

## Валидация данных и калибровка целевой аппаратуры КА

А.В. Карелин

*Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4, [avkarelin@mail.ru](mailto:avkarelin@mail.ru)*

*Рассмотрены цели и задачи валидации космической информации, а также вопросы верификации и калибровки целевой аппаратуры космических аппаратов различных систем дистанционного зондирования Земли из космоса.*

*The purpose and problems of space information validation, and also questions of verification and calibration of target equipment of space vehicles of various systems of remote sounding of the Earth from space are considered.*

Стандарт ИСО 9000 определяет термины «верификация» и «валидация» следующим образом:

**"Верификация** - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены". Иногда термин «верификация» в РКТ заменяют термином «внешняя калибровка». **"Валидация** - подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены". *Verification - проверка, validation - придание законной силы. Калибровка* измерительных приборов заключается в установлении зависимости между показаниями прибора и размером измеряемой (входной) величины. Под калибровкой часто понимают процесс подстройки показаний выходной величины или индикации измерительного инструмента до достижения согласования между эталонной величиной на входе и результатом на выходе (с учётом оговоренной точности).

В настоящее время в России практически отсутствует полноценная сеть валидации космической информации в системе дистанционного зондирования Земли.

**Целью опытно-конструкторских работ** по развитию этой сети является создание системы подспутниковых измерительных комплексов для наблюдения в полном диапазоне электромагнитного спектра в обеспечение валидации информационных продуктов, получаемых в результате функционирования космических комплексов гидрометеорологического, океанографического, гелиофизического, природоресурсного, картографического назначения и мониторинга чрезвычайных ситуаций в интересах всех потребителей, а также для периодической верификации (внешней калибровки) действующей и разрабатываемой, перспективной бортовой съёмочной аппаратуры космических комплексов дистанционного зондирования Земли (КК ДЗЗ) для получения достоверных данных о параметрах подстилающей поверхности, различных объектов и состояния атмосферы.

Полный спектральный диапазон валидации целевой информации и калибровки аппаратуры включает в себя оптический (от 0,22 - 16,0 мкм) и СВЧ диапазоны спектра (радиолокация, пассивная и активная СВЧ радиометрия).

**Состав** аппаратуры, структура и географическое расположение полигонов системы валидации определяется теми задачами, которые призваны решать КК ДЗЗ.

Информационными продуктами КК гидрометеорологического, океанографического и гелиофизического назначения являются данные температурно-влажностного зондирования атмосферы; данные о температуре подстилающей поверхности;

параметры снежного, ледового и растительного покровов; скорость ветра на нескольких уровнях атмосферы, скорость приводного ветра; данные о параметрах облачного покрова, аэрозоля, зонах осадков, альбедо и др.

**Информационные продукты** КК ДЗЗ гидрометеорологического, океанографического и гелиофизического назначения необходимы:

- для анализа и прогноза погоды в региональном и глобальном масштабе;
- для анализа и прогноза состояния акваторий морей и океанов;
- анализа и прогноза условий для полетов авиации;
- мониторинга климата и глобальных изменений.

Подспутниковые измерения на тестовых полигонах проводятся:

в ультрафиолетовой области спектра - для определения газового состава атмосферы, детектирования процессов в верхней атмосфере;

в видимом диапазоне спектра - для определения параметров растительного покрова, облачности, снега, льда, ветра, аэрозоля (в дневное время суток);

в среднем ИК диапазоне спектра - для детектирования пожаров, температуры воды в ночное время суток;

в дальнем ИК диапазоне спектра – для определения параметров водяного пара в атмосфере, ветра, полупрозрачной облачности; полупрозрачной слоистой облачности, общего содержания озона, температуры воды и суши, осадков, высоты и температуры верхней границы облачности, и др.

в СВЧ диапазоне спектра – для определения параметров влажности, солености, ледовой обстановки, состояния льдов, глубины снежного покрова.

Валидационные измерения осуществляются:

- в период летных испытаний КА;
- в период эксплуатации КА (долговременный мониторинг);
- в процессе деградации информационных характеристик аппаратуры КА.

**Информационные продукты** КК ДЗЗ природоресурсного, картографического назначения и мониторинга чрезвычайных ситуаций необходимы:

- в ультрафиолетовой области спектра - для мониторинга экологического состояния и чрезвычайных ситуаций;

- в видимом диапазоне спектра - для прогнозирования динамики ресурсного потенциала лесов и растительного покрова, состояния территорий и акваторий, геологоразведки, экологического мониторинга, поддержки работы служб МЧС (в дневное время суток);

- в ближней инфракрасной области спектра - для оценки состояния сельхозкультур и лесного фонда;

- в коротковолновой ИК области спектра - для геологоразведочных работ, мониторинга стрессового состояния растительности;

- в среднем ИК диапазоне спектра - для обнаружения пожаров, температуры поверхностей в ночное время суток, разведки полезных ископаемых, определения геологической структуры и типов минералов;

- в дальнем ИК диапазоне спектра – для определения температуры поверхностей в любое время суток, прогноза урожайности, биопродуктивности морских акваторий, экологии;

- в СВЧ диапазоне спектра – для мониторинга чрезвычайных ситуаций, определения солености, волнения, ледовой обстановки, биопродуктивности морей и океанов;

- в радиолокационных диапазонах - для трехмерного картографирования поверхностей и всепогодного мониторинга различного назначения.

Валидационные измерения осуществляются:

- в период летных испытаний КА;
- в период эксплуатации КА (долговременный мониторинг);
- в процессе деградации информационных характеристик аппаратуры КА.

**Задачами опытно-конструкторских работ** по созданию системы валидации являются:

1. Разработка и создание приборных комплексов для подспутниковых наблюдений в обеспечение решения задач валидации информации и внешней калибровки бортовых систем КК ДЗЗ с использованием наземных и авиационных средств на тестовых участках.

2. Создание стендовой лабораторной базы для подготовки, калибровки и периодической проверки приборных комплексов подспутниковых наблюдений к работе на тестовых участках.

3. Создание контрольно - измерительных тестовых участков для проведения регулярных подспутниковых наблюдений и измерений.

4. Разработка аппаратно-программного комплекса (АПК) обработки результатов подспутниковых наблюдений в интересах решения задач валидации информации и калибровки бортовой аппаратуры КК ДЗЗ, содержащего программно-методическую базу проведения спутниковых, воздушных и наземных наблюдений.

5. Проведение экспериментальных комплексных работ по валидации результатов съемки КК ДЗЗ.

**В состав системы измерительных комплексов** для валидационных подспутниковых наблюдений должны войти:

- измерительные приборные комплексы валидационных подспутниковых наблюдений полного электромагнитного диапазона спектра, позволяющие проводить валидационные работы с действующей и перспективной бортовой аппаратурой КК ДЗЗ;

- стендовая лабораторная база для подготовки, калибровки и проверки приборных валидационных комплексов для подспутниковых наблюдений к работе на тестовых участках;

- тестовые участки различного назначения;

- аппаратно - программные комплексы (АПК) обработки и анализа материалов спутниковых, воздушных и наземных наблюдений с методической базой проведения спутниковых, воздушных и наземных наблюдений для осуществления процедур валидации космической информации и калибровки бортовой аппаратуры КК ДЗЗ.

Система измерительных комплексов для валидационных подспутниковых наблюдений должна функционировать путем проведения подспутниковых измерений на тестовых участках, располагаемых в различных природно-климатических зонах и имеющих различную тематическую направленность. Регистрация и обработка данных должна проводиться в аппаратно-программных комплексах с использованием разработанного программно-методического обеспечения.

Система измерительных комплексов валидационных подспутниковых наблюдений КК ДЗЗ также должна обеспечивать:

- проведение синхронных космических, воздушных и наземных наблюдений на тестовых участках;

- получение данных о пространственных и спектральных отражательных характеристиках наземных объектов исследования в требуемом диапазоне спектра;

- обработку данных синхронных космических, воздушных и наземных наблюдений, полученных в ходе пролета КА ДЗЗ над тестовым участком, и представление в требуемом формате результатов калибровки бортовой аппаратуры и валидации целевой информации;

- определение параметров состояния атмосферы, пригодных для проведения космических, воздушных и наземных измерений.

*Входными данными для системы измерительных комплексов являются:*

- результаты функционирования КА ДЗЗ в виде передаваемых с НКПОР массивов радиометрических данных, синтезированных изображений земной поверхности, служебной информации и других сопутствующих данных;
- синхронные с космической съемкой результаты воздушных и наземных измерений яркостных, отражательных и пространственных характеристик наземных объектов и параметров состояния атмосферы;
- результаты наземной калибровки и настройки съемочной аппаратуры, ее паспортные данные (формуляры);
- технические характеристики разрабатываемой перспективной аппаратуры КА ДЗЗ, заданные в ТТЗ на изготовление аппаратуры.

*Выходными данными для системы измерительных комплексов для валидационных подспутниковых наблюдений являются:*

- данные для формирования заключения о соответствии результатов функционирования бортовой аппаратуры КА ДЗЗ требованиям ТЗ (калибровка аппаратуры);
- данные для формирования заключения о соответствии результатов функционирования КА ДЗЗ ожидаемым требованиям потребителя по качеству предоставляемой информации различной тематической направленности (валидация информационного продукта, получаемого от бортовой аппаратуры КА ДЗЗ);
- массивы корректирующих данных (поправочных коэффициентов, таблиц, графиков, зависимостей и т.п.) для калибровки и настройки съемочной аппаратуры и уточнения параметров работы основных систем КА ДЗЗ.

Измерительные приборные комплексы для валидационных работ должны обеспечивать проведение наземных и воздушных измерений яркостных и пространственных характеристик исследуемых объектов земной поверхности с радиометрической и спектральной точностью и пространственной детальностью, достаточными для проведения процедур валидации целевой информации и калибровки бортовой аппаратуры действующей и перспективной бортовой аппаратуры КА ДЗЗ.

Характеристики режимов съемки, подвергаемых процедуре валидации КК ДЗЗ приведены в таблице 3.1.\*

Таблица 3.1

Режим съемки	Спектральные диапазоны, мкм	Пространственное разрешение, м	Полоса съемки, км
Панхроматическая съемка	0,4 – 1,0	0,4 и больше	5 и больше
Цветная и многозональная съемка	RGB;0,4–0,5;0,5–0,6;0,6–0,7;0,7–0,8; 0,8–0,9; 0,9–1,0	1,0 и больше	10 и больше
Гиперспектральная съемка	0,22 – 2,7(до 1000 каналов)	30 и больше	30 и больше
Съемка в ИК диапазонах	1,0– 1,6; 1,6 – 1,8; 1,8 - 2,5; 3,0 – 3,5; 3,5 – 4,1; 4,1-5,0; 8 - 10,5; 10,5—11,5; 11,5- 12,5; 12,5 - 14,0; 14,0 - 16,0 ± 0,1	5 - 10 и больше	30 и больше

Характеристики подвергаемых процедуре валидации КК ДЗЗ радиолокационного диапазона приведены в таблице 3.2.\*

Таблица 3.2

Режим съемки	Пространственное разрешение на местности, м	Размеры снимаемого участка, км
Высокодетальный объектовый	0,5 и больше	от 5×5 до 10×10
Площадной	2,0 и больше	до 50×50

\*-Приведенные требования могут уточняться и дополняться в процессе разработки опережающего задела бортовой аппаратуры.

**Требования по точности измерений**, предъявляемые к измерительным приборным комплексам валидационных измерений для КК мониторинга чрезвычайных ситуаций должны быть не ниже требований Всемирной метеорологической организации (WMO) к точности определения геофизических параметров и измерения радиометрических величин, получаемых спутниковой аппаратурой наблюдения Земли (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Параметр	Требуемая Точность	Требуемая радиометрическая точность	Требуемая радиометрическая стабильность (за десятилетие)
2	3	4	5
Альbedo поверхности	0,01	5 %	1 %
Нормированный дифференциальный вегетационный индекс	1 %	<b>0,5 %</b>	0,5 %
Оптическая толщина облачности	10 %	5 %	1 %
Тепловое излучение в узких спектральных зонах	0,1 К	<b>0,1 К</b>	0,04 К
Температурный профиль атмосферы	0,5 К	0,5 К	0,04 К
Профиль влажности атмосферы	5 %	1 К	0,03 К
Озонный профиль	3 %	1 %	<b>0,1 %</b>
Температура земной поверхности	0,3 К	0,3 К	-
Температура поверхности океана	0,1 К	<b>0,1 К</b>	<b>0,01 К</b>

В столбцах 4 и 5 таблицы 3.3 требования, выраженные в %, относятся к измерению яркости в диапазоне (0,2 - 3,0) мкм, а в К – к измерению радиационной температуры в диапазоне (3,0 – 25,0) мкм. Предельные значения выделены полужирным шрифтом.

Требования к проведению экспериментальных комплексных работ по калибровке и валидации результатов космической съемки в полном электромагнитном диапазоне спектра уточняются на этапе эскизного проектирования.