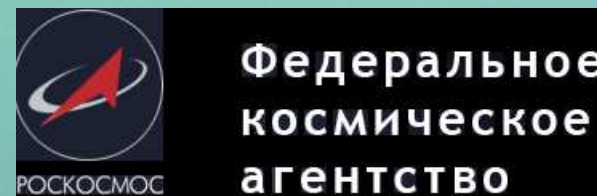


Проблемы радиометрической калибровки аппаратуры наблюдения Земли в ИК диапазоне длин волн

Панфилов А.С., Катышева А.А., Крутиков В.Н., Лисянский Б.Е.,
Морозова С.П., Саприцкий В.И. - ВНИИОФИ
Маколкин Е.В., Митрофанов В.Д. - ЦНИИМАШ
Чапоргин В.С. - РОСКОСМОС



ИКИ 2012



Исходные метрологические положения

Для решения измерительной задачи нужно конкретизировать модель объекта измерения, представить измерительное уравнение и определить измеряемую величину:

- **Модель объекта** - протяженная однородная по яркости и спектральным характеристикам ортотропная поверхность, не изменяющая свои характеристики в процессе измерения;
- **Измерительное уравнение**

$$N = k \int_0^{\infty} L(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

где k – калибровочный коэффициент,

$L(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости (СПЭЯ) измеряемого объекта,

$S(\lambda)$ - относительная спектральная характеристика аппаратуры наблюдения Земли (АНЗ)

- **Измеряемая величина** - эффективная энергетическая яркость

$$L = \int_0^{\infty} L(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$



Калибровка и условия ее проведения в ИК диапазоне длин волн

1. Калибровка средства измерений устанавливает соотношение между значениями измеряемой физической величины, привязанными к эталону единицы этой величины, и соответствующими показаниями средства измерений.
2. В тепловом ИК диапазоне в процессе калибровки для получения достоверных результатов необходима имитация реальной фоновой обстановки. Это достигается размещением эталонных источников излучения и АНЗ в криогенно-вакуумной камере и калибровкой аппаратуры в рабочем диапазоне температур.



Основные радиометрические характеристики АНЗ

- относительная спектральная чувствительность;
- градуировочные характеристики (функции преобразования) и их линейность;
- равномерность чувствительности по полю зрения;
- характеристики шумовой составляющей сигнала на выходе и связанное с ней радиометрическое разрешение;
- радиометрическая точность;
- стабильность радиометрических характеристик.



Техническая база калибровки

Техническая база калибровки должна обеспечивать измерение этих радиометрических характеристик, в первую очередь, относительных спектральных характеристик АНЗ и градуировочных характеристик, в процессе измерения которых осуществляется передача размера единицы СПЭЯ от эталонных излучателей калибруемой аппаратуре.

Она должна включать:

- эталон единиц относительного спектрального распределения мощности излучения (монохроматический излучатель),
- эталон единицы СПЭЯ (модель черного тела (МЧТ)),
- криогенно-вакуумную камеру.



Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

Проблемы калибровки ИК аппаратуры в России

- отсутствие установок на базе криогенно-вакуумных камер для калибровки АНЗ, обеспечивающих имитацию реальной фоновой обстановки и имеющих достаточные функциональные возможности*;
- не обеспечено измерение относительных спектральных характеристик АНЗ;
- нет эталонов для передачи размера единицы СПЭЯ, обеспечивающих калибровку АНЗ с крупногабаритной оптикой.

*за исключением стенда ФГУП «Центр Келдыша» при ограниченных возможностях



МЧТ как эталон единицы СПЭЯ

СПЭЯ МЧТ:

$$L_{МЧТ}(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) L_{АЧТ}(\lambda, T)$$

где $\varepsilon(\lambda)$ – спектральная излучательная способность,

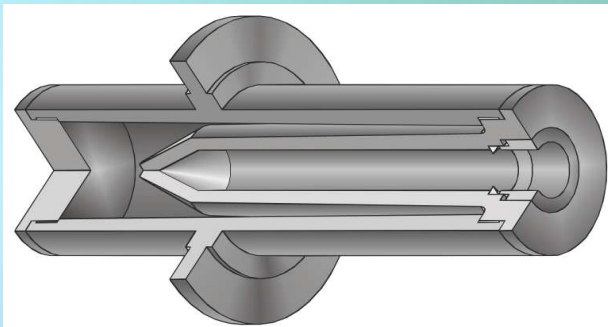
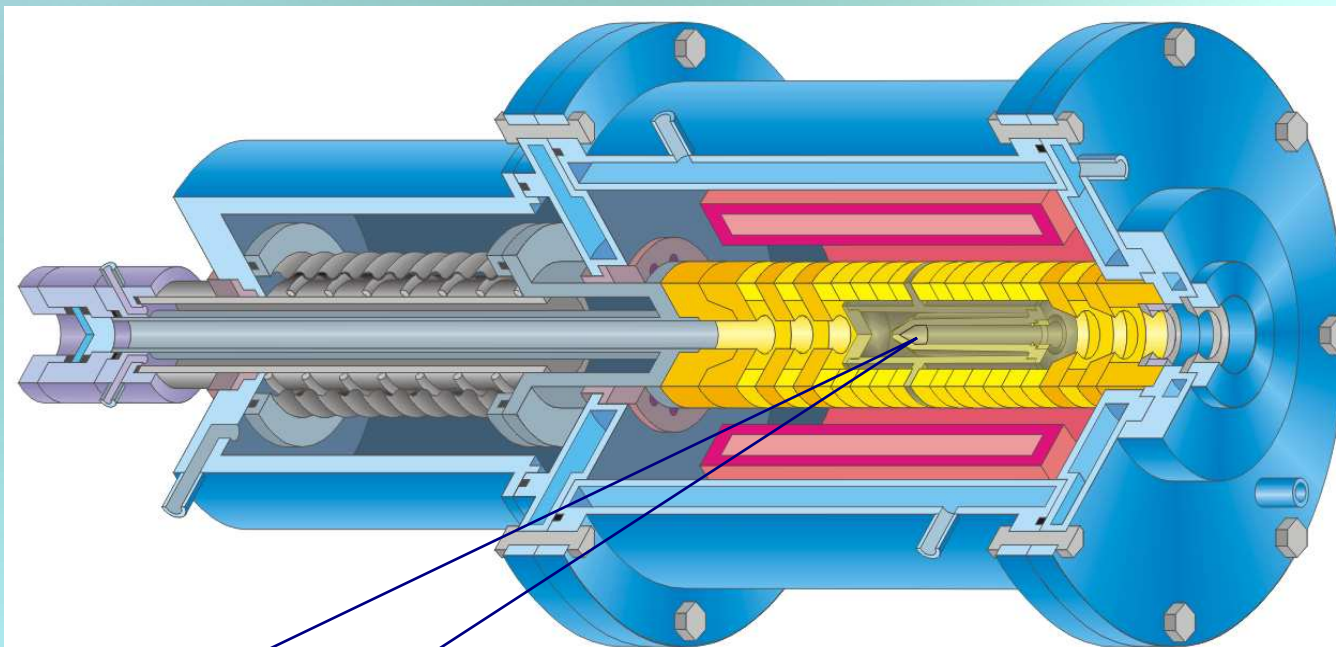
$$L_{АЧТ}(\lambda, T) = \frac{C_1}{\pi \lambda^5 n^2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T n}\right) - 1} \quad - \text{ функция Планка}$$



Полостная МЧТ

апертура – 24 мм

$\varepsilon - 0.999$





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

МЧТ протяженного типа

апертура - 350 мм

$\varepsilon(\lambda) - 0.96 \pm 0.02$





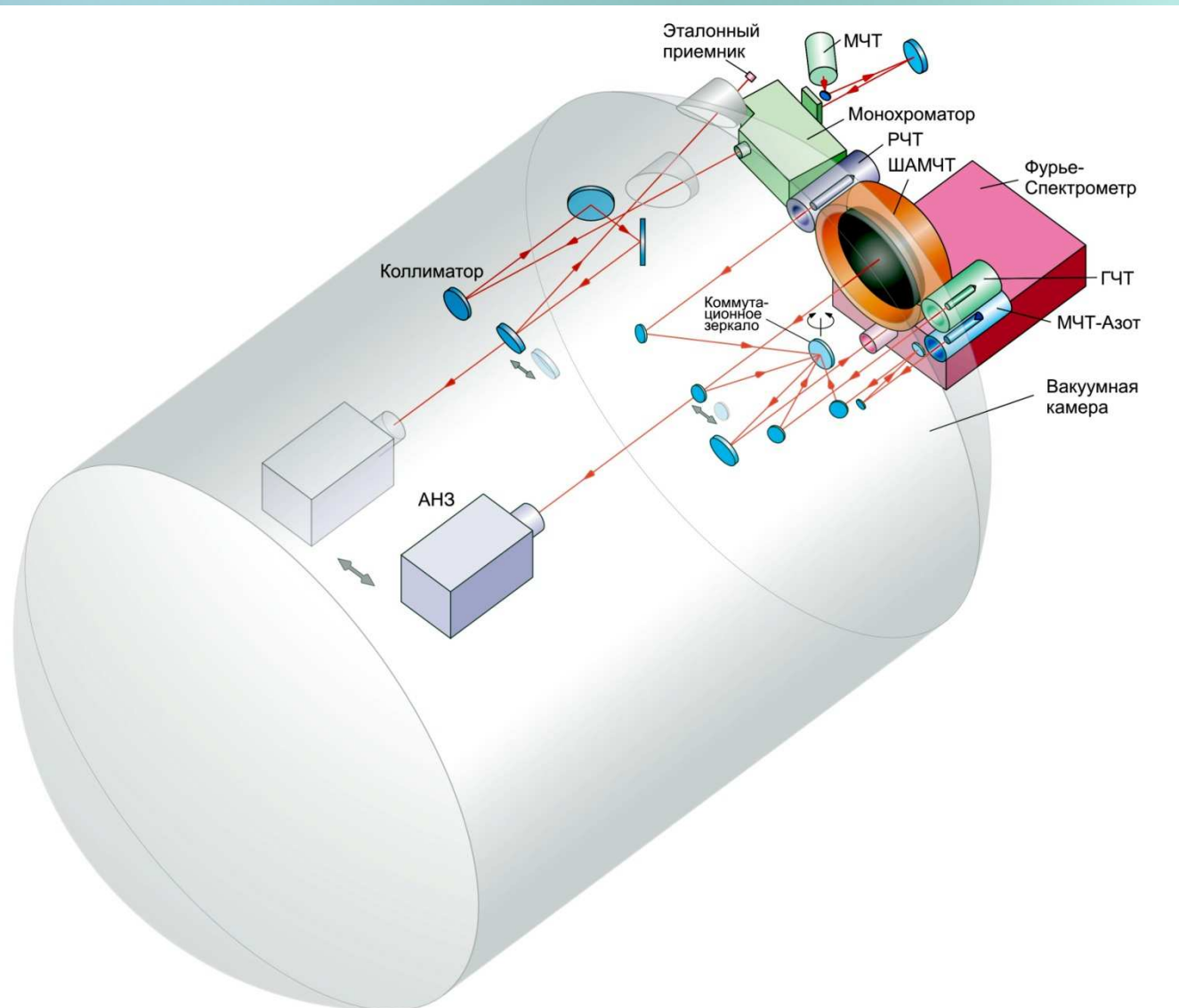
ОКР «Метрология РКТ»

В рамках «Федеральной космической программы России на 2006-2015 годы» поставлена работа по созданию эталонного радиометрического комплекса для калибровки АНЗ в ИК диапазоне на основе высоковакуумного стенда «Квант-20» ФГУП ЦНИИмаш и эталонной базы ФГУП «ВНИИОФИ»



Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

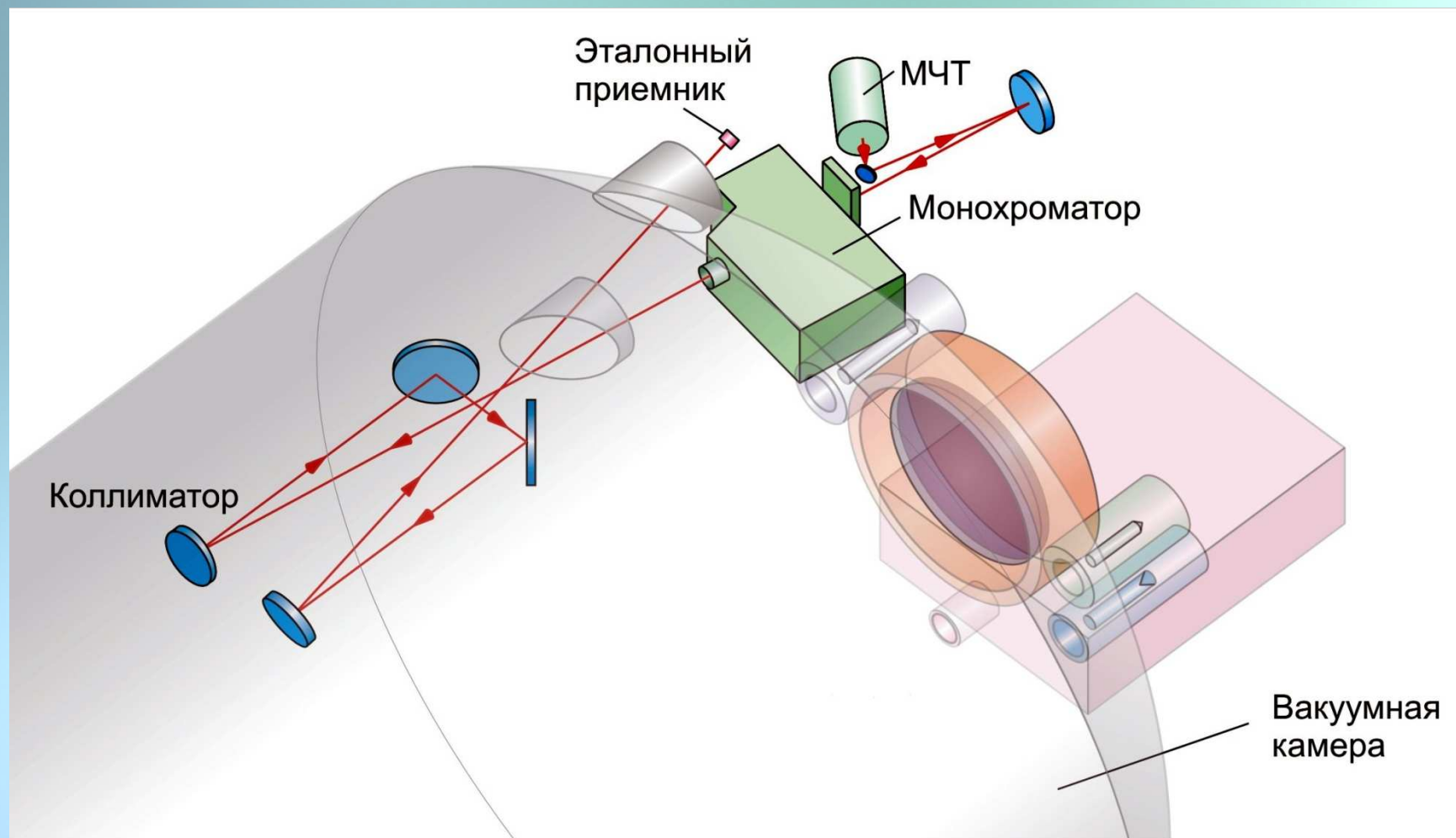
Общая схема установки





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

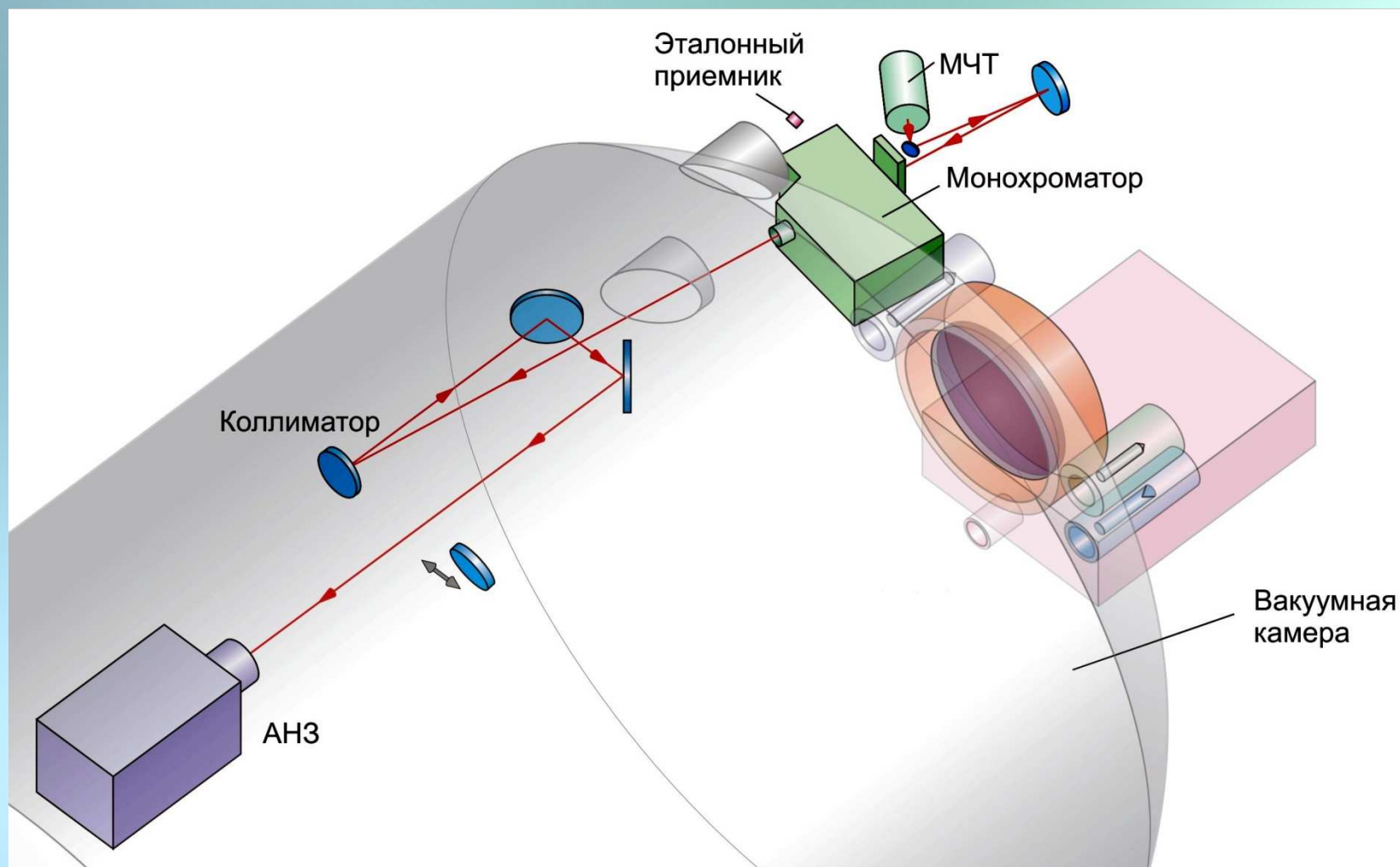
Калибровка относительного спектрального распределения мощности излучения монохроматического источника в диапазоне (3÷14) мкм





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

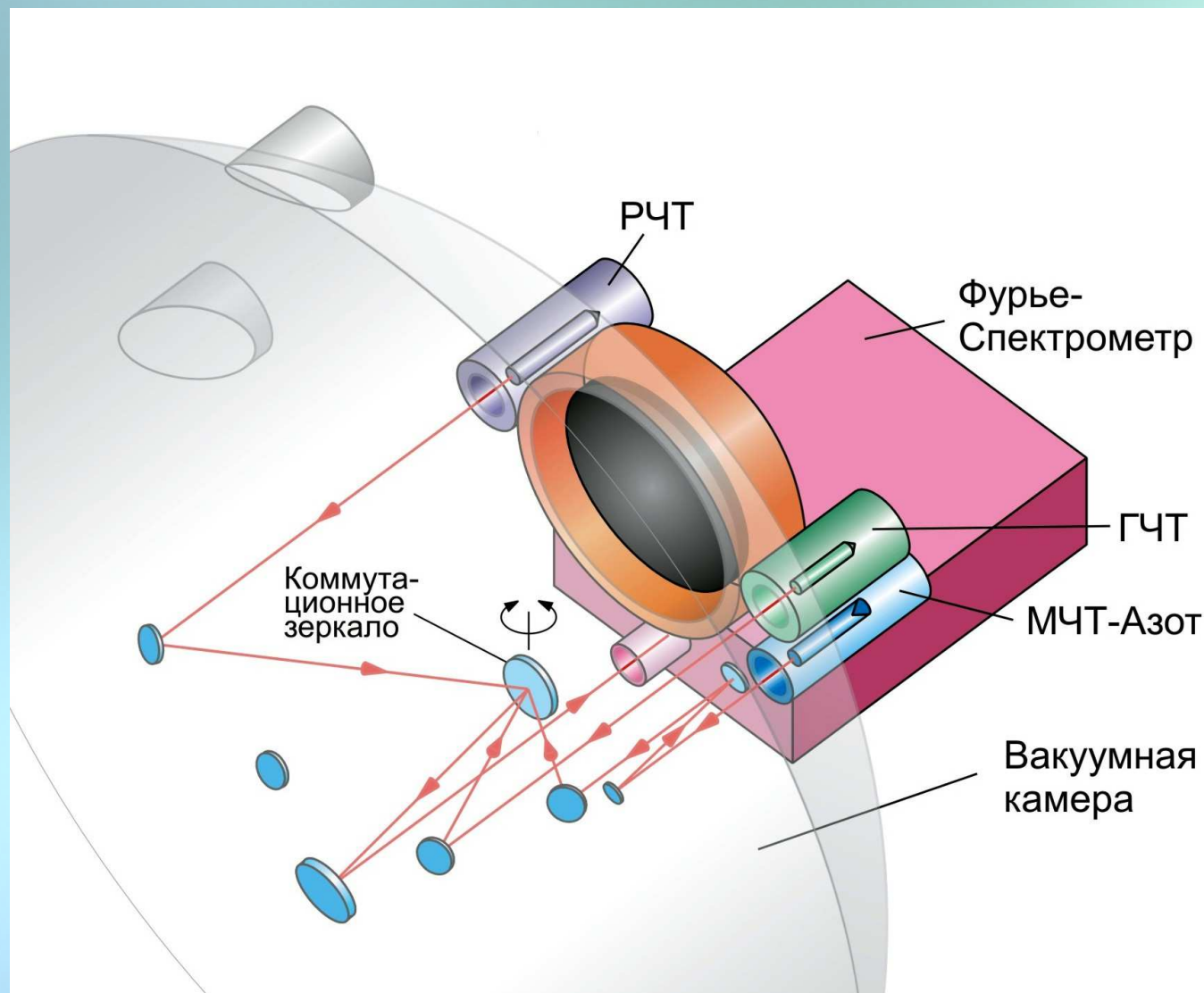
Измерение относительной спектральной чувствительности аппаратуры наблюдения Земли





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

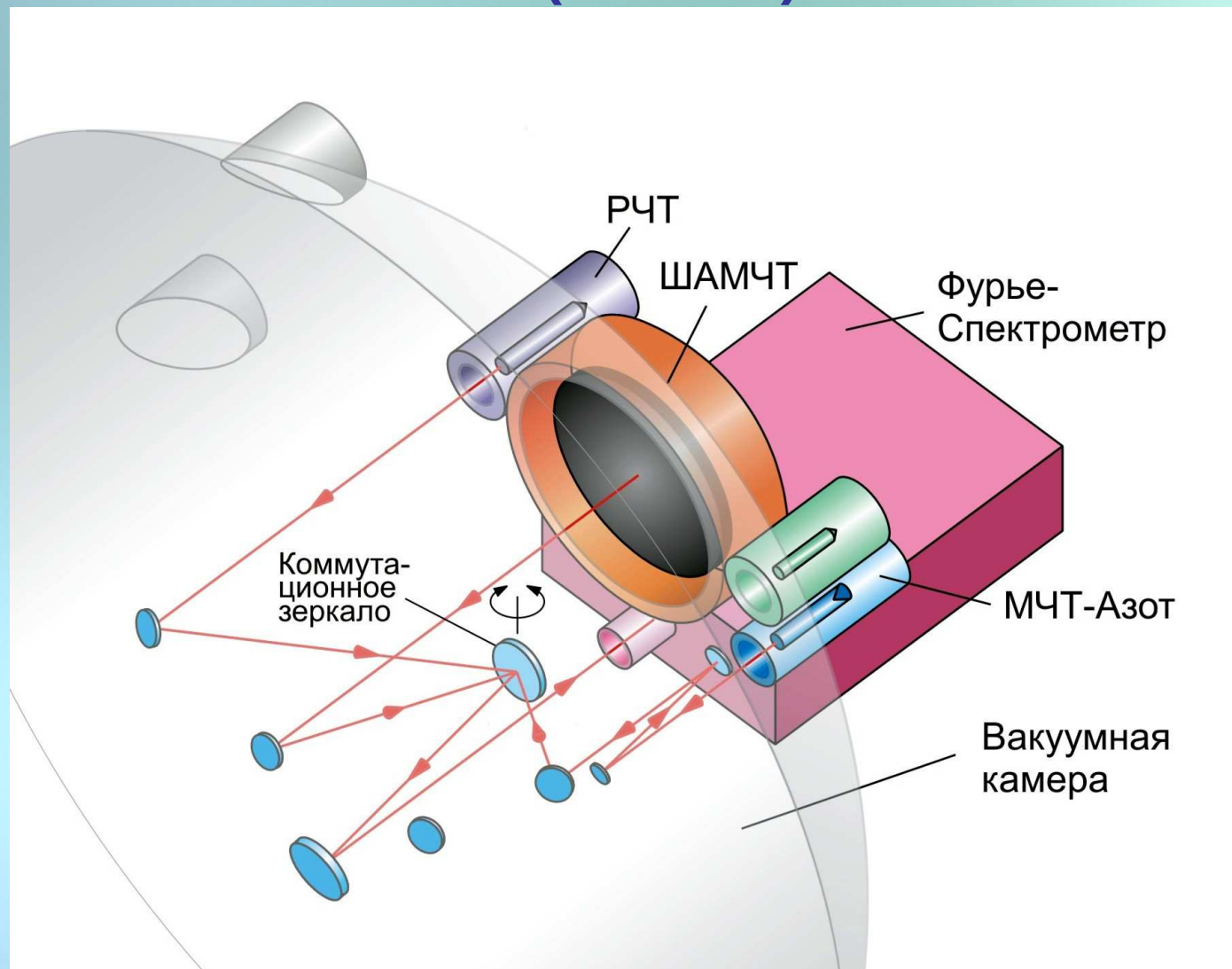
Калибровка прецизионного черного тела с регулируемой температурой в диапазоне (213÷423) К по черному телу на фазовом переходе галлия





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

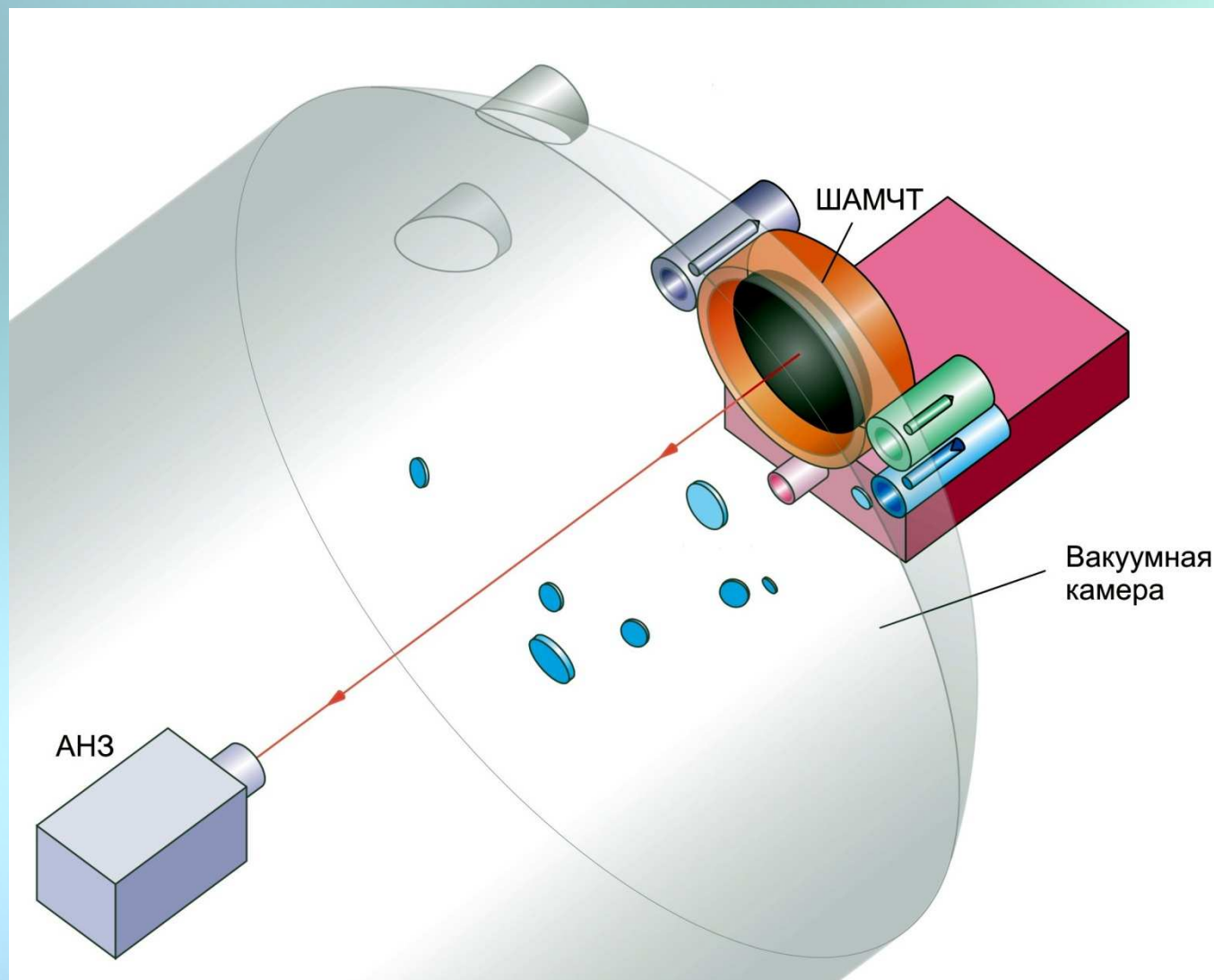
Калибровка широкоапертурной модели черного тела по прецизионному черному телу с регулируемой температурой в диапазоне (213÷423) К





Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

Калибровка аппаратуры наблюдения Земли по СПЭЯ в ИК диапазоне с использованием широкоапертурной модели черного тела





Заключение

1. Предлагаемый эталонный радиометрический комплекс для калибровки АНЗ в ИК диапазоне позволит решить имеющиеся в настоящее время проблемы и обеспечить калибровку на высоком современном уровне;
2. Возможность представления бюджета неопределенностей калибровки на этом комплексе приведет к формированию надежных данных по точности калибруемой аппаратуры;
3. Целесообразна постановка вопроса о создании на базе комплекса единого калибровочного центра, что соответствует современным мировым тенденциям;
4. Это, в свою очередь, позволит обеспечить единство измерений, необходимое для получения высококачественных данных наблюдения Земли.



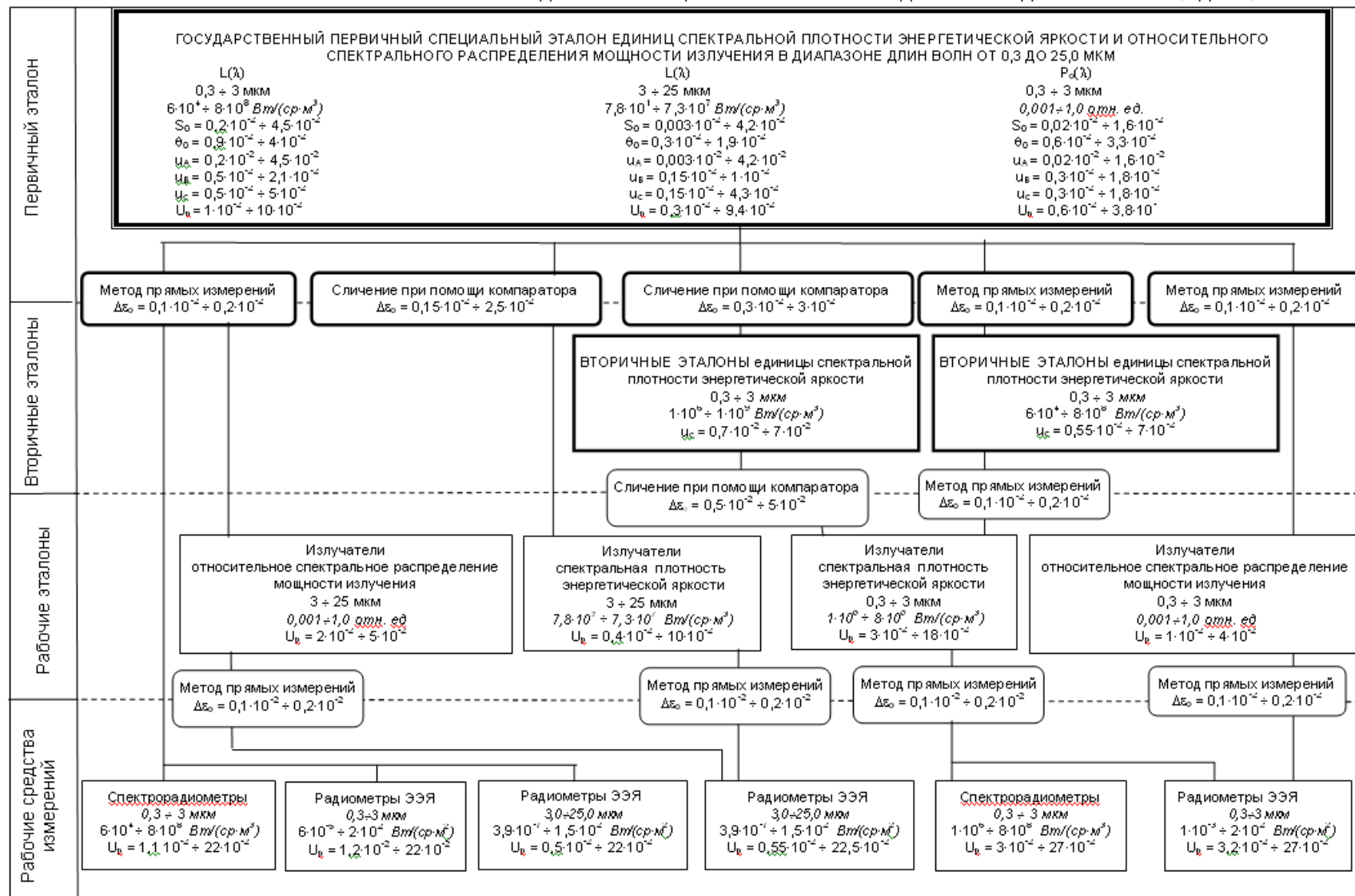
Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Проблемы радиометрической калибровки АНЗ в ИК диапазоне

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЯРКОСТИ И ОТНОСИТЕЛЬНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН ОТ 0,3 ДО 25,0 МКМ



Обозначения: $L(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости; $P_d(\lambda)$ – относительное спектральное распределение мощности излучения; ЭЭЯ – эффективная энергетическая яркость; S_0 – среднее квадратическое отклонение; θ_0 – неопределенность систематической погрешности; u – неопределенности: по типу А – u_A , по типу В – u_B , суммарная стандартная неопределенность – u_C , расширенная неопределенность – U_0 , ε_0 – погрешность метода передачи размера единиц