

УДК 528.8

Е. И. Бушуев<sup>1</sup>, В. И. Волошин<sup>1</sup>, А. С. Левенко<sup>1</sup>,  
Е. И. Капустин<sup>1</sup>, Я. И. Стефанишин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державне підприємство «Дніпрокосмос», Дніпропетровськ

<sup>2</sup>Національне космічне агентство України, Київ

## Подходы к построению и эксплуатации национальной орбитальной группировки спутников ДЗЗ

Представлено 03.09.07

Розглянуто основні проектні рішення до побудови та експлуатації перспективного українського орбітального угруповання супутників дистанційного зондування Землі.

Проектом национальной космической программы Украины на 2008—2012 гг. предусматривается выведение и эксплуатация на орбите спутников наблюдения Земли «Сич-2», «Сич-2М», программа исследования ионосферы «Ионосат», и запуск украинского молодежного спутника «УМС-1» для научных и технологических исследований. Все эти спутники будут эксплуатироваться на относительно низких околоземных орбитах с высотой менее 1000 километров.

Системы управления такими спутниками и возможными орбитальными группировками на их основе следует создавать с учетом существующего в Украине и мире опыта для повышения эффективности с достижением высоких эксплуатационных характеристик, обеспечением демократизации доступа к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), со снижением стоимости и масс выводимых в космическое пространство аппаратов.

### ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СПУТНИКОВ И ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

Помимо традиционных, используемых в украинских разработках, подходов к проектированию

спутников ДЗЗ и систем их эксплуатации существует целый ряд уже опробованных технических и организационных решений, осуществленных зарубежными специалистами.

Необходимость изменения подхода к проектированию спутников новых поколений и орбитальных систем диктуется рядом объективных причин.

1. Развитие электроники и приборостроения позволяют применить новые технические решения с существенным снижением габаритов и масс приборов при повышении их технического уровня.

2. Увеличилось число стран и разработчиков космических программ в мире, что требует упорядочивания использования объектов на орбите с повышением их эффективности без значительного увеличения количества спутников.

3. Появилось значительное количество пользователей данными ДЗЗ и требуется упрощение процедуры организации съемки и предоставления заказчику полученным материалов.

4. Увеличилась доля невоенных (открытых) программ космических программ.

5. Изменилась в процессе глобализации мировая система связи.

Можно выделить основные недостатки разработок прежних лет:

- необходимость создавать для спутниковых группировок ряд автономных дорогих, оснащенных всеми необходимыми средствами функционирования, съемки Земли и связи космических аппаратов — спутников;
- значительные массы таких спутников, требующих применение ракет носителей (РН) большой мощности и стоимости со значительной стоимостью пусков;
- практическая невозможность съемки всей территории отдельной страны с одновременным сбросом полученной информации и пр.

Сложным для осуществления остается и вопрос об организации связи между спутниками в одной группировке. Как правило, в группировках работают автономные аппараты, вообще не связанные между собой, что снижает возможности самой орбитальной группировки.

#### ДОСТИЖЕНИЯ В СФЕРЕ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ СПУТНИКОВ

В мировой практике можно выделить некоторые существующие тенденции создания орбитальных группировок спутников, подтверждающиеся конкретными разработками.

*Университетские спутники.* Известен целый ряд спутников, созданных в университетах. Их разработка провоцируется сравнительно низкой стоимостью малогабаритных аппаратов и возможностью опробовать новые научные разработки, способствующие повышению уровня обучения путем вовлечения студентов в такие эксперименты. Известен опыт Украины по созданию молодежного спутника ([www.sputnik.unaес.р.иа](http://www.sputnik.unaес.р.иа)): в рамках реализации Общегосударственной (Национальной) космической программы Украины на 2003—2007 гг. на базе Национального центра управления и испытания космических средств (НЦУИКС, г. Евпатория) вопросы создания молодежного спутника рассмотрены на II Международной научно-практической конференции «Университетские микроспутники — перспективы и реальность» [4].

Российский микроразмерный космический аппарат (наноспутник) по международной программе ООН «Прозрачный мир» будет весить

12 кг. На его борту предполагается установить оптическую камеру для съемки Земли, изображения которой смогут принимать большое число образовательных центров во всех странах мира. В разработке проекта «Прозрачный Мир» участвуют специалисты предприятий российской ракетно-космической отрасли и коммерческих компаний сектора геоинформатики. В их числе: КБ «Полет», Омск (разработчик и изготовитель малоразмерных спутников «Надежда», «Университетский-Татьяна», «Можаяец», и ракет-носителей «Космос-3М»); НИИЛАКТ РОСТО, Калуга (разработчик командных радиокomплексов управления микроспутниками «Университетский-Татьяна» и др.).

Главные особенности проекта «Прозрачный Мир»: относительно невысокая стоимость, свободный доступ к космической информации, что определяет широкую аудиторию проекта, возможность использования космических изображений в образовательной, научно-исследовательской и практической деятельности. На первом этапе планируется запустить экспериментальный спутник для отработки технических решений, на втором этапе предполагается развернуть систему из 5-6 спутников, обеспечивающих обзор всей поверхности Земли в течение суток.

Отличием проекта «Прозрачный Мир» от аналогов является непрерывная передача изображений Земли в режиме прямого вещания на все приемные станции в различных странах мира ([www.gisa.ru](http://www.gisa.ru)).

В качестве примера университетской инициативы можно привести систему спутников, созданную в университете Техаса (University of Texas, США) — проект наноспутника FASTRAC ([fastrac.ae.utexas.edu](http://fastrac.ae.utexas.edu)).

В разработке системы наноспутников принимали участие: The University of Colorado at Boulder, New Mexico State University, Arizona State University, Pennsylvania State University, The University of Michigan, The University of Hawaii at Manoa, Michigan Technological University, Montana State University at Bozeman, Washington University at St. Louis, Worcester Polytechnic Institute, Taylor University (США).

Масса одного спутника около 15 кг. Размеры корпуса: 20.84 см — высота и 47.50 см — ширина. Система формируется из двух спутников. Проект учитывает существующую высокую

Таблица 1. Сравнительные характеристики КА «RapidEye» и MC-2-8

Characteristic	«Rapid Eye»	MC-2-8
Vis & NIR spectral band, $\mu\text{m}$	Blue 0.44—0.51 Green 0.52—0.59 Red 0.63—0.69 Red Edge 0.69—0.73 Near IR 0.76—0.85	Pan 0.50—0.89 0.50—0.59 0.61—0.68 no 0.79—0.89
Resolution > (GSD), meters	6.5	7.8
Swath width, km	77	46.6
Dynamic Range	12 Bits	8 Bits
TIR spectral band, $\mu\text{m}$		1.55...1.7
Resolution > (GSD), meters	no	39.5
Swath width, km		55.3
Roll Angle, degrees	$\pm 25$	$\pm 35$
Global Revisit Time (All)	1 Day	
Image Data Downlink Speed, Mb/s	80	32
Telemetry Downlink Speed, kb/s	9.6	
Control Uplink Speed, kb/s	38.4	
Pointing Control in each axis, degrees	0.1	
Orbital Position Knowledge, meters	< 10	
Inclination, degrees	97.8	98.074
Period, minutes	96.7	
Orbital Height, km	630	668
Descending Node	11 a.m.,	
Satellite mass		135

удельную стоимость вывода на орбиту спутника (более 2200 кг полезного груза): вместо одного спутника высокой стоимости предлагается вывести два значительно меньшей массы и стоимости, при этом учитывается возможность выхода одного спутника из эксплуатации, что может быть вызвано и применением дешевых аппаратных средств ЭВМ.

По проекту система связи орбитальной группировки наноспутников состоит из двух передатчиков и одного приемника. Первый передатчик передает телеметрию на борт другого спутника на волне длиной 2 м со скоростью 1200 бит/с). Второй передатчик, работающий на волне длиной 70 см, передает телеметрию со скоростью 9600 бит/с на Землю и одновременно на приемник второго спутника для связи с ним, и наоборот.

Проект задуман только как эксперимент спутниковой и межспутниковой связи на орбите и рассчитан на прием стандартными любительскими радиостанциями.

**Орбитальная группировка «RapidEye 1—5».** Немецкая компания RapidEye AG (Магдебург,

Берлин) в 2008 г. выводит на орбиту систему из пяти спутников ДЗЗ «RapidEye» ([www.rapideye.de](http://www.rapideye.de)). Сравнительные характеристики КА «RapidEye» и украинского КА «MC-2-8» представлены в табл. 1. Из сравнения характеристик следует, что по сути украинский спутник практически не отличается от КА «RapidEye». Очевидные отличия обуславливается другим: системой в виде группировки, что позволяет, например, осуществить съемку всей территории Германии за время менее одной недели. Работа сразу нескольких спутников одного назначения, даже при однопунктной системе связи (станция управления группировкой «RapidEye» расположена на о. Шпицберген, оптико-волоконная связь с Германией) значительно расширяет возможности ДЗЗ и создает основу внедрения космической информации в практическую деятельность в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и картографии, для чего в первую очередь и предназначена система «RapidEye».

Внедрение ДЗЗ наиболее эффективно путем эксплуатации группировок, а не отдельных спутников.

## ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ДЗЗ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВЯЗИ

**Возможности ретрансляция через спутник связи.** Спутник «Envisat» — самый тяжелый груз, запущенный с помощью ракеты-носителя «Ariane-5». Его масса превышает 8 тонн, а линейные размеры составляют порядка 10 м, размах солнечных батарей — 25 м. Спутник облетает вокруг Земли каждые 100 мин по полярной орбите на высоте 800 км.

В космическом проекте приняли участие 13 европейских космических агентств, а также представители Канады. Разработку спутника вели около 100 европейских фирм. Его общая стоимость составила 2,3 млрд евро.

Десять приборов ДЗЗ на борту спутника передают информацию об изменениях на земной поверхности, в океане, атмосфере и ледниках. Собранные данные после обработки направляются в Европейские организации по охране окружающей среды.

Решение проблемы передачи данных со спутника «Envisat» решена в ходе эксперимента с использованием спутника связи ARTEMIS: через спутник связи на наземные пункты приема. Связь между спутниками с 2003 г. обеспечивалась в микроволновом радиодиапазоне.

В ходе эксперимента проверена возможность передачи данных со спутника ДЗЗ на Землю по каналам цифрового телевидения в к-диапазоне, что позволяет дополнить к специализированным станциям прима с антеннами в х-диапазоне массово использующиеся телевизионные средства приема.

**Оптическая связь на орбите.** Первая двуправленная оптическая связь между японским спутником KIRARI, официально называемым OICETS (Optical Inter-orbit Communications Engineering Test Satellite), и спутником ЕКА ARTEMIS была успешно осуществлена 9 декабря 2005 г. ([www.ibusiness.ru](http://www.ibusiness.ru)).

KIRARI стал вторым спутником, совершившим оптическую передачу информации при помощи спутника ARTEMIS. Первым космическим аппаратом, передавшим данные по лазерной связи в ноябре 2001 г. при помощи оборудования SILEX (Semiconductor Laser Inter-satellite Link Experiment), стал французский спутник SPOT-4. Эта оптическая связь с тех пор действует регулярно, и к моменту связи KIRARI —

ARTEMIS было совершено 1100 сеансов связи общей протяженностью 230 ч.

Известно, что оптическая связь является древнейшей на Земле. Она существовала в виде семафоров и световых семафоров. Известен принцип оптического телефона, где используется лампочка накаливания с переменным (модулированным) уровнем яркости, воспринимаемым приемником со светодиодом.

Такая связь не засоряет радиозфир, практически недоступна для прослушивания и искажения. В условиях Земли она неэффективна из-за наличия загрязненной атмосферы в приземном слое и кривизны земного шара.

В условиях космического пространства оптическая связь является идеальной. В качестве направленного источника передачи данных могут использоваться миниатюрные лазеры, не требующие мощных источников энергии.

Оптическая связь, на примере, например эксплуатации КА SPOT-4, может стать основой орбитальной связи группировок спутников ДЗЗ.

Технология оптической передачи данных делает возможным передачу больших потоков информации при помощи небольших терминалов потребляющих немного энергии, а также обеспечить безопасное соединение, защищенное от вмешательств со стороны.

Космический аппарат ARTEMIS (Advanced Relay and Technology Mission) был создан ЕКА для демонстрации и продвижения передовых технологий передачи данных, наземных систем навигации и связи.

**Связь через интернет.** Создание микроспутников — доступный способ выхода в космос для любой страны.

Создание новых глобальных спутниковых систем связи типа «Iridium» или «Globalstar» привело к освоению производства спутников большими сериями. Сегодня в космосе развернуты системы связи, в которых число спутников измеряется десятками.

«Iridium» — единственная полностью глобальная система. С помощью 66 низкоорбитальных спутников Iridium обеспечивает 100 % покрытие Земли. Система не работает в КНДР, Венгрии, Польше, Сев. Шри Ланка. Благодаря небольшому расстоянию до спутника и высокой скорости спутников сигнал передается практически без задержек: высота орбиты 780 км, наклонение

орбитальной плоскости  $86.4^\circ$ . В районах, где доступна сотовая связь, телефон работает как сотовый.

«Globalstar» — система построена на 48 низкоорбитальных основных и 4 резервных спутниках. Спутники расположены на 8 орбитах по 6 аппаратов на каждой, высотой 1414 км и наклонением  $52^\circ$ .

Существуют и другие подобные системы связи, использование которых возможно для обеспечения функций связи и управления орбитальными группировками.

При запуске малых спутников (наноспутников, пикоспутников, фемтоспутников) появляются вопросы управления и связи, передачи данных (телеметрии) с борта космических аппаратов. Для спутников на круговых, полярных орбитах высотой до 1000 км еще можно обойтись простыми средствами, но с удалением спутников на расстояния в несколько тысяч километров связь становится главной проблемой. Для наноспутника массой 10—20 кг и мощностью энергетической установки не более 15—20 Вт обеспечение устойчивой связи традиционными средствами невыполнимо. Для этого подходят приемы организации наземной сотовой связи в комбинации с системами спутниковой связи. Шаг в этом направлении: использование систем «Globalstar» и «Orbcomm» для связи с малыми космическими аппаратами. «Связные» эксперименты заложены в программу по наноспутникам, выполняемую ведущими американскими университетами на деньги ВВС США ([www.nanosat.usu.edu](http://www.nanosat.usu.edu)).

Один из таких наноспутников «Рубин-2» представила фирма OHB-Systems ([www.fuchsgruppe.com/ohb-systems](http://www.fuchsgruppe.com/ohb-systems)), США. «Рубин-2» (масса спутника 30 кг) является результатом продолжения работ по спутнику «Сапфир», и его создание нацелено на выполнение серии технологических и связных экспериментов.

В качестве основной схемы связи для наноспутника «Рубин-2» выбрана система «Orbcomm». Она позволяет решить сразу две задачи: обеспечить глобальную связь с наноспутником и избавиться от необходимости создавать свою наземную инфраструктуру контроля и управления спутником. Экономическая выгода такого подхода очевидна, а использование интернета гарантирует надежность исполнения управляющих команд. В дополнение к терминалу

«Orbcomm» на спутнике имеется система пакетной связи «Safir-m», которая уже была испытана на предыдущих наноспутниках, изготовленных и запущенных компанией OHB-Systems. Основной канал управления работает через систему «Orbcomm», сброс служебной информации осуществляется через пакетный канал со скоростью 9600 бит/с.

**Особенности персональной спутниковой связи** можно проследить на примере системы «Inmarsat-BGAN».

«Inmarsat» существует более 25 лет. Одна из первых из систем персональной спутниковой связи. Система создавалась для обеспечения безопасности мореплавания. С 1 января 2006 г. началась коммерческая эксплуатация нового стандарта — «Inmarsat-BGAN». Спутниковая группировка — это три геостационарных спутника над экватором на высоте 35000 км. Абонентское оборудование в этом стандарте обеспечивает голосовую связь и передачу данных по IP протоколу, со скоростью до 500 кбит/с, причем одновременно. По сути это полноценный мобильный офис с телефонной связью и выделенной линией. Терминалы напоминают настольную рамку для небольшой фотографии. Вес около килограмма. Предполагается в 2007 г. обеспечить глобальное покрытие, за исключением полярных областей планеты. Не будет покрытия севернее  $70^\circ$  с. ш. и южнее  $70^\circ$  ю. ш.

Мобильные абонентские терминалы выпускаются фирмой Hughes Network Systems (США), модель HNS 9201 (3700 EUR), Thorne & Thorne (Дания), модель EXPLORER 500 (2890 EUR) и EXPLORER 700 (3500 EUR), NERA AS, Норвегия, модель NERA WorldPro 1000 (2200 EUR).

Технически самое совершенное абонентское оборудование «Inmarsat-BGAN», модель Hughes HNS 9201, имеет встроенную точку беспроводного доступа Wi-Fi 802.11b, остальные терминалы — как минимум Bluetooth. Дополнительно, можно подключить телефонную трубку и иметь голосовой доступ одновременно с передачей данных. Венчает все Quality of Service (QoS), сервис гарантированного канала с заданной скоростью, для приложений, требующих высоких скоростей передачи данных (например, потоковое видео). Стоимость услуг связи: голос — около 1 долл., IP-трафик — от 3 до 7 долл. за МБ в зависимости от объема.

Услуги, доступные для абонентов системы спутниковой связи «Inmarsat-BGAN»:

- телефон
- факс
- электронная почта
- передача данных  
(в том числе высокоскоростная)
- телекс  
(для некоторых стандартов)
- GPS.

Сеть «Inmarsat-BGAN» функционирует на базе новейших геостационарных спутников «Inmarsat I—4». Обеспечивается высокоскоростной доступ в Интернет. Система может быть использована для обслуживания орбитальных группировок спутников, прежде всего — нано- и пикоспутников.

**Система связи «Thuraya».** С точки зрения пользователя «Thuraya» имеет несколько базовых преимуществ по сравнению с существующими системами.

Во-первых, это система, которая способна принимать входящий сигнал без какой-либо специальной подготовки или настройки телефонного аппарата. В других спутниковых системах, например «Iridium» и «Globalstar», для того, чтобы принять звонок, необходимо развернуть антенну аппарата, в таком «развернутом» виде держать телефон и ждать, когда вам позвонят. Пользователю сети «Thuraya» для этого достаточно всего лишь просто включить телефон и проверить, чтобы он находился в спутниковом режиме. Антенну разворачивать не надо, можно даже находиться в помещении — спутниковый вызов в любом случае будет принят. Для пользователя это означает, что он может не беспокоиться о том, дозвонятся ему или нет.

Во-вторых, спутниковый телефон «Thuraya» представляет собой единственное устройство спутниковой связи, которое помещается в кармане. Все остальные аппараты ПСС, в том числе используемые в таких системах, как «Iridium», «Globalstar», не говоря уж об «Inmarsat», «MSAT» и прочих системах, слишком большие. Это тоже большое преимущество пользования телефоном системы «Thuraya» — оно ничем не отличается от пользования обычным GSM-телефоном.

В-третьих, тарифы на связь в сети «Thuraya» значительно ниже тарифов в других системах.

Это всего лишь 50 центов в минуту исходящего спутникового трафика при бесплатном входящем. Подавляющее большинство других операторов ПСС взимают деньги за входящий звонок; исходящий звонок также стоит дороже, чем в «Thuraya». В «Inmarsat», например, цена минуты связи может составлять несколько долларов (обычно больше 2.5—3 долл). Это довольно накладно. Таким образом, «Thuraya» имеет существенное конкурентное преимущество по ценам.

Есть и еще одно очень важное преимущество, которое заключается в том, что «Thuraya» как на системном уровне, так и на уровне отдельного пользовательского телефона очень хорошо объединяется с системами сотовой связи. По одному и тому же телефону можно звонить как в стандарте GSM, так и через спутник.

При этом в аппарате может находиться как спутниковая SIM-карта, так и SIM-карта сотового оператора. И если у последнего есть роуминговое соглашение с «Thuraya», то сотовая карта будет работать. Максимальная стоимость звонка в режиме GSM составляет 25 центов, и в случае международного роуминга, когда абоненту звонят соотечественники, это очень выгодно. Поэтому сегодня «Thuraya» — не только самая дешевая в мире спутниковая связь, но и самая дешевая входящая GSM-связь.

Спутник обладает следующими особенностями:

- 250—300 лучей (многолучевая антенна);
- наличие связи между мобильными телефонами только через спутник без участия наземного сегмента;
- большая емкость (13 750 линий связи).

Спутник оснащен солнечными панелями (размах 34.5 м), отражателем L-диапазона диаметром 12.25 м, а также антенной S-диапазона. Стартовая масса спутника «Thuraya-1» около 5108 кг, масса «Thuraya-3» составляет 5250 кг.

Спутники системы «Thuraya» расположен на высоте 35 787—36 000 км над экватором и способны предоставлять услуги 2 млн абонентов и поддерживать до 13.5 тысяч одновременных телефонных соединений. Часть телекоммуникационной емкости «Thuraya» сдает в аренду компании «Inmarsat» для предоставления услуг передачи данных со скоростью 114 кбит/с и выше.

Таблица 2. Используемые системой «Thuraya» частоты

Канал	частота
Абонентский терминал — спутник	1626.5—1660.5 МГц
Спутник — абонентский терминал	1525.0—1559.0 МГц
Станция сопряжения — спутник	6425.0—6725.0 МГц
Спутник — станция сопряжения	3400.0—3625.0 МГц

Срок службы спутников рассчитан на 12—15 лет.

15 января 2008 г. осуществлен запуск телекоммуникационного спутника «Thuraya-3». Спутник «Thuraya-3» выведен на геостационарную орбиту и существенно расширил зону покрытия сети спутниковой мобильной связи. Компания «Thuraya» предоставляет услуги спутниковой телефонии (передача голоса и данных) в странах Европы, Ближнего Востока, Северной и Центральной Африки, Средней Азии, части Индии, стран Юго-Восточной Азии, Тихоокеанского региона, включая Китай, Японию, Корею, Индонезию и Австралию. Функционирование спутниковой сети обеспечивается тремя геостационарными спутниками «Thuraya-1» (запуск 20.10.2000 г.), «Thuraya-2» (запуск 10.06.2003 г.) и «Thuraya-3» (www.thuraya.com.ua).

Используемые системой «Thuraya» частоты представлены в табл. 2.

Базовая станция системы «Thuraya» расположена у г. Шарджа в Объединенных Арабских Эмиратах. Компания Thuraya Satellite Telecommunications была создана в 1997 г. крупными финансовыми институтами ОАЭ, Саудовской Аравии, США, Германии. Разработчик и создатель системы «Thuraya» — компания Boeing Satellite Systems, имеющая мировую известность в производстве самолетов и спутников.

**Фазированные решетки.** Перспективным можно рассматривать направление использования для управления орбитальных группировок КА ДЗЗ существующих систем дальнего обнаружения ракетного нападения с фазированными решетками антенн излучения — стационарные сооружения с отклоняемым передающим лучом [2, 3]. Такие станции известны в мире, например «Днепр», «Катюша», «Антей», зарубежные 48L, «Patriot», RAT-31DL, GBR-0, AWS-9 и др. Эти

радарные комплексы разного назначения оснащены фазированной антенной решеткой с электронным движением луча. Передающая антенна может использоваться для передачи данных на спутники связи и КА. Приемная антенна радарного комплекса может принимать информацию, передаваемую на определенных частотах со спутников.

Передающие станции обладают большой мощностью и способны транслировать сигналы на орбиты высотой в тысячи километров, что может значительно расширить диапазон применения спутников связи и ДЗЗ, в т. ч. расположенных, например, в точках либрации — в треугольнике с расстоянием между КА в плоскости Луны 700 000 км [1].

**Радиолинии миллиметрового диапазона длин волн.** В наше время происходит бурный процесс развития систем и средств связи миллиметрового диапазона длин волн. Преимуществами диапазона являются возможность увеличения скорости передачи информации, обеспечения высокого усиления антенн при малой их апертуре, а также повышения помехозащищенности.

Вместе с тем, этот диапазон имеет ряд особенностей. Например, в этом диапазоне наблюдается существенное ослабление сигнала с повышением частоты в атмосферных газах и гидрометеорах, деполяризация излучения, амплитудные и фазовые изменения. Кроме того, в атмосфере имеются постоянные полосы интенсивного (резонансного) поглощения радиоволн, обусловленные наличием кислорода и водяного пара. Эти явления наблюдаются на частотах 22.2 ГГц ( $H_2O$ ), 60 ГГц ( $O_2$ ), 118.8 ГГц ( $O_2$ ) и 180 ГГц ( $H_2O$ ).

Практический интерес для связи представляют так называемые «окна прозрачности» на частотах около 35, 94.140 и 220 ГГц, в которых наблюдается минимальное затухание радиоволн по сравнению с соседними участками электромагнитного спектра. Например, в средних широтах при умеренной влажности и температуре у земной поверхности 20 °С в окнах прозрачности полное ослабление невелико и составляет, ориентировочно, для частоты 94 ГГц не более 1.3 дБ.

Успехи в разработке элементной базы миллиметровых волн открыли возможность их приме-

нения в системах связи. Кроме разнообразного назначения наземных систем связи, весьма перспективным является применение миллиметровых волн для высокоскоростной спутниковой связи. При этом создание радиолиний спутник-спутник во многих случаях может исключить необходимость создания промежуточных наземных станций.

Перспективным является и использование миллиметровых волн для низкоорбитальных КА дистанционного зондирования Земли, так как используемые в настоящее время более низкочастотные диапазоны перенасыщены за счет одновременной работы большого количества космических аппаратов, находящихся на орбите.

В настоящее время радиолинии передачи информации с борта спутников дистанционного зондирования работают в сантиметровом диапазоне на частотах 8.0—8.4 ГГц (т. е. занимают полосу 0.4 ГГц). Тенденция развития средств дистанционного зондирования (многоспектральные радиометры оптического диапазона, радиолокаторы с синтезированием апертуры антенны, обладающие разрешающей способностью в доли метра) предполагает увеличение скорости передаваемой информации и, соответственно, увеличение полосы частот.

Анализ Регламента Радиосвязи показывает, что ближайшим выделенным диапазоном для передачи информации по радиолинии «космос-Земля» является полоса частот 25.5—27 ГГц. Рекомендуемая полоса частот в 1.5 ГГц предоставляет существенные возможности для развития бортовых средств передачи информации дистанционного зондирования. Кроме того, близко расположенные частоты 28.5—30 ГГц (полоса порядка 1.5 ГГц) выделены для передачи информации по линии «Земля — космос».

Представляется, что это дает возможность создать совмещенную бортовую радиолинию (командную, телеметрическую и информационную) в одном устройстве, которое работает к тому же и на одну антенну. Такой подход позволяет существенно снизить массогабаритные характеристики бортовой станции, что для малых космических аппаратов является определяющим фактором.

Современный отечественный уровень развития технологии устройств миллиметрового диапазона длин волн, имеющиеся заделы и сложив-

шаяся научно-производственная кооперация позволяет обеспечить проектирование многоканальных активных и пассивных систем локации, а также систем связи, которые обладают техническими характеристиками на уровне лучших зарубежных аналогов.

В связи с вышеизложенным актуально проведение в рамках национальной космической программы Украины на 2008—2012 гг. ряда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на создание базовой модификации бортовой радиолинии миллиметрового диапазона длин волн.

#### НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ УКРАИНСКОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ СПУТНИКОВ ДЗЗ

Для управления спутниками украинской группировки ДЗЗ может использоваться однопунктная схема управления, впервые в СНГ вынужденно, но успешно примененная в Украине для управления спутником «Сич-1». Несмотря на очевидные экономические преимущества указанной схемы, она накладывает жесткие ограничения на оперативность и надежность выполняемых операций по управлению спутником, приему и обработке поступающей телеметрической и научной информации.

Среднее время сеанса работы со спутником в зоне радиовидимости национальных приемно-передающих земных станций составляет 5—15 мин, и за это время необходимо определить параметры орбитального движения спутника, принять и обработать телеметрическую информацию, оценить состояние спутника, с учетом результатов этой оценки сформировать и заложить на борт программу работы спутника на следующий период планирования.

В течение суток возможны 2—5 сеансов работы со спутником, при этом, как правило, обеспечивается лишь один полноценный дневной сеанс сбора оптической информации по территории Украины. Указанные обстоятельства вынуждают закладывать на борт «жесткую» программу работы спутника, которую невозможно изменить до следующей закладки программы.

Иную технологию эксплуатации космической



системы в квазиреальном масштабе времени авторы предлагают назвать SEE — технологией (Space Eyes & Ears — космические глаза и уши), когда спутник «слышит» оперативные команды на съемку, обрабатывает их и тут же передает информацию на абонентские терминалы пользователей.

Введение в состав орбитальной группировки геостационарного спутника-ретранслятора позволяет реализовать предлагаемую технологию.

Система «SEE» может быть в перспективе создана в Украине на основе внедрения новых подходов к проектированию и организации эксплуатации орбитальных группировок с учетом мирового опыта.

Предлагается рассмотреть два варианта возможной структурной схемы.

**Вариант первый** предполагает использование стандартных технических средств в виде покупных составляющих.

Последовательность действий:

- пользователи через интернет подают заявки на съемку определенных территорий;
- объединенный операционный центр и центр управления полетом (ЦУП+ОЦ) передают информацию о загрузке задания на съемку на ретрансляционный стандартный спутник связи (высокоорбитальный или низкоорбитальный), обеспечивается обратная связь;
- спутник связи в автоматическом режиме на орбите передает информацию на борт спутника ДДЗ, обеспечивается обратная связь;
- спутник ДЗЗ передает полученные данные для ретрансляции на Землю через геостационарный спутник связи;
- геостационарный спутник связи транслирует в различных режимах (по требованию потребителя) информацию на приемную станцию или через мобильный (сотовый) телефон прямо на ПЭВМ потребителя. Потребитель сам проводит обработку полученной информации: классификацию ландшафтов, оценку вегетационного индекса, определение объектов и пр. (проводит тематическую обработку данных).

В этом случае традиционные системы связи, применяемые для КА ДЗЗ, дополняются возможностями интернета, спутников связи и даже бытовых средств связи.

**Вариант второй** полностью базируется на применении готовых программно-технических комплексах (ПТК) и средств связи, в том числе бытовой, с интернетом для обслуживания потребителя, управления съемкой КА ДЗЗ.

Последовательность действий:

- программный комплекс планирования (ПК) в автоматическом режиме через интернет подает заявки в ЦУП+ОЦ;
- ПТК «Сводная заявка» ЦУП+ОЦ передает сформированные задания на съемку территорий в ПТК «Управление», откуда заявки передаются на связной терминал;
- информация через спутник связи (низкоорбитальный или высокоорбитальный с обратной связью) поступает на КА ДЗЗ;
- КА проводит съемку и сжатие информации, после чего она поступает на спутник телевизионного вещания (СТВ) и через стандартную бытовую спутниковую антенну поступает на ПК «Обработка» пользователя.

Второй вариант позволяет осуществлять сокращенный и упрощенный вариант:

- для формирования заявок на съемку оптической аппаратурой ДЗЗ потребитель получает на свою телевизионную приемную антенну данные метеорологического спутника и формирует задание на съемку;
- с ПК «Планирование» задание на проведение съемки через связной терминал поступают на низкоорбитальный спутник связи (ПСС) и через него передаются непосредственно на КА ДЗЗ;
- КА ДЗЗ проводит съемку, сжатие информации и передает полученные данные на СТВ;
- СТВ транслирует информацию на бытовую приемную антенну потребителя, оснащенного стандартным ПК «Обработка».

Второй вариант допускает использование спутника ДЗЗ на уровне бытовых потребностей потребителя с использованием бытовой телевизионной техники и специализированных ПТК (ПК), разработанных в мире и Украине.

#### ВЫВОДЫ

В рамках Общенациональной космической программы Украины на 2008—2012 гг. требуется провести целый комплекс НИР для обоснования

и разработки принципиально новых для Украины систем КА ДЗЗ с обеспечением непрерывной съемки и трансляции полученных данных в условиях орбитальной группировки. В Украине развитие космического сектора ДЗЗ возможно лишь при обеспечении принципа демократизации доступа потребителя непосредственно к процессу формирования заказа на съемку Земли и прямого получения космических снимков, для чего следует опробовать и внедрить существующую систему бытового телевидения, средств интернета, мобильной связи.

1. Брыков А. Станция в точке либрации // *Авиация и космонавтика*.—1987.—№ 7.—С. 42—43.
2. Вендик О. Г. Статистическая оценка смещения луча системы излучателей // *Радиотехника и электроника*.—1963.—8, № 7.—С. 1130.

3. Парнес М. Д. Фазированные антенные решетки в системах спутникового телевидения // *Теле-спутник*.—1997.—№ 8 (22).—С. 58—60.
4. II Международная научно-практическая конференция «Университетские спутники — перспективы и реальность» // *Сб. материалов конф., Евпатория (НЦУ-ИКС), 26—30 июня 2007 г.* / Под общ. ред. А. Н. Петренко. — Д.: НЦАОМ, 2007.—149 с.

---

#### APPROACHES TO CONSTRUCTION AND OPERATION NATIONAL ORBITAL GROUPING

*Ye. I. Bushuev, V. I. Voloshin, A. S. Levenko,  
Ye. I. Kapustin, J. I. Stefanishin*

In articles the basic design decisions on construction and operation of a perspective Ukrainian orbital grouping of satellites of remote sounding of the Earth are considered.