

УДК 528.855

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ ПОЛИГОННО-КАЛИБРОВОЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАДИОЛОКАТОРА С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Л. М. Атрошенко, Н. Н. Горобец<sup>1</sup>, М. Г. Красногорский, В. М. Малюков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

Украина, 61022, Харьков, площадь Свободы, 4. E-mail: Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua

<sup>2</sup>Открытое акционерное общество Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения»  
Россия, 143966, Реутов, ул. Гагарина, 33

*Рассматривается полигонно-калибровочный комплекс (ПКК) для верификации и валидации радиолокационных изображений (РЛИ). По результатам летного эксперимента: съемки ПКК «Скрипали» (Украина) КА «Radarsat-2» и анализа полученных изображений сделан вывод о принципиальной готовности ПКК для подтверждения характеристик РЛИ с КА «Кондор-Э» на этапе летных испытаний КА и верификации и валидации РЛИ других систем.*

*Ключевые слова: полигонно-калибровочный комплекс, угловой отражатель, маркер, разрешающая способность, опорная точка.*

## EXPERIENCE OF CREATION OF THE GROUND CALIBRATION POLYGON COMPLEX FOR THE SPACE SYNTHETIC APERTURE RADAR TESTING

L. M. Atroshenko, N. N. Gorobec<sup>1</sup>, M. G. Krasnogorskiy, V. M. Malukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kharkov National University named after V. N. Karazina

4 Svobody square, Kharkov, 61022, Ukraine. E-mail: Nikolay.N.Gorobets@univer.kharkov.ua

<sup>2</sup>JSC "Military and industrial corporation of "SPA Mashinostroyenie"

33 Gagarin st., Reutov, Moscow Region, 143966, Russia. E-mail: almaz0030@mail.ru

*The presented calibration polygon complex (CPC) is intended for verification and validation of radar images (RI). Results of the flight experiment: imaging of CPC "Skrpali" (Ukraine) by the S/C "Radarsat-2" and the subsequent analysis of the gained images have led to the conclusion about basic readiness CPC for acknowledging of RI performances from S/C "Kondor-E" at a stage of flight tests and verification and validation RI from other systems.*

*Keywords: calibration polygon complex, angular reflector, marker, resolution, control points.*

Комплексная проверка качественных характеристик получаемых снимков и калибровка спецаппаратуры на этапе проведения летных испытаний КА и штатной эксплуатации обычно проводится с использованием наземного оборудования полигонно-калибровочного комплекса (ПКК), оснащенного необходимыми метрологическими средствами. В качестве метрологических средств могут быть использованы различного рода миры, отражатели и т. д., что зависит от диапазона длин волн спецаппаратуры, используемой для получения снимков и оцениваемых характеристик снимков.

В настоящее время нет готовых для использования по назначению ПКК, поэтому, принимая во внимание теоретические разработки и их практическое применение работ [1; 2], реализованных в рамках темы «Открытое небо» было принято решение о разработке ПКК для МКА «Кондор-Э»

МКА «Кондор-Э» является многоцелевым космическим аппаратом легкого класса, который предназначен для получения информации в интересах задач социально-экономического развития и коммерческого использования методом дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Бортовая аппаратура космического аппарата реализует принцип радиолокационного наблюдения земной поверхности.

Космический аппарат обеспечивает наблюдение Земной поверхности в диапазоне 80° с. ш. – 80° ю. ш., а получаемая информация позволяет решать коммерческим потребителям следующие задачи:

- картографирование и мониторинг за природными ресурсами;
- экологический мониторинг заданных территорий с целью предупреждения о катастрофах и бедствиях природного и техногенного характера;
- геологическая разведка местности при строительстве объектов социально-экономического назначения и градостроительства;
- Контроль ледовой обстановки в северных широтах и проводка морских судов;
- контроль за нахождением морских судов в территориальных водах в местах интенсивного лова рыбы;
- поиск судов, терпящих бедствие;
- контроль оползневых процессов на склонах дамб и инженерных гидротехнических сооружений;
- контроль просадок (вспучиваний) почвы техногенного и природного характера;

– обнаружение поверхностно-активных пленок на водных поверхностях, а также утечек ряда загрязняющих веществ.

МКА состоит из универсальной космической платформы со служебными бортовыми системами и модуля полезной нагрузки, который комплектуется радиолокатором бокового обзора с синтезированной апертурой (РСА). Основные характеристики МКА приведены в таблице.

Для проверки и периодического подтверждения сквозных характеристик РСА, оценки радиометрической чувствительности РСА, периодической калибровки радиометрической шкалы и оценки точности привязки получаемых радиолокационных изображений к географическим координатам в настоящее время разработан и апробирован полигонно-калибровочный комплекс [3].

ПКК размещается на территории Харьковской области (Украина).

В состав метрологических средств ПКК входят пять маркеров ПКК – центральный (точка прицеливания) и граничные (вблизи углов ПКК), состоящие из четырех трехгранных уголковых отражателей (УО), с треугольными гранями, ориентированных в верхнюю полусферу. По своим характеристикам маркеры обеспечивают ЭПР на уровне 20–40 дБ.

Маркеры размещены на стационарных опорных устройствах – плоских деревянных платформах, поднятых на высоту 2,5 м над поверхностью земли. Также выполнены краевые маркеры контрольно – калибровочного комплекса (ККК) ПКК.

На ПКК организовано в виде пикетов и абрисов около 300 опорных точек, на каждой из которых согласно плану эксперимента могут быть в случайном или регулярном порядке размещены метрологические средства. Выделено более 20 эталонных участков – площадок  $25 \times 25 \text{ м}^2$ , сохраняющих изоморфность инфраструктуры и отражающих характеристик в любых сезонных и погодных условиях.

ККК состоит из потенциальной миры для оценки радиометрической чувствительности и динамического

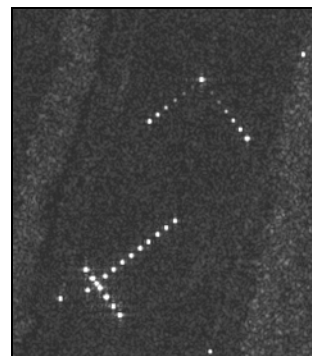
диапазона РСА и пространственной миры для оценки пространственной разрешающей способности РСА, состоящих из самофазированных трехгранных уголковых отражателей с треугольными гранями.

Метрологические средства располагаются на опорно-поворотных устройствах, обеспечивающих их переориентацию и исключающих влияние переотражений, на подстилающей поверхности с УЭПР –30 дБ.

Все метрологические средства ПКК аттестованы и сертифицированы.

Итогом разработки и создания ПКК на данном этапе явилось проведение летных испытаний, которые состоялись 14.02.2012 г. с привлечением КА «RadarSat-2» ( $\lambda = 5,6 \text{ см}$ ).

Фрагмент РЛИ ККК с потенциальной и пространственной мирами приведен на рисунке. Как видно, созданные метрологические средства и разработанные методы их установки и ориентации обеспечивают получение надежных данных для оценки основных характеристик РСА космического базирования.



РЛИ ККК с двумя мирами УО и краевыми маркерами

РЛИ ПКК в целом, несмотря на сложные погодные условия (метель,  $t_{\text{воз.}} = -300^\circ\text{C}$ ), обеспечило возможность оценки разрешения по приращению уровня обратного рассеяния сцен, точной ( $p > 0,99$ ) географической привязки всех тестируемых объектов.

#### Основные характеристики МКА

Наименование	Значение		
Параметры рабочей орбиты: – высота; – наклонение	450–900 км до $98^\circ$		
Режимы работы РСА	Детальный прожекторный (ДПР) Детальный непрерывный (ДНР) Обзорный (ОР)		
Характеристики наблюдения:	ДПР	ДНР	ОР
– разрешение, м	1–2	1–3	5–30
– полоса захвата, км	$10 \times 10$	$10 \times 15$	200
– длина маршрута, км	–	до 150	до 800
– полоса обзора, км	2 × 500		
– поляризация	H и/или V		
Длины волны, см	~ 9,6 (S-диапазон)		
Производительность покадровой съемки (ДПР)	до 30 кадров в сутки		

Летные испытания показали [4], что созданный ПКК, разработанные метрологические средства и способы их установки обеспечивают возможность валидации, верификации и калибровки характеристик РСА и полученных с их использованием РЛИ.

Специальное описание и оборудование территории ПКК может быть расширено и унифицировано, что значительно расширяет возможности наземного обслуживания ДЗЗ из космоса.

#### Библиографические ссылки

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук. М.: Радиотехника, 2010.

2. Толстов Е. Ф., Яковлев А. М., Карпов О. А. Радиолокационный комплекс аппаратуры наблюдения в программе «Открытое небо» // Радиотехника. № 11. Серия «Радиолокационные системы и системы радиоправления». 1995. № 2. Вып. 6. С. 54–57.

3. Мобильный контрольно-калибровочный комплекс для РСА космического базирования / Л. М. Атрошенко, Н. Н. Горобец, А. Н. Горобец и др. // Вестник Харьк. нац. ун-та им. В. Н. Каразина. Серия «Радиофизика и электроника». Вып. 20. № 110. С. 3–9.

4. Летно-экспериментальные испытания полигонно-калибровочного комплекса подспутникового полигона «Скрипалі» («Скрипачи», «Violinists») / Л. М. А-

рошенко, Н. Н. Горобец, А. Н. Горобец и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: X Всеросс. открытая конф. (12–16 ноября 2012, г. Москва).

#### References

1. Verba V. S., Neronskiy L. B., Osipov I. G., Turuk V. E. Radiolokacionnye sistemy zemleobzora kosmicheskogo bazirovaniya (Radar remote sensing space-based). Moscow, Radiotekhnika, 2010. 514 p.

2. Tolstov E. F., Yakovlev A. M., Karpov O. A. Ser. "Radiolokacionnye sistemy i sistemy radioupravleniya" no. 2 (6), 1995, pp. 54–57.

3. Atroshenko L. M., Gorobec N. N., Gorobec A. N., Krasnogorskiy M. G., Kostrikov A. L., Kupko V. S., Lebedev A. S., Malukov V. M., Ratushnaia E. S. Vestnik Xar'kovskogo nacional'nogo universiteta im. V. N. Karazina. Ser. "Radiofizika i elektronika", no. 20 (110), pp. 3–9.

4. Atroshenko L. M., Gorobec N. N., Gorobec A. N., Kostiyashkin S. I., Krasnogorskiy M. G., Lebedev A. S., Malukov V. M., Ratushnaia E. S. 10-ya Vserossiyskaya otkritaya konferenciya «Sovremennye problemi distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa» (10<sup>th</sup> National Open Conference "Modern problems of remote sensing of the Earth from Space"), Moscow, Space Research Institute, 12–16 November 2012.

© Атрошенко Л. М., Горобец Н. Н., Красногорский М. Г., Малюков В. М., 2013

УДК 621.391.14

### ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОВЕРКИ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ ПРИ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Т. А. Лепехина, В. И. Николаев

Научно-производственный центр «СПУРТ»  
Россия, 124460, Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, 4. E-mail: tatonika@inbox.ru

*Рассматриваются основные проблемные вопросы летных испытаний космических РСА: организация и планирование экспериментов с целью сокращения временных и материальных затрат, выбор методов и формирование единого подхода к определению сквозных характеристик. Изложены методики проверки основных характеристик РСА с помощью метрологических средств радиолокационного полигона.*

*Ключевые слова: радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА), калибровка, пространственная разрешающая способность, радиометрическая разрешающая способность, системный подход.*

### SOME PROBLEMS OF SPACEBORNE SYNTHETIC APERTURE RADAR PRINCIPAL PERFORMANCE VERIFICATION IN FLIGHT TESTS

T. A. Lepekhina, V. I. Nikolaev

Scientific Production Centre "SPURT"  
4 1-st Zapadny passage, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia. E-mail: tatonika@inbox.ru

*The most debatable aspects of spaceborne SAR flight tests are considered in the paper. Those are: designing an experiment for time and cost saving; technique selection and unified approach developing for SAR through performance determination. SAR principal performance verification methods using radar test range metrological facilities are presented.*

*Keywords: synthetic aperture radar (SAR), calibration, spatial resolution, radiometric resolution, flight tests.*