

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛОГО КА ДЗЗ “МОНИТОР-Э”
И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЕГО УЛУЧШЕННОГО
АНАЛОГА КА “МОНИТОР-2”

© 2011 г. Е. В. Михайлов*, О. В. Михеев, А. Е. Положенцев, В. М. Судаков

Государственный космический научно-производственный центр им. М.В. Хруничева, Москва

*E-mail: eo@khrunichev.com

Поступила в редакцию 10.08.2010 г.

В 2010 г. завершился ресурс функционирования малого космического аппарата (КА) “Монитор-Э”. Разработчиком данного КА, Государственным космическим научно-производственным центром им. М.В. Хруничева, предлагается создать КА “Монитор-2” — улучшенный аналог КА “Монитор-Э” для решения задачи оперативного мониторинга территории России. КА “Монитор-2” оснащается многогоспектральной съемочной аппаратурой видимого- и ИК-диапазонов среднего разрешения с полосой захвата до 120 км. Для выбранных характеристик целевой аппаратуры, орбитальных параметров КА и условий наблюдения проведено моделирование и получены оценки показателей периодичности и производительности съемки для различного числа КА в орбитальной группировке.

Ключевые слова: трассовая съемка, кадровая съемка, периодичность съемки, производительность съемки, целевая аппаратура, полоса захвата, разрешение на местности

ВВЕДЕНИЕ

Создание в Государственном космическом научно-производственном центре им. М.В. Хруничева (ГКНПЦ) космического аппарата (КА) “Монитор-Э” явилось первой реализацией проекта по созданию российского малого КА нового поколения, в котором были заложены технические и эксплуатационные характеристики, соответствующие лучшим зарубежным аналогам (Монитор для Земли, 2005). При разработке КА “Монитор-Э” использовались новейшие технологии и принципы, опробованные в отрасли космического приборостроения на рубеже 2000–2005 гг. КА “Монитор-Э” (“Э” — экспериментальный) был запущен 26 августа 2005 г. и после плановых летных испытаний был введен в опытную эксплуатацию 26 февраля 2006 г. Несмотря на отдельные отказы в бортовых системах, КА “Монитор-Э” обеспечивал, хотя и в ограниченном режиме, проведение съемок в течение более 5 лет при заданном пятилетнем ресурсе.

За весь период работы им было проведено более 1000 маршрутов съемки поверхности Земли, общей площадью более 150 млн. км². Изображения, получаемые с КА “Монитор-Э”, благодаря применению в съемочной аппаратуре простых пиксельных линеек обладают высокими геометрическим качеством и измерительными характеристиками. Данные с КА “Монитор-Э” широко используются различными ведомствами и администрациями ре-

гионов России в интересах лесного хозяйства, сельского хозяйства, рыболовства, экологического мониторинга, задач по обнаружению последствий чрезвычайных ситуаций.

Важно отметить, что в процессе разработки КА “Монитор-Э” ГКНПЦ им. М.В. Хруничева была создана вся необходимая наземная инфраструктура для подготовки КА к запуску, запуска КА с космодрома “Плесецк”, управления, приема и обработки информации на этапе летных испытаний и эксплуатации.

Учитывая высокий научно-технический и производственный потенциал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, созданный в процессе разработки КА различного назначения, а также сегодняшние потребности российских ведомств в спутниковых данных, получаемых с использованием средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), ГКНПЦ им. М.В. Хруничева предлагается создать улучшенный аналог КА “Монитор-Э” — КА “Монитор-2”.

СОСТАВ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КА

Анализ требований к спектральным характеристикам аппаратуры КА, приведенным, например в (Жиленев, 2009), а также характеристик уже существующих в мире КА ДЗЗ, в том числе опыт эксплуатации КА “Монитор-Э”, показывает, что большинство задач, возлагаемых на КА “Монитор-2”,

Таблица 1. Основные характеристики комплекса целевой аппаратуры КА “Монитор-2”

Тип аппаратуры	Базовый комплект		Один из возможных типов аппаратуры дооснащения	
	Аппаратура видимого и ближнего ИК-диапазонов	ИК-аппаратура коротковолнового диапазона	Гиперспектральная аппаратура	ИК-аппаратура среднего и дальнего диапазонов
Спектральный диапазон, мкм	0.51–0.85 (ПХ) 0.45–0.52 0.52–0.60 0.63–0.69 0.74–0.90 (МС)	1.55–1.75 2.08–2.55	0.5–1.0 (60 каналов) 1.5–2.5 (30 каналов)	3.5–4.1 10.25–11.4 11.4–12.5
Пространственное разрешение (при съемке в надир), м	3–5 (ПХ) 8–12 (МС)	20	30 (ВД) 60 (ИК)	60
Полоса захвата, км	120	120	40	110
Разрядность квантования, бит/пикс	12	12	12	12
Характеристики системы сбора, накопления и передачи информации				
– основные режимы	ЗАП; ЗАП+ВОСПР; ВОСПР (со сжатием или без сжатия информации)			
– объем ЗУ, Тбит	2			
– скорость передачи информации, Мбит/с	300 (возможно введение дополнительного канала на скорость 64 Мбит/с для работы с персональными станциями приема)			

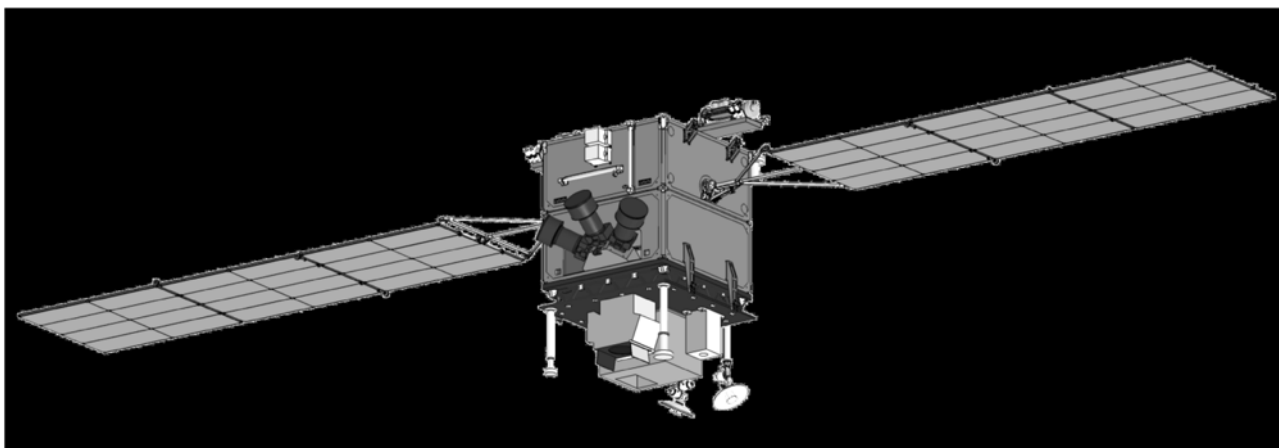
Примечание. Принятые сокращения: ВД – видимый (диапазон); ИК – инфракрасный (диапазон); ПХ – панхроматический (канал); МС – многоспектральный (канал); ЗАП – запись; ВОСПР – воспроизведение (информации), ЗУ – запоминающее устройство.

решается комплексом оптико-электронной аппаратуры, в состав которого входят панхроматическая и многозональная аппаратура видимого и ближнего ИК-диапазонов. В многозональной аппаратуре желательно иметь не менее четырех спектральных каналов. Кроме того, в состав аппаратурного комплекса целесообразно включить ИК-аппаратуру коротковолнового диапазона.

При выборе разрешения и полосы захвата аппаратуры КА “Монитор-2” учитывались два главных фактора:

– подавляющее число народно-хозяйственных задач с использованием данных ДЗЗ решается при пространственном разрешении материалов ДЗЗ от 2–5 м в панхроматическом канале до 6–10 м в многоспектральных каналах;

– возможности унифицированной космической платформы “Яхта”, эксплуатируемой в составе КА “Монитор-Э” и на основе которой строится КА “Монитор-2”, обеспечивают размещение многоспектральной съемочной аппаратуры с указанным выше разрешением с предельно возможной полосой захвата до 120 км.



Орбита:	Солнечно-синхронная
– высота, км	670 км
– наклонение, град	98.1
Точность поддержания ориентации (3 σ), град	0.05
Точность стабилизации (3 σ), град/с	0.0005
Электрическая мощность СБ, Вт	1800
Масса КА, кг	850
Срок функционирования, лет	не менее 7
Средство выведения, ракета-носитель (РН)	РН “Рокот”, РН “Ангара-1-2”,

Рис. 1. Космический аппарат “Монитор-2” и его технические характеристики.

Предложения по созданию съемочной аппаратуры с указанными характеристиками разработаны, например, специалистами Красногорского завода им. С.А. Зверева.

Основные характеристики комплекса целевой аппаратуры, предлагаемого к установке на КА “Монитор-2”, приведены в табл. 1. Общий вид КА и его технические характеристики приведены на рис. 1.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КА “МОНИТОР-2” ПО ПЕРИОДИЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СЪЕМКИ

Оценка периодичности и производительности съемки КА “Монитор-2” получена путем статистического моделирования процессов съемки с учетом баллистических параметров КА, характеристик целевой аппаратуры, а также месторасположения и размеров зон радиовидимости пунктов приема информации. Оценка получена для следующих исходных данных:

- производится съемка территории России для летнего сезона наблюдения;
- КА функционируют на солнечно-синхронных орбитах с высотой 670 км;
- допустимые углы разворота КА составляют $\pm 30^\circ$;
- полоса захвата аппаратуры – 120 км;
- предельный угол Солнца при съемке равен 10° ;
- задействованы три ППИ (в Москве, Красноярске, Хабаровске) с предельными углами радиовидимости 5° ;
- информационный поток со всей съемочной аппаратуры ~ 1500 Мбит/с;
- объем бортового запоминающего устройства (ЗУ) равен 2 Тбит;
- скорость сброса видеoinформации на ППИ составляет 300 Мбит/с;
- коэффициент сжатия видеoinформации (без существенной потери качества) ~ 3 ;
- расчеты получены без учета облачности.



Рис. 2. Зависимость периодичности съемки в кадровом режиме любого заданного объекта на территории России от числа КА в группировке.

Результаты моделирования приведены на рис. 2–6.

На рис. 2 показана зависимость максимальной и средней периодичности наблюдения заданного объекта на территории России от числа КА в группировке при съемке в кадровом режиме. Нахождение совокупности значений периодичности осуществлялось по множеству реализаций случайного местоположения объектов на территории России. Далее определялось максимально возможное время повторной съемки объекта для самого “неблагоприятного” по расположению объекта на территории России и, по совокупности реализаций, – среднее время повторной съемки. Как видно из рис. 2, максимальная периодичность составляет для одного КА 3 сут, а для группировки из двух КА – 1 сут. На рисунке также видно, что увеличение числа КА в группировке до трех и более не приводит к уменьшению максимальной (в отличие от средней) периодичности съемки объекта.

Для режима трассовой съемки, когда необходимо обеспечить наблюдение больших площадей, на рис. 3 приведена зависимость периодичности обновления информации на всю территорию России от числа КА в группировке. Как следует из рис. 3, для одного КА периодичность обновления данных на всю территорию России составит 22 сут, а для группировки из трех КА 13 сут (около 7 раз за сезон). Периодичность улучшается почти в 2 раза при применении на борту процедуры сжатия видеoinформации.

На рис. 4 и 5 наглядно показано, как увеличивается площадь отснятой территории России в зависимости от времени полета для случаев одного и пяти КА в группировке.

На рис. 6 показана зависимость производительности КА по проведению съемки при изменении числа КА “Монитор-2” в группировке от одного до

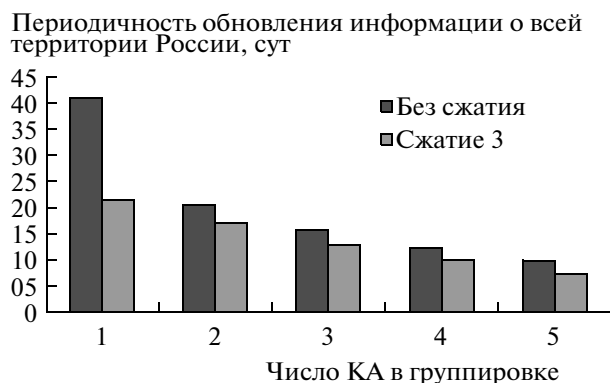


Рис. 3. Зависимость периодичности обновления информации для всей территории России от числа КА в группировке (летний сезон).

пяти. В соответствии с диаграммой на рис. 6 для двух КА в группировке производительность составляет 3.5 млн. км²/сут.

Необходимо заметить следующее. Периодичность обновления данных на всю территорию России оценивалась в режиме трассовой съемки, т.е. съемки в надиr. При таких условиях съемки отдельные районы в течение длительного времени не попадают в полосу захвата аппаратуры, в тоже время другие районы могут покрываться многократно. Как показывают результаты моделирования, если допустить использование при трассовой съемке даже небольших подворотов КА по крену с целью оптимизации покрытия, то периодичность обновления информации на всю территорию России может быть уменьшена в 2 раза по сравнению с приведенной на рис. 3. Так, для одного КА она составит 10–12 сут, а для группировки из трех КА – 5–6 сут.

По пути создания группировок однотипных КА и зарубежные разработчики космических систем ДЗЗ. Ярким примером такой группировки является эксплуатируемая в настоящее время группировка из пяти мини-спутников RapidEye (Германия).

В ходе моделирования был проведен сравнительный анализ возможностей группировки КА ДЗЗ “Монитор-2” и группировки из пяти мини-спутников RapidEye. Сравнение производилось по показателям периодичности обновления информации о всей территории России (в гипотетическом предположении, что вся группировка RapidEye решает задачу съемки территории России) и производительности съемки для летнего периода наблюдений при плановой съемке. При этом были использованы имеющиеся данные о характеристиках спутников системы RapidEye (Дворкин, 2009; Кучейко, 2008) (баллистика построения группировки, полоса захвата, объем бортового запоминающего

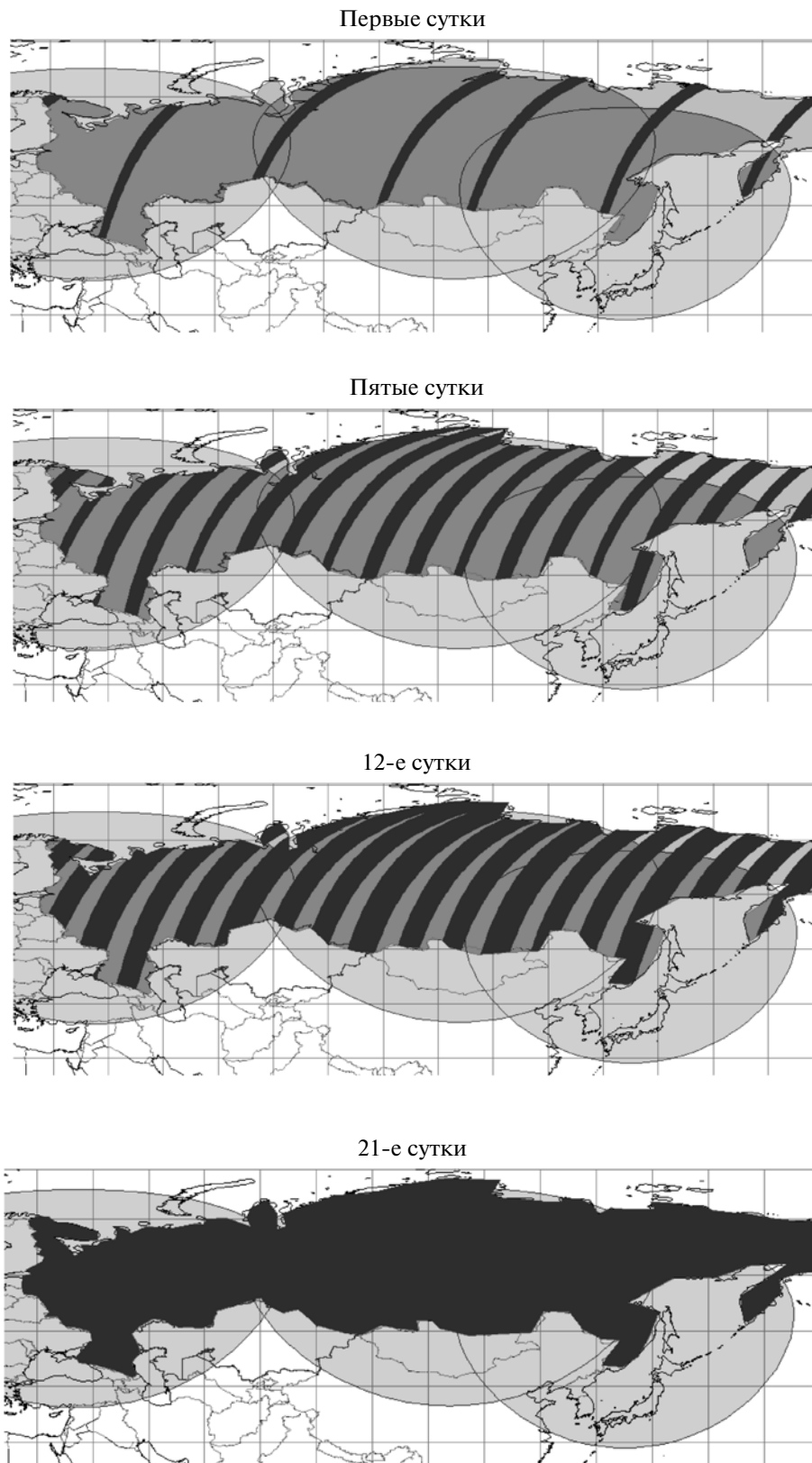


Рис. 4. Динамика покрытия территории России полосами съемки в зависимости от времени полета для одного КА (овалами показаны зоны радиовидимости ППИ, расположенные в Москве, Красноярске и Хабаровске).

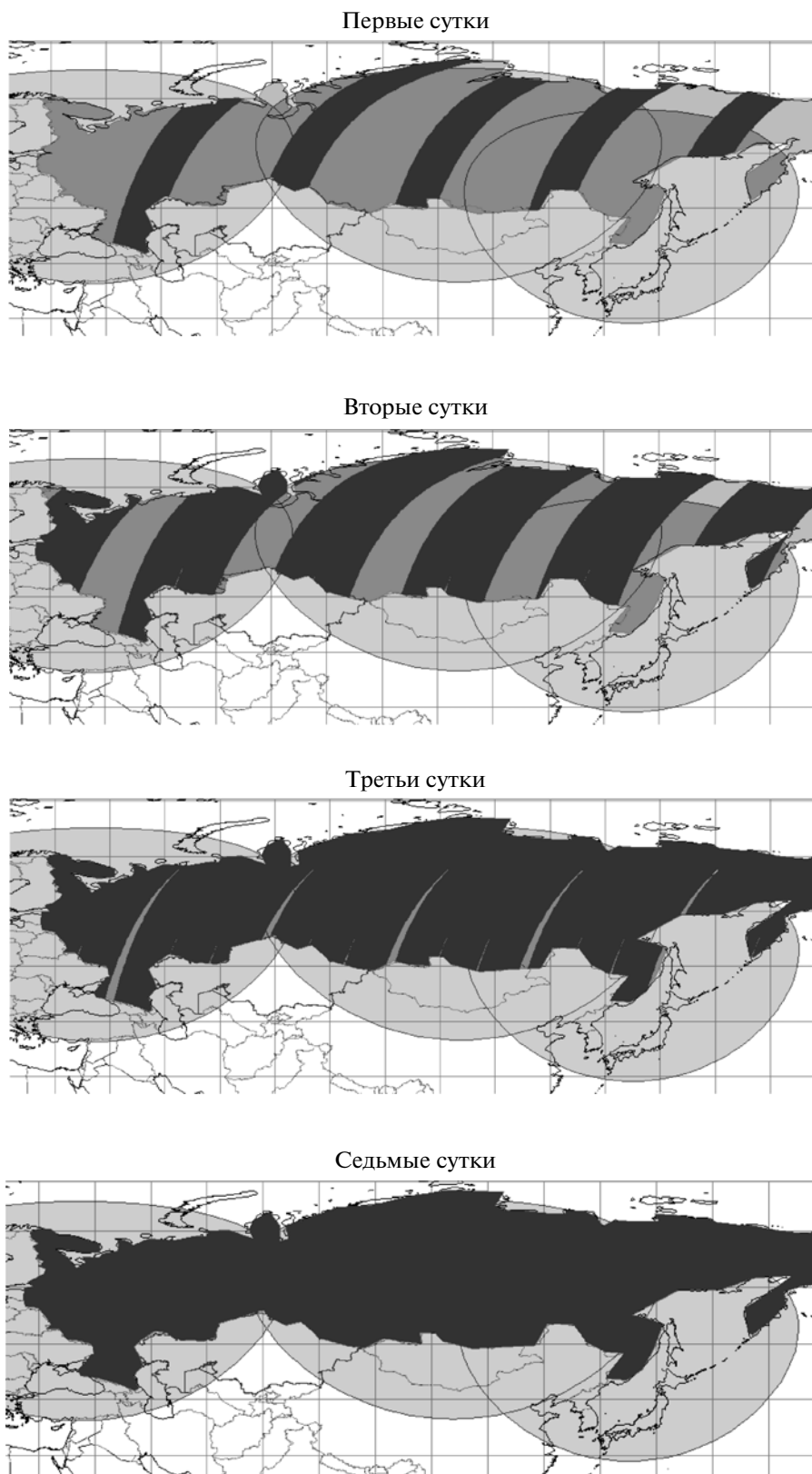


Рис. 5. Динамика покрытия территории России полосами съемки в зависимости от времени полета для пяти КА в группировке.

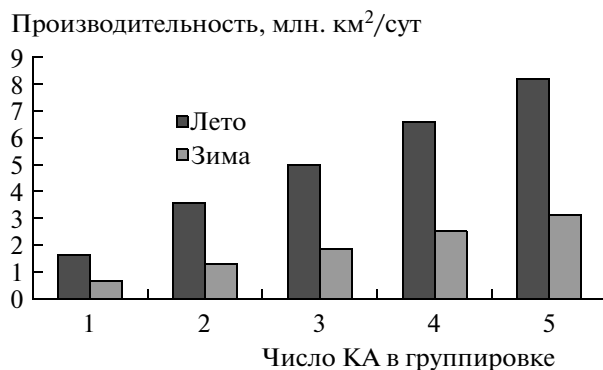


Рис. 6. Изменение производительности съемки в зависимости от количества КА “Монитор-2” в группировке для летнего и зимнего сезонов.

устройства, скорость сброса видеоинформации, величина первичного потока информации, предельная длина полосы съемки и др.). Коэффициент сжатия информации был принят равным 3. Было также учтено, что сброс видеоинформации со всех КА RapidEye осуществляется на единственный пункт приема на Шпицбергене (далее информация по оптоволоконному каналу связи поступает в г. Бранденбург для обработки и архивирования).

Результаты сравнения группировок КА приведены в табл. 2, из которой видно, что периодичность обновления информации о всей территории России группировкой КА RapidEye почти в 1.5 раза хуже, чем даже одним КА “Монитор-2”. Это объясняется более низкими характеристиками КА RapidEye по полосе захвата, предельной длине полосы съемки, не обеспечивающей на одном проходе перекрытие всей территории России с севера на юг, емкости запоминающего устройства, скорости сброса информации, а также невозможностью совмещения режима съемки и сброса видеоинформации. Производительность группировки из двух КА “Монитор-2” становится соизмеримой с производительностью пяти КА RapidEye. Все это говорит о высоких потен-

циальных возможностях предлагаемого отечественного КА “Монитор-2”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая возрастающие потребности российских ведомств в космической информации, а также ограниченность российской орбитальной группировки ДЗЗ, предлагается, с учетом опыта разработки и почти пятилетней работы КА “Монитор-Э”, создать более совершенный КА ДЗЗ “Монитор-2”. КА “Монитор-2” оснащается широкозахватной (до 120 км) многоспектральной съемочной аппаратурой видимого и ближнего ИК-диапазонов с разрешением 3–5 м в панхроматическом канале и 8–12 м в многоспектральном канале, а также коротковолновой ИК-аппаратурой с разрешением 15–25 м. Потенциальные возможности размещения на космической платформе КА “Монитор-2” съемочной аппаратуры общей массой до 300 кг позволяют дополнительно устанавливать гиперспектральную либо ИК-аппаратуру среднего и дальнего диапазонов или другую аппаратуру по выбору Заказчика. Это позволит значительно расширить возможности КА

Таблица 2. Сравнительные характеристики группировок КА “Монитор-2” и RapidEye

Показатель	Группировка КА “Монитор-2” в количестве					Действующая группировка из пяти КА RapidEye
	1 КА	2 КА	3 КА	4 КА	5 КА	
Периодичность обновления информации по всей территории России, сут	21.7	17.0	13.0	10.0	7.0	Более 30
Производительность съемки, млн. км ² /сут	1.6	3.5	5.0	6.6	8.1	3.7

“Монитор-2” по предоставлению полноценной информации потребителю.

Группировка из трех предлагаемых КА, работающих в режиме трассовой съемки, обеспечит обновление информации о всей территории России с периодичностью 13 сут, т. е. почти семь раз за сезон, а в режиме кадровой съемки с перенацеливанием — повторное наблюдение любого заданного на территории России объекта (района) с максимальной периодичностью не более 1 сут. Это позволит достаточно оперативно обеспечивать российские ведомства полноценной космической

информацией, в том числе связанной с национальной безопасностью России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дворкин Б.А.* Группировка спутников ДЗЗ RapidEye: уникальные возможности для решения задач мониторинга // Геоматика. 2009. № 3 (4). С. 14–21.
- Жилнев М.Ю.* Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке // Геоматика. 2009. № 3 (4). С. 56–64.
- Кучейко А.* Система аграрного мониторинга одним пуском // Новости космонавтики. 2008. № 10. С. 33–34.
- Монитор для Земли* // Новости космонавтики. 2005. № 10. С. 16.

Operational Experience of Small Earth Remote Sensing Spacecraft “Monitor-E” and Perspectives of Developing its Enhanced Analog “Monitor-2”

E. V. Mikhailov, O. V. Mikheyev, A. E. Polozhencev, V. M. Sudakov

M.V. Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow

The service life of the small Earth remote sensing spacecraft “Monitor-E” expires 2010. The spacecraft developer represented by Khrunichev State Research and Production Space Center suggests developing spacecraft “Monitor-2”, an enhanced analog of spacecraft “Monitor-E”, to solve the problem of operational monitoring of Russian territory. Spacecraft “Monitor-2” is equipped with the multispectral surveying instruments of visible and IR-bands of medium resolution with a capture range of up to 120 km. Simulation was carried out for the selected characteristics of the target equipment, spacecraft orbital parameters and observation conditions and assessments of the surveying periodicity and capability indices were obtained for a various number of spacecraft in the orbital constellation.

Keywords: small remote sensing spacecraft, path space imagery, frame survey, survey capability, target equipment, capture range, ground resolution