

**Система метрологического
обеспечения калибровки
оптической радиометрической
аппаратуры дистанционного
зондирования Земли (ДЗЗ)**

Необходимость создания единой системы метрологического обеспечения радиометрической калибровки аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)

Получение высококачественных данных наблюдения для решения социально-экономических задач внутри страны.

Обеспечение конкурентоспособности российской продукции на мировом рынке космических услуг.

Возможность эффективного участия российских систем наблюдения Земли в международных проектах.

Высокий уровень метрологического обеспечения – одно из необходимых условий вхождения российской системы наблюдения Земли в создаваемую Глобальную систему наблюдения Земли GEOSS.

Состояние метрологического обеспечения калибровки аппаратуры наблюдения Земли в России

- Начавшиеся в советское время работы по созданию системы в девяностые годы были свернуты, созданная стендовая база калибровки либо утрачена, либо устарела. Межведомственные совещания (Росстандарт, Роскосмос, РАН и другие организации) по вопросам радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ, проведенные в первом десятилетии двухтысячных годов, констатировали отсутствие в России единой нормативно-методической базы радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ. Было отмечено, что имеющиеся технические средства для ее проведения не отвечают современным требованиям по точности, обеспечению калибровки перспективной аппаратурой ДЗЗ с крупногабаритной оптикой и функциональным возможностям.
-
- На преодоление этих трудностей направлена разработка специального эталонного радиометрического комплекса (ЭРК) для прецизионной калибровки аппаратуры ДЗЗ на базе эталонных МЧТ разработки ФГУП ВНИИОФИ и криогенно-вакуумного стенда «Квант-20» ФГУП ЦНИИмаш.

Проблемные вопросы обеспечения качества радиометрических данных

- С учётом основ системы обеспечения качества радиометрических данных можно выделить две группы основных проблем:
- Нормативно-методические:
 - - отсутствие нормативных документов, регламентирующих порядок наземной радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ с крупноформатной оптикой;
 - - недостаточное методическое обеспечение для решения задач метрологического обеспечения аппаратуры ДЗЗ.
- 2) технические:
 - - отсутствие эталонной базы для наземной радиометрической калибровки перспективной аппаратуры ДЗЗ с диаметром входных зрачков более 500 мм;
 - - отсутствие единых калибровочных центров для проведения окончательной предполётной радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ.

Техническая база наземной калибровки

- Техническая база радиометрической калибровки оптической аппаратуры ДЗЗ, включает систему эталонов, средств передачи размеров единиц радиометрических величин, калибровочных установок и устройств.
- Для обеспечения калибровки перспективной аппаратуры с крупногабаритной оптикой во ВНИИОФИ был разработан специальный эталонный радиометрический комплекс, который в 2010 г. он прошел процедуру утверждения в качестве «Государственного первичного специального эталона единиц спектральной плотности энергетической яркости и относительного спектрального распределения мощности излучения в диапазоне длин волн $0,3 \div 25,0$ мкм».

Отраслевая система обеспечения единства радиометрических измерений аппаратуры ДЗЗ

Построение отраслевой системы обеспечения единства радиометрических измерений аппаратуры ДЗЗ, обусловленное необходимостью получения достоверных данных аппаратуры ДЗЗ и качественной продукции на их основе, должно базироваться на выполнении положений Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26.07.2008 № 102 и международного документа «Стратегия обеспечения качества данных наблюдения Земли»

Предполетная калибровка аппаратуры ДЗЗ

- (по терминологии Рабочей группы по калибровке и валидации Международного Комитета по исследованию Земли из Космоса):
- абсолютная радиометрические калибровка - определение калибровочного фактора для калибруемого прибора по сравнению с эталоном физической единицы (с эталоном СПЭЯ),
- относительная радиометрические калибровка - определение выходного отклика калибруемой системы по отношению к эталонному источнику, значения физической единицы которого не используются в данном виде калибровки,
- геометрическая калибровка - выявление корреляции между реальными физическими размерами объекта, наблюдаемого с помощью калибруемого прибора, и выходными данными этого прибора (измерение мгновенного и полного углов поля зрения, линейности углов сканирования, пределов углов позиционирования и геометрических характеристик системы регистрации полученной информации),
- спектральная калибровка - определение изменения радиометрической характеристики каждого спектрального канала по отношению к другому спектральному каналу калибруемого съемочного аппарата, а также определение полосы пропускания канала и длины волны излучения, при которой чувствительность съемочного аппарата максимальна.
- Предполетная радиометрическая калибровка аппаратуры для дистанционного зондирования Земли является наиболее полной и всеобъемлющей и выполняется с помощью сложных наземных комплексов измерительной аппаратуры.

Эталонный радиометрический комплекс для калибровки аппаратуры наблюдения Земли в диапазоне длин волн 0,25 – 14 мкм

Характеристика	Спектральный диапазон	
	0,25÷0,4 мкм	3,0÷14,0 мкм
Воспроизводимый диапазон спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) эталонных источников излучения, Вт/(м ³ ·ср)	$1,0 \cdot 10^4 \div 1,0 \cdot 10^8$	$8,4 \cdot 10^1 \div 9,7 \cdot 10^6$
Суммарная стандартная неопределенность воспроизведения СПЭЯ эталонных источников излучения, %	2,0÷3,0	1,0÷5,0
Суммарная стандартная неопределенность воспроизведения относительного спектрального распределения мощности излучения монохроматических источников, %	≤3,0	≤7,0
Воспроизводимый диапазон радиационной температуры широкоапертурной модели черного тела, К	-	213,15÷423,15
Температура эталонного инфракрасного излучателя на фазовом переходе галлия, К	-	302,91
Диаметр апертуры эталонного инфракрасного излучателя на фазовом переходе галлия, мм	-	20
Диаметр апертуры широкоапертурной модели черного тела, мм	-	500
Диаметр апертуры эталонного источника диффузного излучения, мм	110	-
Диаметр апертуры эталонных источников монохроматического излучения, мм	110	110

Основные метрологические требования для УФ аппаратуры ДЗЗ

Параметр	Значение
Рабочие спектральные диапазоны воспроизводимых спектрометрических величин, нм: <ul style="list-style-type: none">– в УФ диапазоне– в УФ ВАК диапазоне	200 ÷ 380 120 ÷ 200
Предел допускаемой погрешности передачи размеров единиц, %: <ul style="list-style-type: none">– в УФ диапазоне– в УФ ВАК диапазоне	не более 4 не более 10
Диапазон значений спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), Вт/(ср·м ³): <ul style="list-style-type: none">– в УФ диапазоне (180 – 380 нм)– в УФ ВАК диапазоне (120 – 190 нм)	6·10 ⁴ ÷ 8·10 ⁸ 6·10 ² ÷ 8·10 ⁶
Относительное спектральное распределение мощности излучения, отн. ед.	0,001 ÷ 1,01

Расположение оборудования на крышке люка

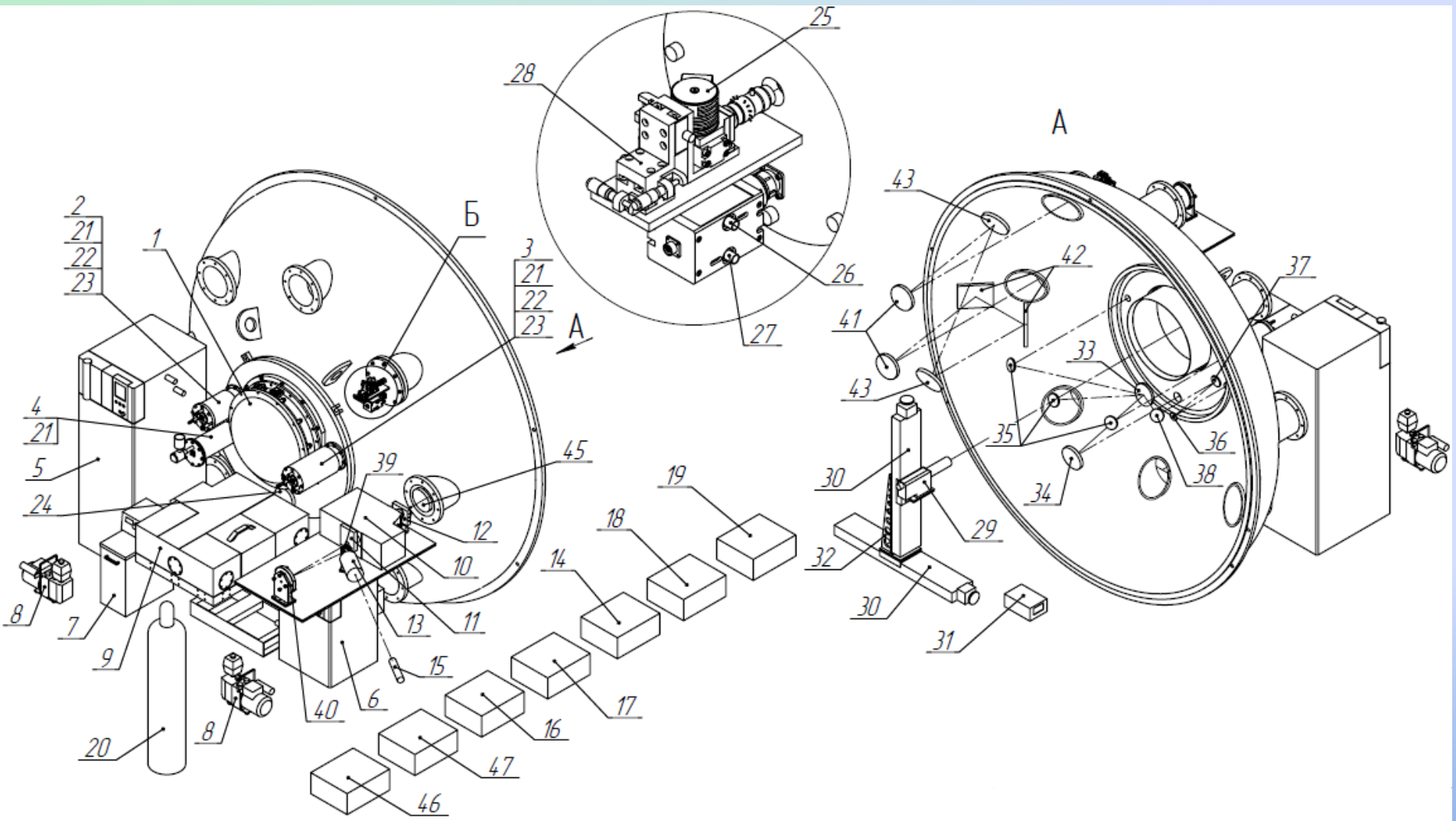
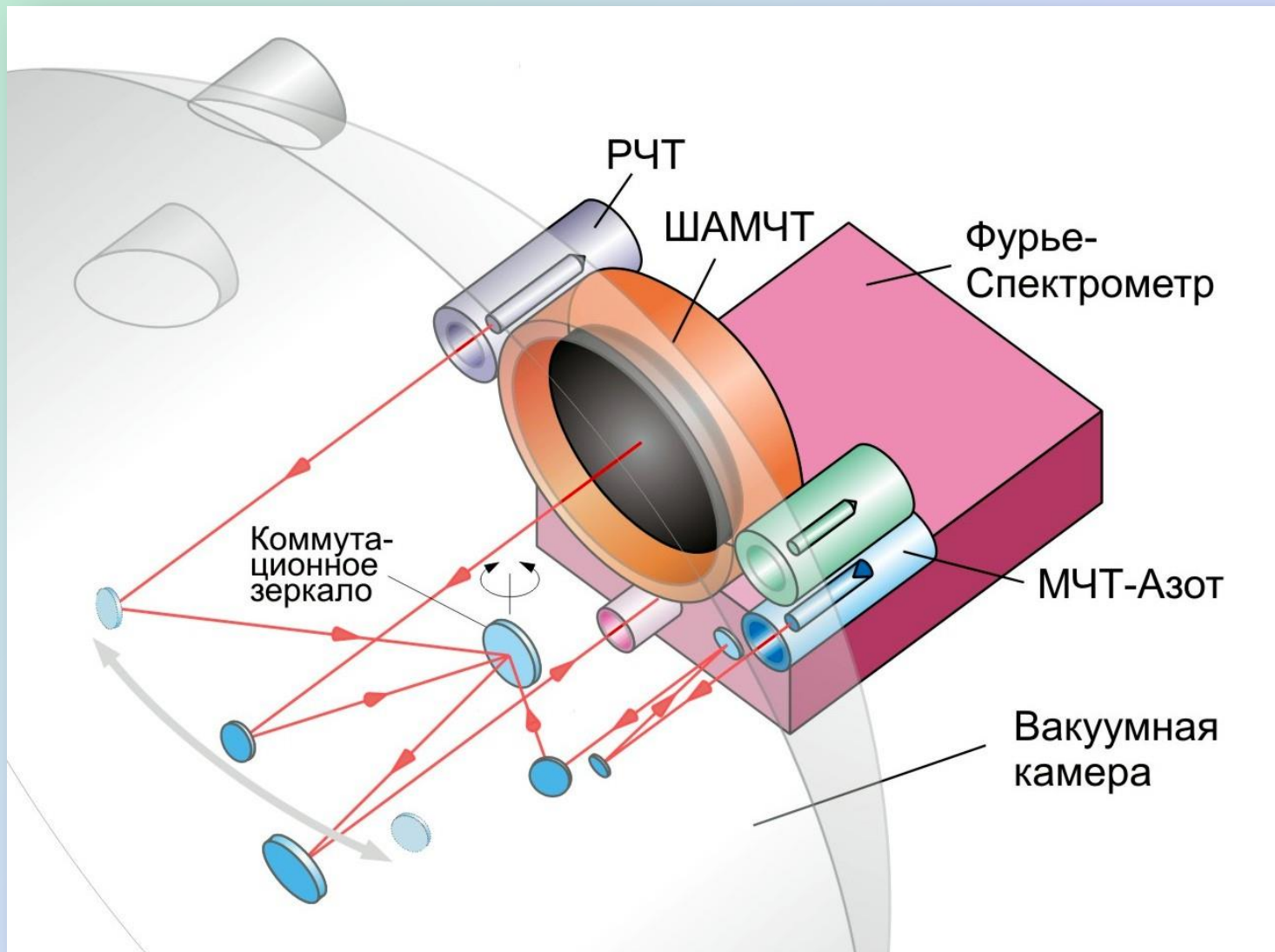


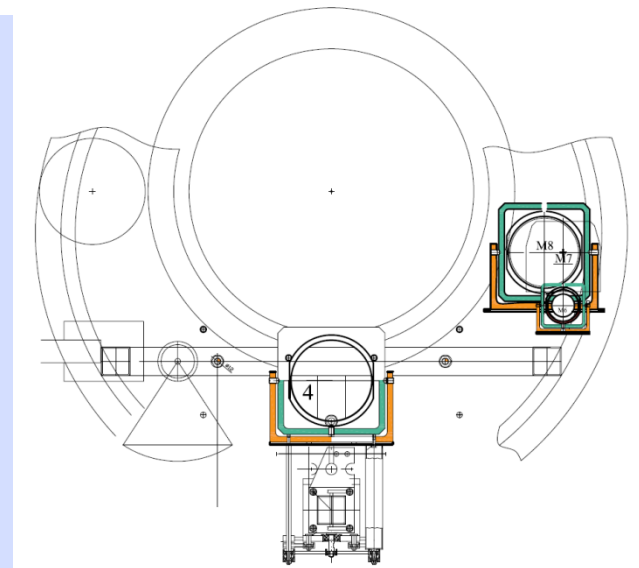
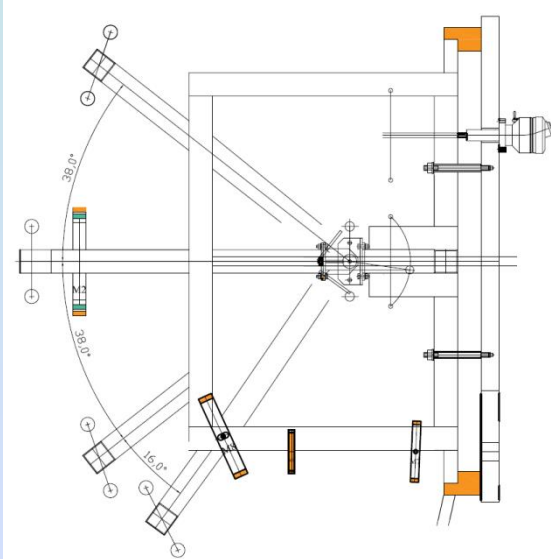
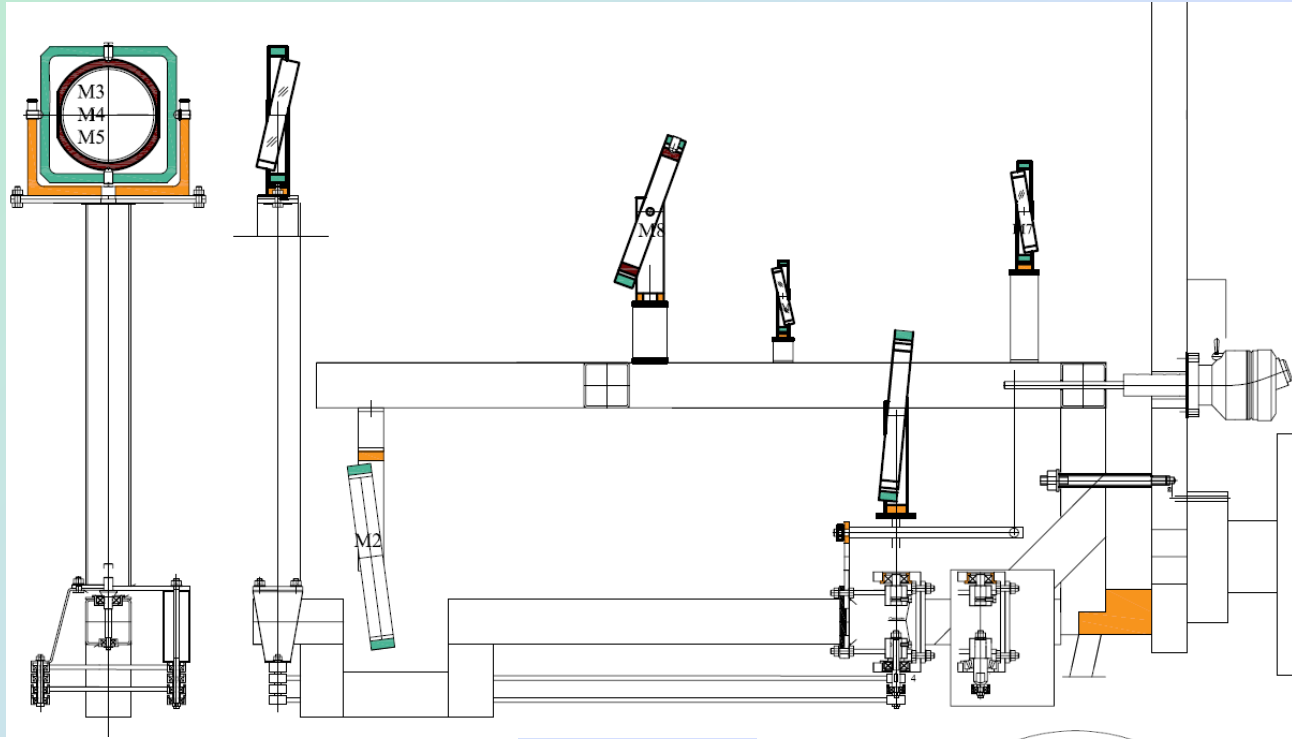
Схема калибровки бортовых спектрорадиометров по спектральной плотности энергетической яркости



Схема калибровки широкоапертурной модели черного тела



Оптико-механическая система «Квант – 20»

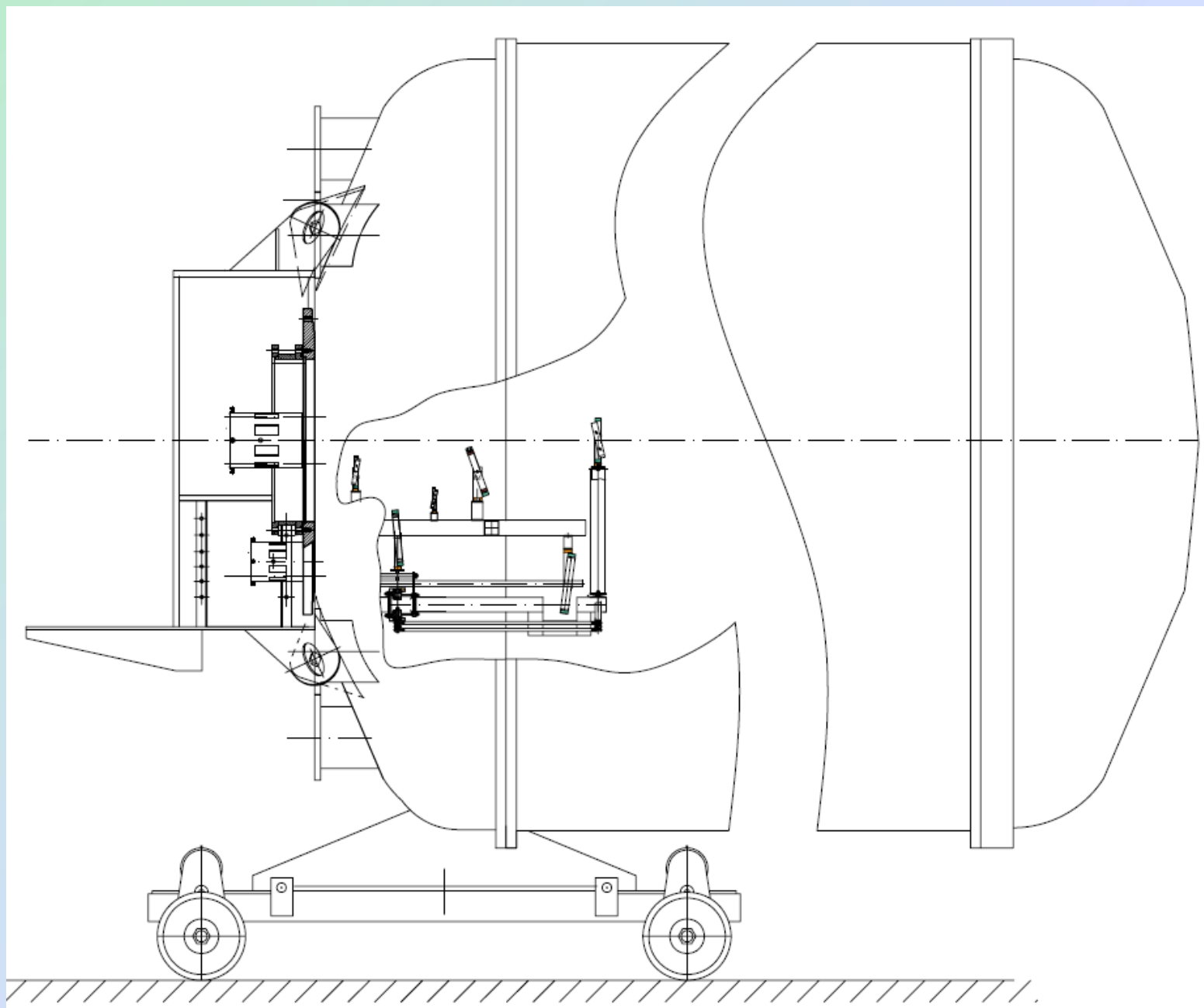




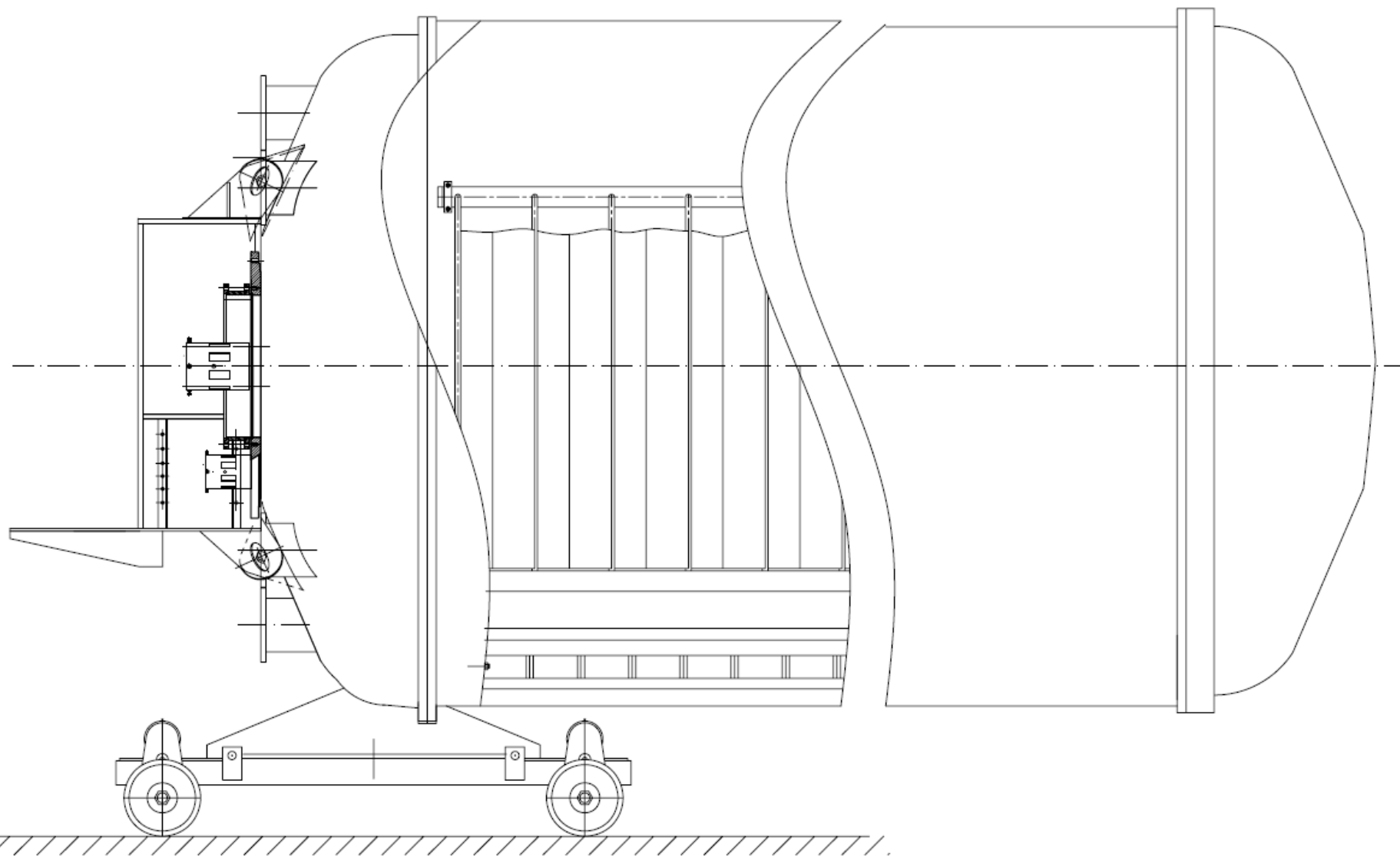
Внешний вид камеры «Квант-20»

Характеристика	Значение
Рабочий объем камеры, м ³	20
Габариты камеры: диаметр, мм	2600
длина, мм	4500
Давление в камере, мбар	10 ⁻⁷
Тип охлаждения	экраны, охлаждаемые жидким азотом
Испытуемый объект: масса, кг	до 500
габариты, мм x мм x мм	1500 x 1500 x 2000

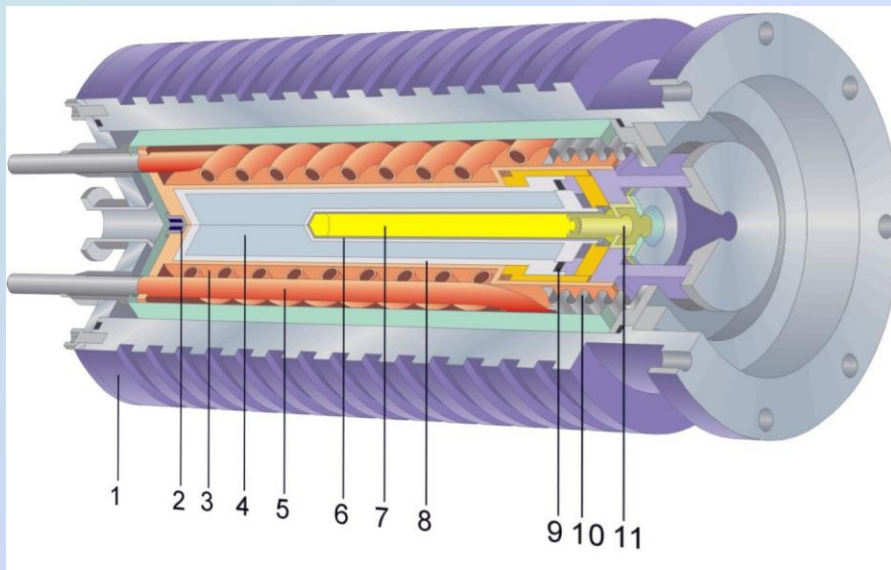
Расположение ОМС внутри установки



Система захлаживвания «Квант – 20»



Модель черного тела на основе фазового перехода галлия

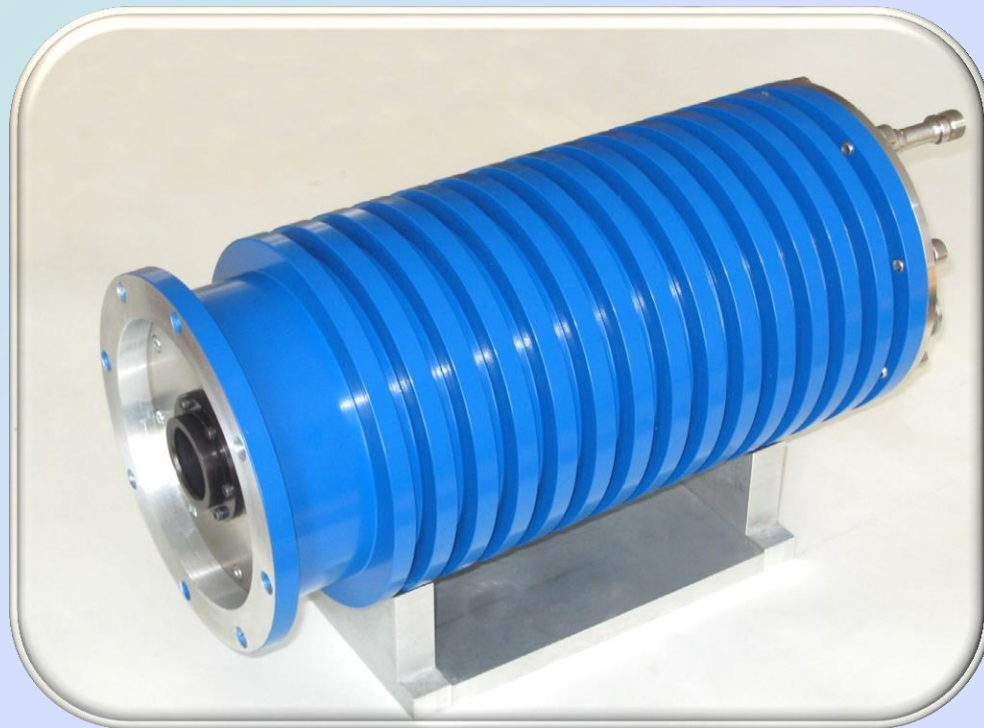


Модель черного тела на основе фазового перехода галлия:

- 1 – корпус; 2 – платиновый термометр сопротивления;
- 3 – теплообменник; 4 – галлиевая ячейка;
- 5 – трубки теплообменника;
- 6 – внутренняя часть тефлоновой ячейки;
- 7 – излучающая полость; 8 – корпус тефлоновой ячейки;
- 9 – уплотняющая прокладка; 10 – сильфон;
- 11 – выходная апертура.

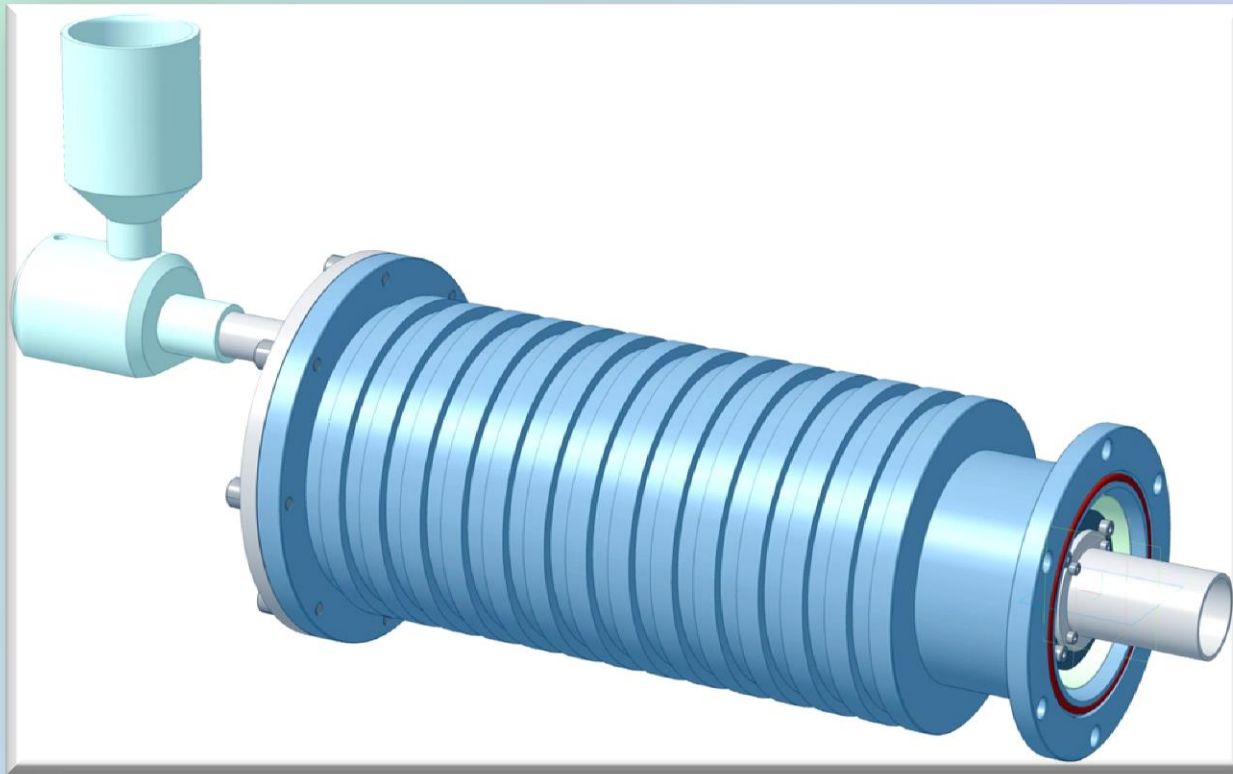
Характеристика	Значение
Рабочая температура излучающей полости, °С	29,7646
Коэффициент излучения полости, не менее	0,9997
Минимальная линейная апертура полости, мм	20
Угловая апертура	1:10

Источник излучения РЧТ с регулируемой температурой

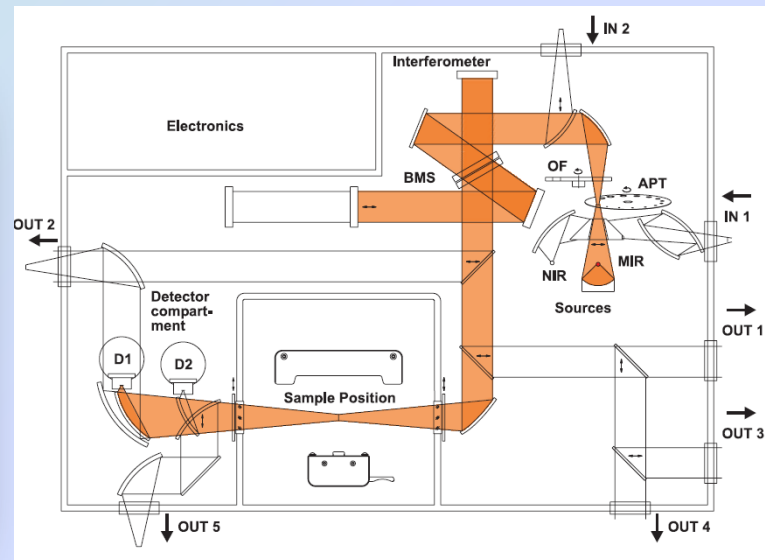


Характеристика	Значение
Диапазон рабочих температур, °C	От -60 до 150
Стабильность рабочей температуры, °C	$\pm 0,02$
Градиент температуры вдоль полости, °C	$\leq 0,1$
Диаметр выходной апертуры, мм	30
Диаметр внутренней полости, мм	40

Модель черного тела при температуре жидкого азота



ИК-Фурье-спектрометр



Характеристика	Значение
Спектральный диапазон, см^{-1}	8,000 - 350
Приемник	HgCdTe детектор, охлаждаемый жидким азотом, пироэлектрический приемник для средней ИК области с окном из KBr
Спектральное разрешение, см^{-1}	0.4
Точность волнового числа	0.01см^{-1} при $2,000\text{см}^{-1}$
Относительное отверстие	f/2.5, номинальный диаметр луча 40мм
Вакуум, мбар	< 5
Вакуумный насос	безмаслянный, $14\text{м}^3/\text{час}$
Габариты, мм	850 x 703 x 308
Масса, кг	120

Основные составляющие погрешности калибровки широкоапертурной модели черного тела по спектральной плотности энергетической яркости:

- ❖ погрешность, определяемая воспроизводимостью спектральной плотности энергетической яркости черного тела на фазовом переходе галлия;
- ❖ погрешность, обусловленная воспроизводимостью спектральной плотности энергетической яркости модели черного тела с регулируемой температурой;
- ❖ погрешность, определяемая нелинейностью ИК Фурье-спектрометра;
- ❖ погрешность, определяемая воспроизводимостью длины волны ИК Фурье-спектрометра.

Построение системы обеспечения качества данных и единства радиометрических измерений оптической аппаратурой ДЗЗ

- 1-й этап (до июня 2014 г.)
- - изготовление системы измерений ЭРК, отработка, испытания и аттестация ЭРК на базе «Квант-20».
- 2-й этапе (до декабря 2015 г.):
- - проведение работ по формированию нормативно-методической и развитию технической баз в ультрафиолетовом и тепловом диапазонах спектра системы обеспечения качества данных и единства радиометрических измерений оптической аппаратурой ДЗЗ. Целесообразна разработка макетов, в целях отработки принятых решений.
- 3-й этап (до 2018 г.)
- разработка нормативно-методическую и техническую базы полётной радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ на основе бортовых эталонных МЧТ на фазовых переходах веществ, обладающих уникальной воспроизводимостью радиометрических характеристик.
- Целесообразно предусмотреть выполнение ОКР для завершения всех предусмотренных мероприятий и ввода в эксплуатацию эталонных комплексов, реализующих систему обеспечения качества данных и единства радиометрических измерений оптической аппаратурой ДЗЗ, в т.ч. и ЭРК ВД и ближнего ИК диапазона спектра в ранге рабочего эталона для калибровок крупногабаритной ОЭА на базе ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

Документы, подлежащие разработке в первую очередь

- нормативный документ «Обеспечение качества радиометрических данных оптической аппаратуры дистанционного зондирования Земли», гармонизированный с международным документом «Стратегия обеспечения качества данных наблюдения Земли»;
- методики наземной радиометрической калибровки аппаратуры дистанционного зондирования Земли на основе современной эталонной базы и действующих поверочных схем;
- методики полетного контроля радиометрических характеристик оптической аппаратуры ДЗЗ.

Ожидаемые результаты

- Реализация планируемых мероприятий позволит:
- осуществить наземную радиометрическую калибровку бортовой аппаратуры с входными зрачками до 500 мм в инфракрасном и до (110 – 150) мм в ультрафиолетовом диапазонах спектра в низкофоновых условиях, соответствующих условиям штатной эксплуатации ОЭА ДЗЗ с использованием эталонного радиометрического комплекса на базе высоковакуумного стенда «Квант-20» ЦНИИмаш и эталонных излучателей ФГУП «ВНИИОФИ» с реализацией прослеживаемости результатов измерений к системе Российских национальных эталонов измеряемых величин.
- создать нормативно-методическую и техническую базы полётной радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ на основе бортовых эталонных МЧТ на фазовых переходах веществ.
- Создание ЭРК видимого и ближнего ИК диапазонов спектра в ранге рабочего эталона на базе ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» обеспечит радиометрическую калибровку перспективной крупногабаритной ОЭА со зрачками до 1000-1200 мм.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!