкого класса «Рокот» или «Космос». Характеристики микроспутников системы представлены в табл. 1.

3. Схема имитационного моделирования и исходные данные

Рассматривается система ДЗЗ на базе пяти микроспутников. Высота орбит КА — 607 км, наклонение орбит — $97,7924^\circ$. Остальные характеристики спутников приведены в табл. 1. Рассматриваются пять вариантов орбитального построения систем.

Вариант 1. Пять солнечно-синхронных орбит, разнесенных на 5° по долготе восходящего узла (рис. 2).

Вариант 2. Одна солнечно-синхронная орбита с равномерно распределенными на ней пятью спутниками ДЗЗ (рис. 3).

Вариант 3. Система состоит из двух основных перпендикулярных плоскостей. На первой — три солнечно-синхронные орбиты, разнесенные на 7° по долготе восходящего узла, на второй — две солнечно-синхронные орбиты, разнесенные на 5° по долготе восходящего узла (рис. 4).

Вариант 4. Две перпендикулярные солнечно-синхронные орбиты. На первой три спутника размещены равномерно, на второй — два спутника разнесены по истинной аномалии на 120° (рис. 5).

СОСТАВ И СТРУКТУРА КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЗЗ НА БАЗЕ МИКРОСПУТНИКОВ



Рис. 1. Состав и структура системы микроспутников ДЗЗ

Таблица 1

Характеристики микроспутников проектируемой системы ДЗЗ

1)	Характеристики орбиты Тип – Высота – Платформа Энергетика Точность ориентации Масса полезной нагрузки	полярная, солнечно-синхронная до 850 км 180 Вт 1-2 град 17 кг			
2)	Характеристики съемочной аппаратуры	КОЭ-200		КОЭ-40	
		ПХ	МС	ПХ	МС
	Спектральные каналы, нм	400-760	415-508	400-760	415-508
			512-580		512-580
Пространственное разрешение, м	12,5	25	62,5	125	
Полоса захвата, км	102	102	510	510	
	Характеристики канала передачи данных Диапазон частот Скорость передачи данных –	Х-диапазон: от 8,025-8,400 ГГц. L-диапазон: от 1,65-1,75 ГГц. До 320 Мбит/с.			
3)	Характеристики наземного сегмента Диаметр антенны	порядка 3,5 м			
4)	Масса, кг	80 (до 100 кг)			
5)	Количество КА в орбитальной группировке	от 1 до 5			
	Количество орбит	от 1 до 5 (разное число на орбите)			



Рис. 2. Вариант 1 построения проекта системы ДЗЗ

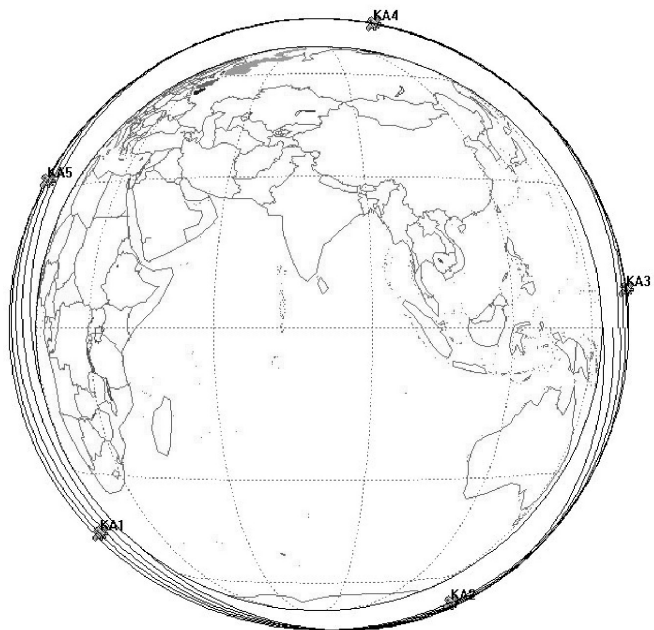


Рис. 3. Вариант 2 построения проекта системы ДЗЗ



Рис. 4. Вариант 3 построения проекта системы ДЗЗ

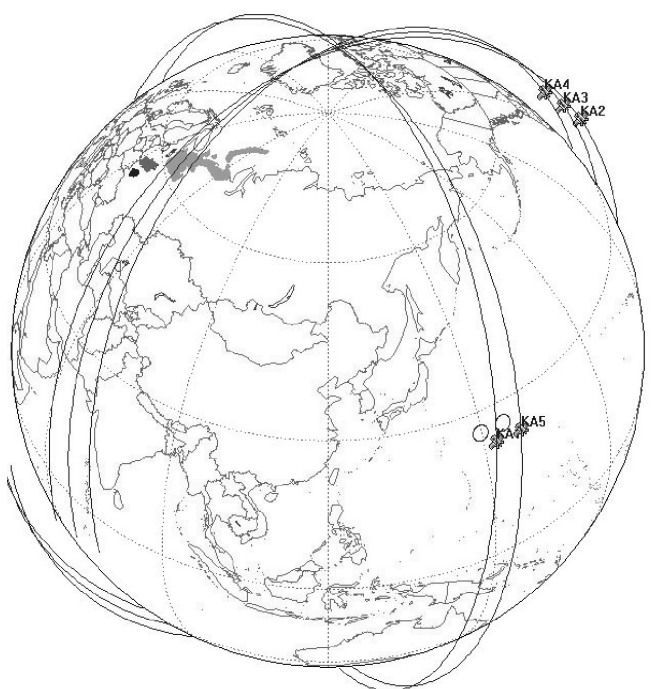


Рис. 5. Вариант 4 построения проекта системы ДЗЗ

Вариант 5. Две солнечно-синхронные орбиты, разнесенные на 5° по долготе восходящего узла. На первой три спутника размещены равномерно, на второй два спутника сопряжены с двумя спутниками с первой орбиты (рис. 6).

Представленные варианты орбитального построения системы ДЗЗ сформированы по такому принципу, чтобы в первые сутки интервала моделирования орбита каждого спутника (и, соответ-

ственно, трасса полета) проходила над заданным регионом, подлежащим мониторингу.

Рабочий угол съемочной аппаратуры — 15° (предусматривается возможность его варьирования для исследования иных вариантов целевого функционирования спутниковых систем), ширина полосы захвата в отдельных вариантах постоянна, в других сужается, поскольку спутники сближаются друг с другом с приближением к полюсу. Так, один спут-



Рис. 6. Вариант 5 построения проекта системы ДЗЗ

ник при выбранных исходных данных снимает полосу длиной 326,5 км, пять спутников — полосу обзора с переменной длиной обзора, которая уменьшается по направлению к полюсам (рис. 7), три спутника и два спутника — аналогично пяти спутникам, но с меньшей площадью в абсолютном выражении (рис. 8 и 9 соответственно).

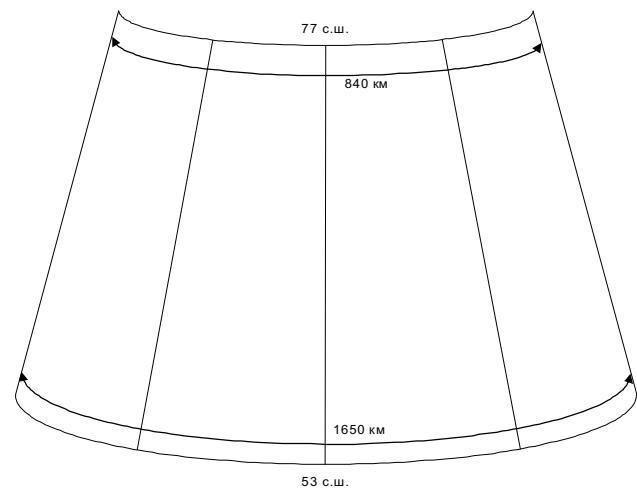


Рис. 7. Полоса обзора пяти спутников

Спутниковому мониторингу подлежат географические территории Тверской, Калужской и Архангельской областей Российской Федерации (в реальных административных границах). Эти территории и являются так называемыми заданными регионами земной поверхности, подлежащими съемке. Очевидно, что регионы являются площадными. В целях создания модели территории реги-

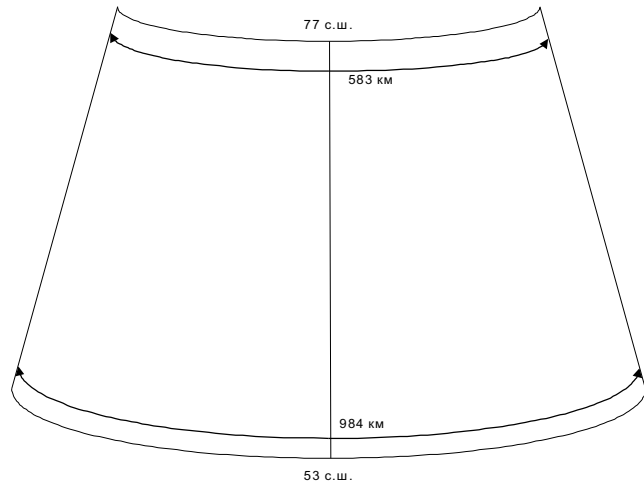


Рис. 8. Полоса обзора трех спутников

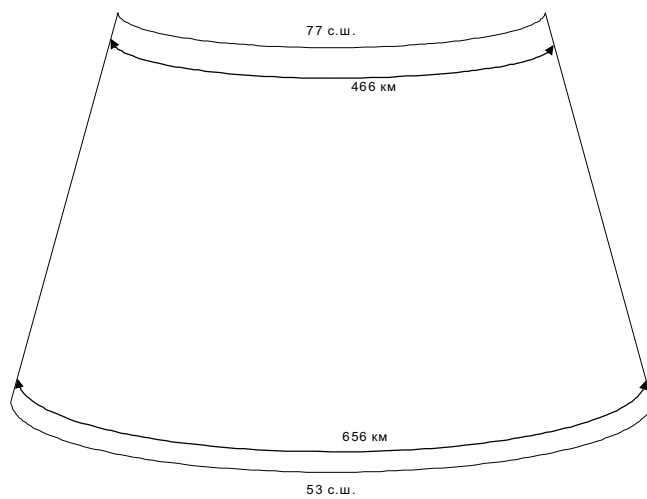


Рис. 9. Полоса обзора двух спутников

она используется ее точечная аппроксимация. Изображение указанных территорий на карте Земли представлено на рис. 10.



Рис. 10. Подлежащие мониторингу территории

Временной интервал моделирования, на котором рассчитываются показатели эффективности функционирования систем, составляет двое суток.

В процессе моделирования процесса целевого функционирования системы рассчитываются:

- минимальное и максимальное время доступа к точкам в каждом из исследуемых регионов;
- охват региона, который в соответствии с сообщением об активе суммирует охват, обеспеченный индивидуальными активами; для каждого актива, минимума, сообщают о максимальном и среднем проценте от доступной области охвата в любой момент так же, как совокупного процента от доступной области;
- захват широты в каждом регионе;
- суммарное время наблюдения каждого региона;
- суммарный охват каждого региона.

Два последних показателя выбраны в качестве основных в расчетах.

4. Результаты моделирования и их анализ

На основе рассмотренной выше модели перспективной системы ДЗЗ, орбитальный сегмент которой включает пять микроспутников, были проведены моделирование целевого функционирования и расчет показателей эффективности для каждого из пяти вариантов построения орбитальной группировки. Рассчитывались и сравнивались между собой суммарное время наблюдения заданной географической широты (в минутах) для трех заданных регионов (от 53° до 77° северной широты); об-

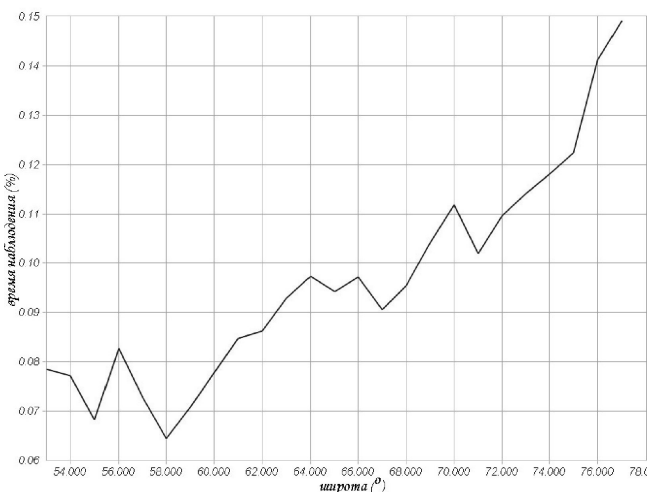


Рис. 11. Зависимость суммарного времени наблюдения заданной географической широты (в минутах) от интервала географических широт для трех регионов наблюдения (от 53° до 77° северной широты) системой с орбитальным построением по варианту 1

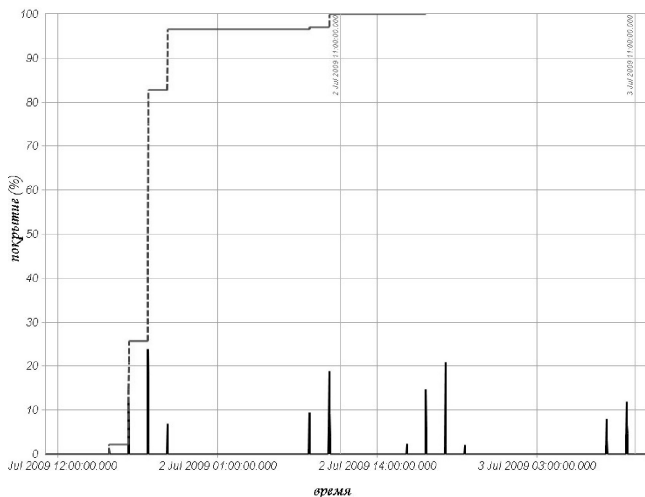


Рис. 12. Зависимость общей площади наблюдаемого региона (в %) от продолжительности интервала моделирования системой с орбитальным построением по варианту 1 (черная линия — непосредственно наблюдаемая площадь на заданном интервале, пунктирная линия — суммарная площадь от общей площади)

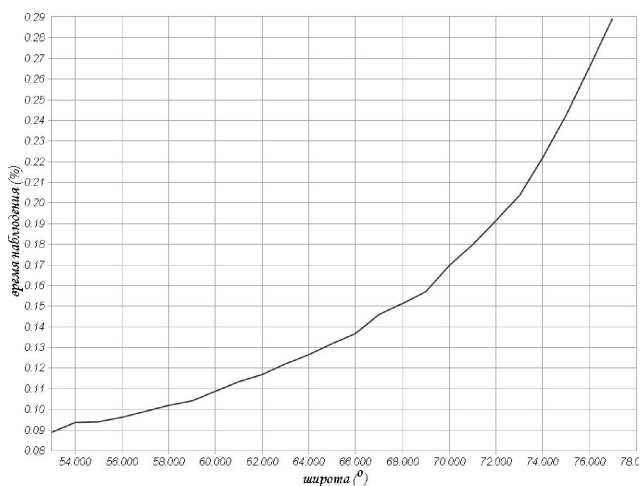


Рис. 13. Зависимость суммарного времени наблюдения заданной географической широты (в минутах) от интервала географических широт для трех районов наблюдения (от 53° до 77° северной широты) системой с орбитальным построением по варианту 2

щая площадь наблюдаемого региона. Результаты расчетов представлены на рис. 11—20.

Анализ этих зависимостей показывает следующее:

а) система ДЗЗ с орбитальным построением по варианту 1 способна снять любую точку из трех наблюдаемых регионов через 12 часов (полсутки) с момента начала съемки;

б) система ДЗЗ с орбитальным построением по варианту 2 способна снять любую точку из трех наблюдаемых регионов через семь часов с момента начала съемки;

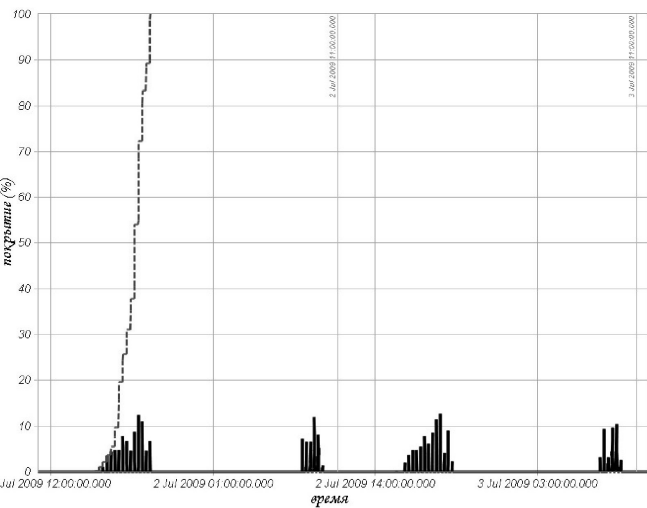


Рис. 14. Зависимость общей площади наблюдаемого района (в %) от продолжительности интервала моделирования системой с орбитальным построением по варианту 2 (черная линия — непосредственно наблюдаемая площадь на заданном интервале, пунктирная линия — суммарная площадь от общей площади)

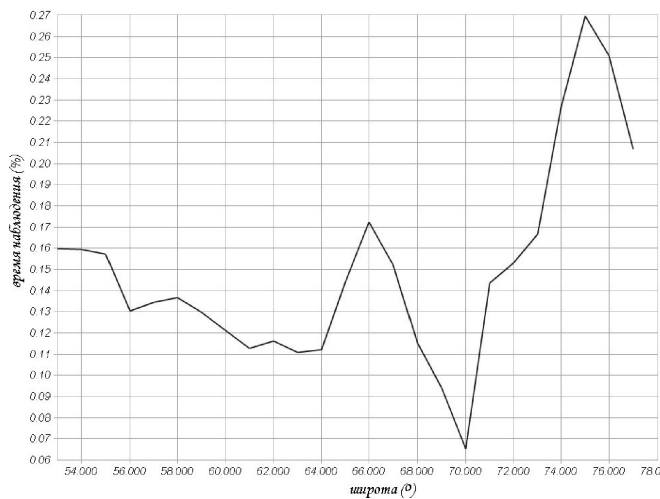


Рис. 15. Зависимость суммарного времени наблюдения заданной географической широты (в минутах) от интервала географических широт для трех районов наблюдения (от 53° до 77° северной широты) системой с орбитальным построением по варианту 3

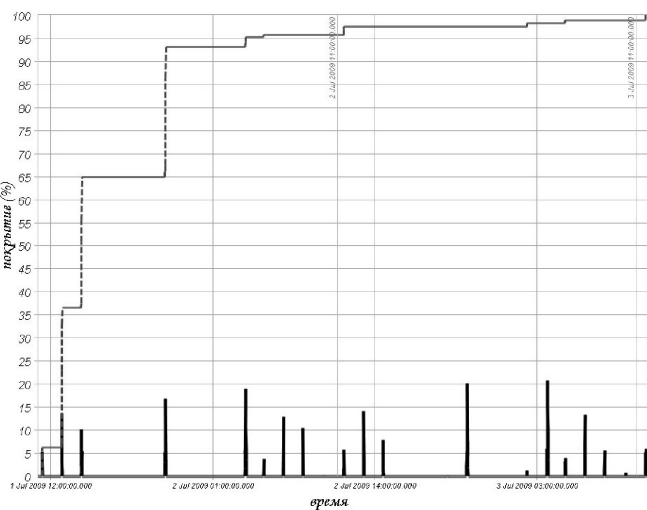


Рис. 16. Зависимость общей площади наблюдаемого района (в %) от продолжительности интервала моделирования системой с орбитальным построением по варианту 3 (черная линия — непосредственно наблюдаемая площадь на заданном интервале, пунктирная линия — суммарная площадь от общей площади)

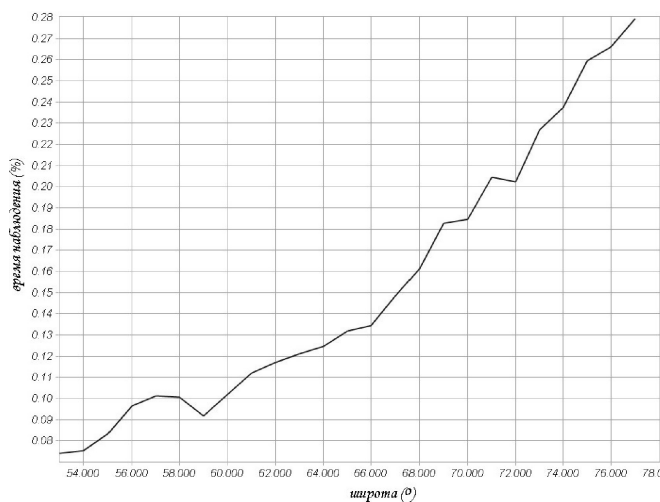


Рис. 17. Зависимость суммарного времени наблюдения заданной географической широты (в минутах) от интервала географических широт для трех районов наблюдения (от 53° до 77° северной широты) системой с орбитальным построением по варианту 4

в) система ДЗЗ с орбитальным построением по варианту 3 не способна снять любую точку из трех наблюдаемых регионов в течение интервала моделирования в двое суток;

г) система ДЗЗ с орбитальным построением по варианту 4 способна снять любую точку из трех наблюдаемых регионов через 24 часа (сутки) с момента начала съемки;

д) система ДЗЗ с орбитальным построением по варианту 5 способна снять любую точку из трех

наблюдаемых регионов через 24 часа (сутки) с момента начала съемки.

В целях проведения сравнительного анализа целевого функционирования систем выбранных вариантов орбитального построения по показателям, указанным на рис. 10—19, результаты моделирования сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наиболее предпочтительным является вариант 2 орбитального построения системы, близким к нему — вариант 4.

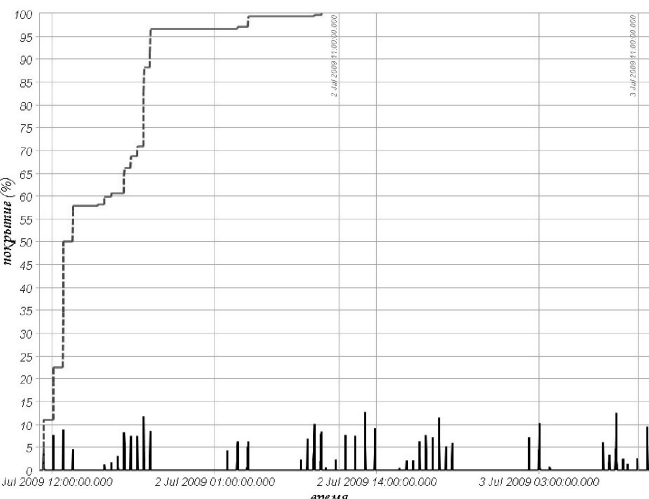


Рис. 18. Зависимость общей площади наблюдаемого района (в %) от продолжительности интервала моделирования системой с орбитальным построением по варианту 4 (черная линия — непосредственно наблюдаемая площадь на заданном интервале, пунктирная линия — суммарная площадь от общей площади)

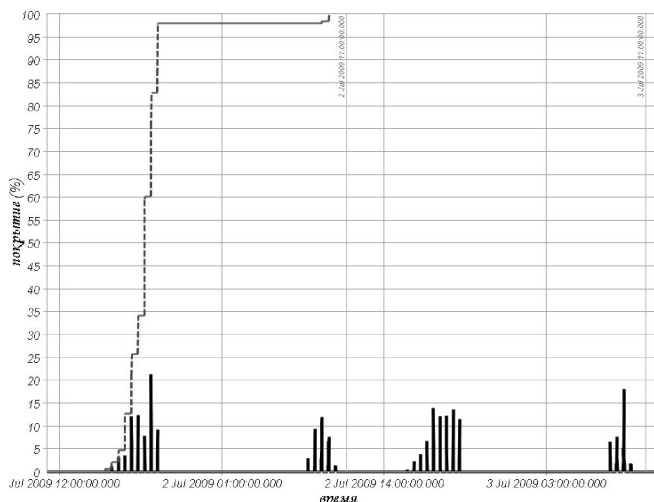


Рис. 20. Зависимость общей площади наблюдаемого района (в %) от продолжительности интервала моделирования системой с орбитальным построением по варианту 5 (красная линия — непосредственно наблюдаемая площадь на заданном интервале, голубая линия — суммарная площадь от общей площади)

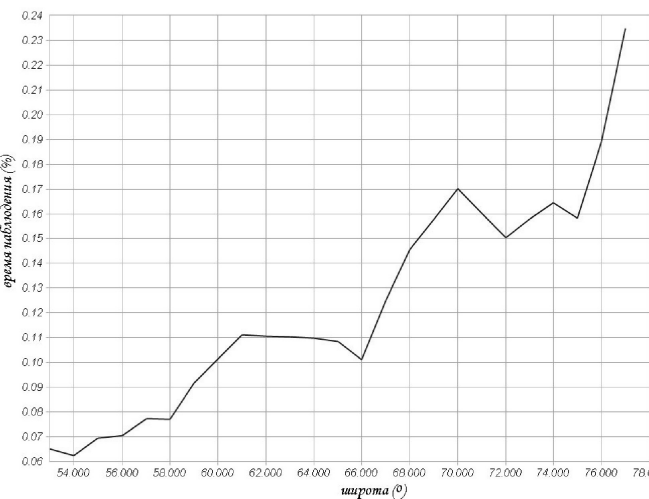


Рис. 19. Зависимость суммарного времени наблюдения заданной географической широты (в минутах) от интервала географических широт для трех районов наблюдения (от 53° до 77° северной широты) системой с орбитальным построением по варианту 5

Выводы

Предложены математическая формализация задачи предварительной оценки эффективности функционирования перспективной системы микро-спутников ДЗЗ и подход к ее решению, основанный на имитационном моделировании. Представляется очевидным, что границы применения данного подхода не ограничиваются приведенными в статье примерами, и он имеет определенный потенциал развития.

Таблица 2

Сравнительные результаты моделирования целевого функционирования проектных вариантов систем на базе микро-спутников

Варианты орбитального построения системы ДЗЗ	Показатели эффективности	
	Суммарное время наблюдения	Полное покрытие
Вариант 1	Мин – 8% Макс – 19 %	12 часов
Вариант 2	Мин – 8% Макс – 29 %	7 часов
Вариант 3	Мин – 6,5% Макс – 27 %	—
Вариант 4	Мин – 7,4% Макс – 28 %	24 часа
Вариант 5	Мин – 6,3% Макс – 23,5 %	24 часа

Библиографический список

1. Глазкова И.А. Программа дистанционного зондирования Земли ГКНПЦ им. М.В.Хруничева // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. № 1 (23). Москва. 2000.
2. Глазкова И.А., Юрченко Б.А. Система дистанционного зондирования Земли ГКНПЦ им. М.В.Хруничева» // III Международный симпозиум Международной академии астронавтики (IAA), Берлин, 2001.

3. Глазкова И.А. Центр Хруничева создает «Монитор» // Новости космонавтики. Т. 12. №1 (228). Москва, 2002.

4. Глазкова И.А. Космическая система дистанционного зондирования Земли ГКНПЦ им. М.В.Хруничева на базе малых космических аппаратов // II Международная конференция «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке», Королев, ЦНИИМаш, 2002.

5. Глазкова И.А. Комплексная космическая система дистанционного зондирования Земли «Монитор» // Аэрокосмический курьер. 2003. №1 (25).

6. Глазкова И.А. Система дистанционного зондирования Земли «Монитор» // Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов, Москва, 2003.

7. Глазкова И.А., Шкарин В.Е., Стефанский М.А. Развитие программы дистанционного зондирования Земли ГКНПЦ им. М.В.Хруничева // I Международная конференция «Земля из космоса — наиболее эффективные решения». Москва, 2003.

8. Глазкова И.А., Михеев О.В., Панфилов А.С., Положенцев А.Е., Хатулев В.А., Юрченко Б.А., Донцов Г.А., Линько В.М., Бобылев В.И., Казанцев О.Ю. Малый космический аппарат ДЗЗ «Монитор-Э» и дальнейшее развитие аппаратов этого типа // IV Международная конференция «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эф-

фективного применения в XXI веке». Королев, ЦНИИМаш, май 2004.

9. Глазкова И.А., Михеев О.В., Панфилов А.С., Хатулев В.А. Малый космический аппарат дистанционного зондирования Земли «Монитор-Э» разработки ГКНПЦ им. М.В.Хруничева и создание орбитальной группировки на его основе. МАИ. Евпатория, 2004.

10. Глазкова И.А. Новый российский космический аппарат дистанционного зондирования Земли «Монитор-Э» // II Международная конференция «Земля из космоса — наиболее эффективные решения». Москва, 2005.

11. Глазкова И.А., Нестеренко А.А. Система ДЗЗ на основе малых КА // Аэрокосмический курьер. 2005. №1 (37).

12. Глазкова И.А., Артамонов А.А. Опыт целевого применения КА «Монитор-Э» и перспективные разработки МКА ДЗЗ ГКНПЦ им. М.В.Хруничева // IV Международная конференция «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. Москва, 2007.

13. Глазкова И.А., Нестеренко А.А. Оптимизация технического облика системы глобального мониторинга окружающей среды (GES) // 12-я Международная научная конференция «Системный анализ управления и навигация». Евпатория, 2007.

14. Глазкова И.А. «Позитивный опыт эксплуатации КА «Монитор-Э» // Аэрокосмический курьер. 2007. № 2 (50).

Московский авиационный институт
Статья поступила в редакцию 19.11.2009