

УДК 528.8

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПОДСПУТНИКОВЫЕ ПОЛИГОНЫ ДЛЯ НАЗЕМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВАЛИДАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

**Л.М. Атрошенко¹, Г.А. Борщева⁴, Н.Н. Горобец², А.Л.Костриков³, Е.А. Пивовар²,
Л.П. Сафронова², Е.Д. Ярмольчук⁴**

¹Научно - производственное предприятие «ЛЕС - ИНФОРМ»; г. Харьков, ул. Сумская, 77/79;

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, г. Харьков, 61022, пл. Свободы, 4;

³Национальный научный центр "Институт метрологии", 61002, Харьков, ул. Мироносицкая, 42;

⁴Государственное предприятие "Конструкторское бюро "Южное" имени М.К. Янгеля",

49008, г. Днепропетровск, ул. Криворожская, 3

e-mail: cw-a-nt@mail.ru

Поступила в редакцию 15 января 2014 г.

Предлагается и обосновывается программа создания отечественной системы наземного обеспечения валидации и верификации национальных космических систем ДЗЗ. Создаваемая система состоит из четырех полигонов для обеспечения работы любых средств ДЗЗ космического базирования и разрешающей способности. Местоположение полигонов - Харьковская и Одесская области. Метрологические средства полигонов - авторские миры всех радиофизических диапазонов ДЗЗ, а также оптического и инфракрасного диапазонов. Инфраструктура и средства измерительной техники полигонов позволяют обеспечивать наземное сопровождение отечественных и зарубежных систем ДЗЗ и получения материалов для решения большого круга тематических задач.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистанционное зондирование Земли из космоса, внешняя калибровка, подспутниковый полигон, метрологическое обеспечение.

Пропонується і обґрунтовується програма створення вітчизняної системи наземного забезпечення валидації та верифікації національних космічних систем ДЗЗ. Створювана система складається з чотирьох полігонів для забезпечення роботи будь-яких засобів ДЗЗ космічного базування і роздільної здатності. Місцезнаходження полігонів – Харківська та Одеська області. Метрологічні засоби полігонів – авторські міри всіх радіофізичних діапазонів ДЗЗ, а також оптичного та інфрачервоного діапазонів. Інфраструктура та засоби вимірювальної техніки полігонів дозволяють забезпечувати наземний супровід вітчизняних і зарубіжних систем ДЗЗ та отримання матеріалів для вирішення великого кола тематичних задач.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дистанційне зондування Землі з космосу, зовнішнє калібрування, підспутниковий полігон, метрологічне забезпечення.

The program of create national system for ground support validation and verification of the home remote sensing space systems is proposed and substantiated. This system consists of four sites for the operation of any types of remote sensing space-based systems with any resolution. The location of sites is Kharkov region and Odessa region. The author's test objects for remote sensing systems in radio, infrared and optical ranges are site's metrological equipment. The site's infrastructure and measuring equipment provide ground support for home and foreign remote sensing systems and the production of materials to solve a wide range of thematic tasks.

KEY WORDS: Remote Sensing of the Earth from space, external calibration, sub-satellite ground, metrology.

ВВЕДЕНИЕ

Сенсоры космических систем землеобзора представляют собой по существу измерительные приборы, с использованием которых должна быть получена точная и достоверная информация о характеристиках участка поверхности Земли, отображенном на полученном космическом снимке. Как всякий измерительный прибор, любой такой сенсор требует контроля своих характеристик в течение всего времени эксплуатации.

Тактико-техническим заданием на создание космической системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) оговариваются численные характеристики комплекса показателей целевой эффективности системы. Среди последних особое место занимают требования к информационным характеристикам выходной продукции системы.

С целью обеспечения возможности получать достоверную информацию о достигнутых значениях этих характеристик разрабатываются и постоянно совершенствуются инструменты и процедуры

валидации и верификации, основной задачей которых является достижение точного знания характеристик получаемого с их использованием выходного информационного продукта. Метрологическое обеспечение дистанционного зондирования Земли из космоса является отдельной областью метрологии.

Согласно стандарту ИСО 9000-2008 "Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь" валидация определена как "Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены". Валидация данных космического землеобзора включает в себя обеспечение объективности, достоверности, надежности и репрезентативности получаемых результатов дистанционного зондирования Земли. Верификация — обычно внутренний процесс управления качеством, обеспечивающий согласие с правилами, стандартами или спецификацией. Валидация подтверждает, что создан правильный продукт, а верификация подтверждает, что создан продукт таким, каким и требовалось в соответствии с заданием.

Вследствие влияния различных факторов (механические и термические перегрузки в процессе выведения космического аппарата на орбиту и эксплуатации системы, космический мусор [1] (для радиолокационных КС), состояние атмосферы, временной дрейф характеристик снимающей аппаратуры, изменение геометрических характеристик корпуса космического аппарата) качество информационных продуктов, получаемых методами дистанционного зондирования Земли из космоса, может претерпевать существенные изменения. Достижение высокой точности космической информации на всех этапах работы КС ДЗЗ – от летно-конструкторских испытаний и до завершения жизненного цикла КС – обеспечивается процедурами верификации и валидации всех составных частей космической системы.

С этой целью при создании КС ДЗЗ в их состав включаются наземные средства контроля характеристик космических систем (НСК ХКС).

Одной из важнейших составных частей НСК ХКС являются подспутниковые наземные полигоны, обладающие комплексом заданных характеристик, обеспечивающие постоянный контроль значений этих характеристик и оснащенные для этого метрологическими средствами, соответствующими решаемым задачам.

Целью Космической программы Украины является реализация единого государственного подхода к космической деятельности, эффективное использование научно-технического и производственного потенциала государства для обеспечения высокого уровня космической деятельности, которая отвечает геополитическим и экономическим интересам Украины. Одной из основных задач Программы является развитие национальной системы наблюдения Земли из космоса в интересах общегосударственных потребностей в социально-экономической сфере, в сфере безопасности и обороны [2]. Выполнение задач Программы осуществляется путем выполнения целевых космических программ, содержание которых определено на основе анализа мировых тенденций в космической деятельности и существующих отечественных разработок. Одной из таких программ является Целевая программа "Развитие опытно-экспериментальной и производственной базы отрасли", которая отображает новые подходы к эффективному использованию потенциала отрасли. Программа призвана оказывать содействие решению задач коммерциализации космической деятельности, выбора рыночно – эффективной структуры области.

В рамках программы предполагается, в частности, создание базовых опытно-экспериментальных комплексов, к каковым и относятся подспутниковые полигоны наземного обеспечения дистанционного зондирования Земли.

Выполнение задач создания отечественных подспутниковых полигонов обеспечивает поддержку на современном техническом уровне экспериментальной инфраструктуры для испытаний космической техники и обеспечения эффективности, рентабельности и конкурентоспособности отечественных систем ДЗЗ.

Наземные полигоны подспутникового сопровождения и контрольно – калибровочные полигоны (часть земной поверхности с известными характеристиками, которую используют для калибровки, сверки и заверки данных и технических средств ДЗЗ [3]) являются одним из важнейших компонентов наземного сегмента инфраструктуры систем исследования Земли из космоса, неотъемлемой частью обеспечения качества результатов ДЗЗ.

Для решения огромного и все возрастающего количества задач дистанционного зондирования Земли применяются сенсоры разной степени интегрирования или, напротив, дифференцирования физических характеристик поверхности Земли. Это приводит к использованию для их решения сенсоров с различной степенью линейного разрешения – от сотен километров до долей метра, что, в свою очередь, влечет за собой необходимость создания подспутниковых полигонов различной площади и с разной степенью детализации характеристик полигона (описания полигона). Техническое задание на создание

подспутникового полигона должно разрабатываться на основании тактико-технического задания на создание системы дистанционного зондирования Земли и параллельно с техническими заданиями на остальные составные части системы.

В свете предстоящих запусков отечественных КС "Січ-2-1" и "Січ-2М" проблема разработки и создания отечественной системы подспутниковых полигонов (составной части Космической программы Украины) приобретает особую актуальность. При создании ее следует опираться на предшествующий опыт и использовать имеющиеся наработки, созданные и эксплуатировавшиеся ранее и в настоящее время подспутниковые полигоны.

ПОЛИГОН "ХАРЬКОВСКИЙ"

Подспутниковый полигон "Харьковский", созданный в 1987г., может обеспечить возможность землеобзора во всех доступных режимах наземного сопровождения, начиная от обзорного и кончая прожекторным и обслуживать космические аппараты с сенсорами самой разной разрешающей способности на борту – от радиометров сверхнизкого разрешения до инфракрасных датчиков сверхвысокого разрешения.

Территория полигона охватывает большую часть территории Харьковской области, имеет форму квадрата со стороной 100км (рис. 1), расположена на границе лесостепной и степной зон, обладает умеренно – континентальным климатом и разнообразной растительностью, имеет естественный водный репер по периметру (реки Сиверский Донец и Оскол).



Рис. 1. Местоположение подспутникового полигона "Харьковский"

Описание полигона в целом – интегрированное описание геологии, геоморфологии, растительности и климата указанной части Харьковской области. Первоначально созданный как радиофизический (для обслуживания РСА космического базирования), полигон в последующем был дооснащен как вседиапазонный и использовался как опорный и эталонный в международных программах «ИнтерКур», «КурЭкс», «Природа», «Алмаз», при выполнении работ в интересах НГДУ «Ласьеган-нефть» (ныне – концерн «ЛукОйл»), КомиЛес, «Орбита», Концерна «Вега», ИРЭ РАН, ИГ СО РАН.

Центральная точка полигона - точка прицеливания с базовым маркером – находится в с.Бригадировка Балаклеевского района Харьковской области (географические координаты в системе WGS – 84: 49° 32' 31,31" СШ, 36° 02' 54,92" ВД).

На территории полигона идентифицировано и привязано к местности более 1000 линеаментов (в основном, лесополосы) и более 2000 точек пересечения линеаментов, объекты хозяйственного назначения (элеваторы, водонапорные башни), внутренние водоемы. Их координаты определены в системе WGS – 84 с точностью не хуже 1м. В территорию полигона «встроены» два полигона для обслуживания средств и/или режимов ДЗЗ, обеспечивающих средний уровень разрешения.

В составе калибровочных средств подспутникового полигона «Харьковский» и его составляющих имеются миры для калибровки радиолокационных, радиометрических, оптических и инфракрасных средств космического базирования с разрешающей способностью от 0,2м до 2км. Полигон обеспечен необходимым набором средств измерительной техники и вспомогательных технических средств.

Вседиапазонность полигона (наличие метрологических средств и специальных описаний для радиолокации, радиометрии, инфракрасного и оптического диапазонов) обеспечивает возможность использования данных комплексирования информационных продуктов различных диапазонов не только для разработки технологий решения тематических задач, актуальных для страны и возможных иностранных потребителей, но и повышение точности внешней калибровки характеристик сенсоров путем взаимной сверки данных съемки контрольно - калибровочного комплекса (рис. 2).

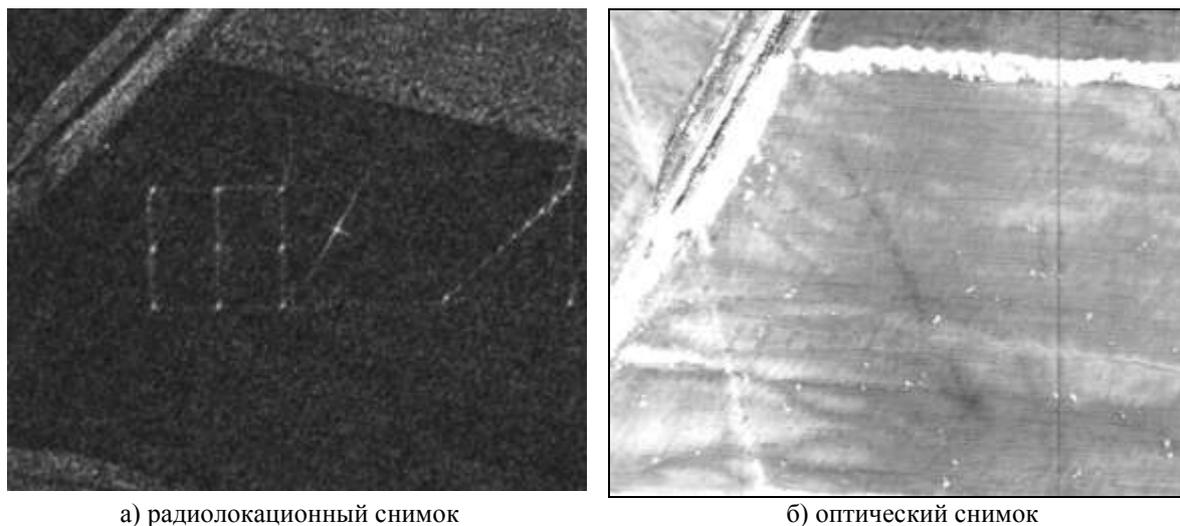
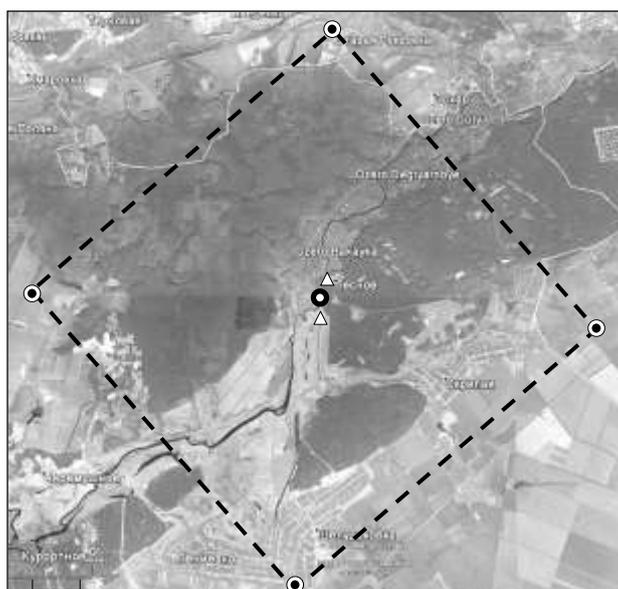


Рис. 2. Снимки калибровочного комплекса подспутникового полигона «Скрипалі» из космоса

Подспутниковый полигон «Скрипалі»

Подспутниковый полигон «Скрипалі» («Скрипачи», «Violinists») (рис. 3) является полигоном - стационаром [4] с хорошо развитой инфраструктурой: связь, транспорт, производственные и складские помещения, места базирования рабочих групп (стационарное в пос. Лесное и передвижное), постоянно действующий метеопост 2-го разряда, обзорная вышка (рис. 4).



- – центральный маркер;
- – граничные маркеры;
- △ – места базирования рабочих групп

Рис.3. Размещение объектов на территории подспутникового полигона «Скрипалі»

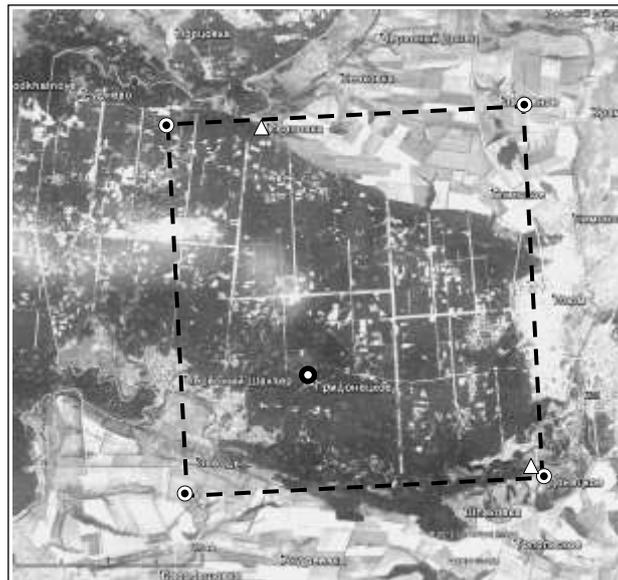
Центральная точка полигона с базовым маркером (точка прицеливания) находится вблизи пос. Лесное Змиевского района Харьковской области (географические координаты точки прицеливания в системе WGS – 84: 49° 44' 23,19" СШ, 36° 32' 31,38" ВД, высота 97, 1 м. Полигон сертифицирован как измерительная лаборатория.



Рис.4. Расположение обзорной вышки на рельефе подспутниковый полигон «Скрипалі».

Подспутниковый полигон «Співаки»

Поскольку возможность землеобзора в оптическом и в значительной части ИК диапазонах в большой степени зависит от погодных условий (наличия облачности) для повышения вероятности возможности валидации и верификации сенсоров этих диапазонов и их продукции в необходимые сроки в одной и той же полосе захвата средств космического базирования, что и подспутниковый полигон «Скрипалі», создан полигон-дублер – подспутниковый полигон «Співаки» («Певцы», «Vocalists») (рис.5),



- – точка прицеливання
- – граничні маркери
- △ – места базирования рабочих групп

Рис. 5. Местоположение полигона-дублера - подспутникового полигона «Співаки»

основная часть территории которого расположена внутри Спиваковской излучины р. Сиверский Донец (естественный водный репер). Центральная точка полигона с базовым маркером находится в населенном пункте Придонецкое ($49^{\circ} 10' 57,46''$ СШ; $37^{\circ} 07' 44,85''$ ВД) Изюмского района Харьковской области (географические координаты точки прицеливания в системе WGS – 84: $48^{\circ} 56' 43''$ СШ, $37^{\circ} 42' 21''$). Прямыми многолетними наблюдениями установлено, что совместное на полигонах среднее количество ясных дней, пригодных для оптической космической съемки, составляет 178 дней в году (в отличие от индивидуальных 115 дней на подспутниковом полигоне «Скрипалі» и 137 - на подспутниковом полигоне «Співаки»). Полигон - дублер, так же, как основной, имеет развитую инфраструктуру. Краевые маркеры

полигона и места базирования рабочих групп расположены на диагональных окончаниях полигона - в населенных пунктах Ивановка и Донецкое.

ПОЛИГОН "ОДЕССКИЙ"

Дополнительно к описанным полигонам создается полигон-аналог - подспутниковый полигон - стационар "Одесский" с центром в населенном пункте Котовка, точка прицеливания - $46^{\circ} 33' 52,86''$ СШ; $30^{\circ} 42' 57,50''$ ВД. Водные реперы полигона - лиманы Куяльницкий, Хаджибеевский, Черное море. Полигон характерен тем, что число ясных дней в году на его территории более 200, что обеспечивает высокую вероятность возможности получения космического информационного продукта в заданные сроки. Кроме того, наличие в системе отечественных подспутниковых полигонов полигона в другой полосе захвата обеспечивает возможность контроля характеристик сенсора космического базирования непосредственно до и после съемки заказанного потребителем участка земной поверхности, что позволяет сертифицировать полученный информационный продукт. Космическая съемка территории полигона может быть использована для решения ряда актуальных региональных проблем, как то: высыхание Куяльницкого лимана, загрязнение акватории Черного моря и мн. др. Местоположение подспутникового полигона "Одесский" представлено на рис. 6.



- – точка прицеливания
- – граничные маркеры

Рис. 6. Местоположения подспутникового полигона "Одесский"

СОСТАВ ТЕСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПОЛИГОНОВ

Описанные полигоны прежде всего - грамметрические: на них организуется большое количество опорных точек со стационарными и/или передвижными пикетами (на полигонах «Співаки» и Одесский - 200 на каждом, на подспутниковый полигон «Скрипалі» - 485), на которых могут выставляться метрологические средства для решения задач калибровки и валидации, требующих использования больших площадей, как то: калибровка диаграммы направленности антенны, получение матриц геометрической и радиометрической коррекции, совмещения снимков для получения разностной информации и т.п. Координаты опорных точек измеряются с точностью 0,1м.

На подспутниковых полигонах созданы контрольно - калибровочные комплексы, предназначенные для внешней калибровки сенсоров космического базирования с использованием специально разработанных мир всех диапазонов ДЗЗ.

Создание таких комплексов требует достаточно большого времени, финансовых затрат и организационных усилий. В первую очередь к таковым относится приобретение или аренда земельного участка, имеющего достаточную площадь и нивелированную поверхность (перепад высот не должен

превышать 0,5 м на 100 м). Комплексы, оснащенные авторскими мирами радиолокационного, инфракрасного и оптического диапазона, предполагают постоянное техническое обслуживание.

На подспутниковых полигонах выделяются эталонные участки различной природы (аграрные, лесные, морские и т.п.) площадью не менее 625 (25×25) пикселей. Данные каждого из них могут подвергаться индивидуальной обработке. При организации полигона выделение эталонных участков производится наземным способом (по идентичности параметров инфраструктуры подстилающей поверхности). Затем проводится проверка соответствия выделенных участков требованиям эталонных (идентичность на всем участке характеристик снимков в различные сезоны и при разных погодных условиях) с обзорной вышки, борта вертолета или самолета – лаборатории, а также в ходе летно – экспериментальных испытаний полигона. Затем с вышки и/или вертолета проводятся измерения уровня собственного излучения и обратного рассеяния исследуемого участка с целью выявления на его территории неоднородностей характеристик, превышающих по своим размерам линейные размеры элемента разрешения используемой аппаратуры ДЗЗ. Для последующего контроля состояния эталонных участков ежегодно проводится сверка их текущих картосхем с базовыми, полученными при закладке объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, описание и оснащение отечественных подспутниковых полигонов, может полностью обеспечить запросы по валидации, верификации и внешней калибровки характеристик аппаратуры ДЗЗ космического базирования всех диапазонов и практически любого разрешения, а также их информационных продуктов.

Валидация и верификация отечественных космических систем дистанционного зондирования Земли и их информационных продуктов, прочно вошедшая в практику космического землеобзора и занявшая в ней, как и подобает, одно из важнейших мест, может обеспечиваться отечественной системой подспутниковых полигонов, создание которой в соответствии с Национальной космической программой будет завершено в 2017г.

Создание системы подспутниковых полигонов Украины приведет к возможности наземного обеспечения не только валидации и верификации отечественных сенсоров космического базирования, методик и результатов космического землеобзора, но и предоставления наземных технических средств для решения широкого круга актуальных для страны и зарубежных заказчиков тематических задач ДЗЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиолокационный комплекс для внеатмосферных исследований / А.Ф. Сорокин, А.А. Сорокин, Н.Н. Горобец, О.В. Соколова // Вестник Харьковск. нац. ун-та им. В.Н. Каразина: сер. Радиофизика и электроника. – №834, Вып.13. – Х., 2008. – С. 25-30.
2. <http://www.nkau.gov.ua/NSAU/nkau.nsf>
3. ДСТУ 422-2003. Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять. – Київ, Держспоживстандарт України, 2003.
4. Классификация подспутниковых полигонов / Л.М. Атрошенко, Н.Н. Горобец [и др.] // IX Міжнародна наук.– техн. конф. Метрологія та вимірювальна техніка (МЕТРОЛОГІЯ – 2014) Харків, Наук. праці конф. –Х., 2014. – С. 381– 384.