

Методики съемок и обработки спектров и изображений, получаемых фотоспектральной системой

*Крот Ю.А., Беляев Б.И., Катковский Л.В., Роговец А.В.,
Сосенко В.А., Беляев М.Ю., Рязанцев В.В., Малышев В.Б.*

Отдел аэрокосмических исследований
Институт прикладных физических проблем
им. А.Н. Севченко,
Белорусского государственного университета
Минск, Беларусь



<http://www.remsens.by/>

E-mail: Remsens@niks.by



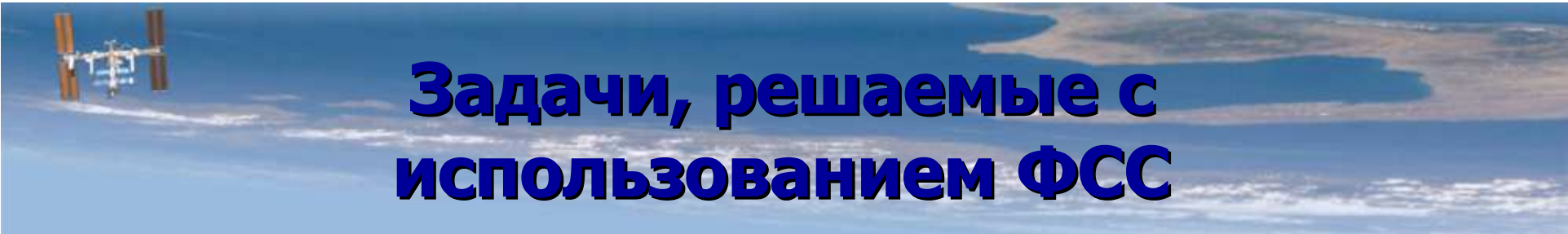


Фотоспектральная система ФСС

Система установлена на Российском сегменте Международной космической станции в рамках космического эксперимента «Ураган» - экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф.

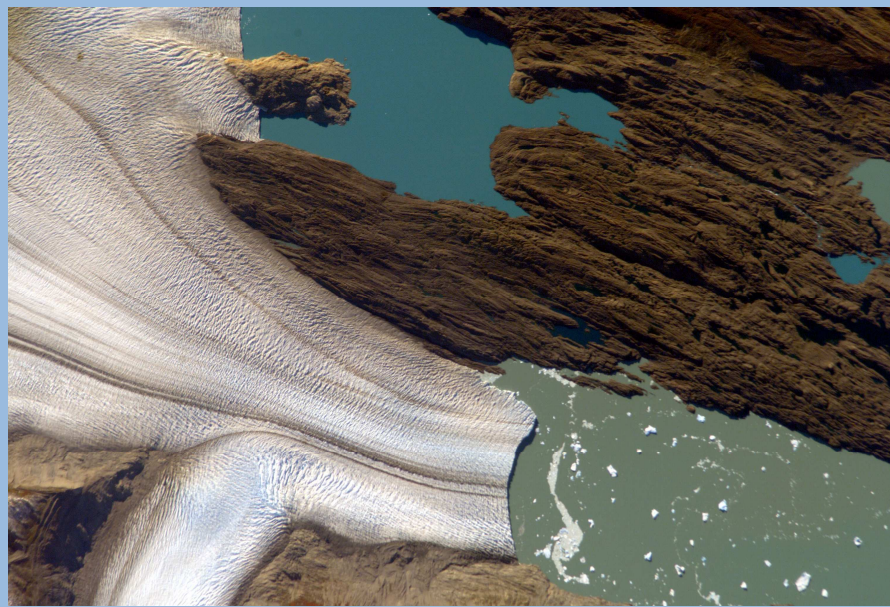
ФСС предназначена для:

- проведения измерений спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 350 до 1050 нм
- получение фотоизображений в видимом диапазоне длин волн



Задачи, решаемые с использованием ФСС

- выбор характерных спектральных зон для решения диагностических задач;
- определение ареала распространения «пылевых» бурь из района озера Арал;
- определение масштабов загрязнений (мониторинг объектов промышленной разработки и транспортировки нефти, зимний мониторинг промышленных городов);
- регистрация темпов движения фронта и тыла весеннего снеготаяния;
- исследование динамики изменения ландшафта (зарастание пахотных земель, техногенное воздействие на природную среду);
- исследование крупных массивов лесов по определению состава пород.



ФСС конструктивно выполнена в виде компактного переносного моноблока, который включает в свой состав:

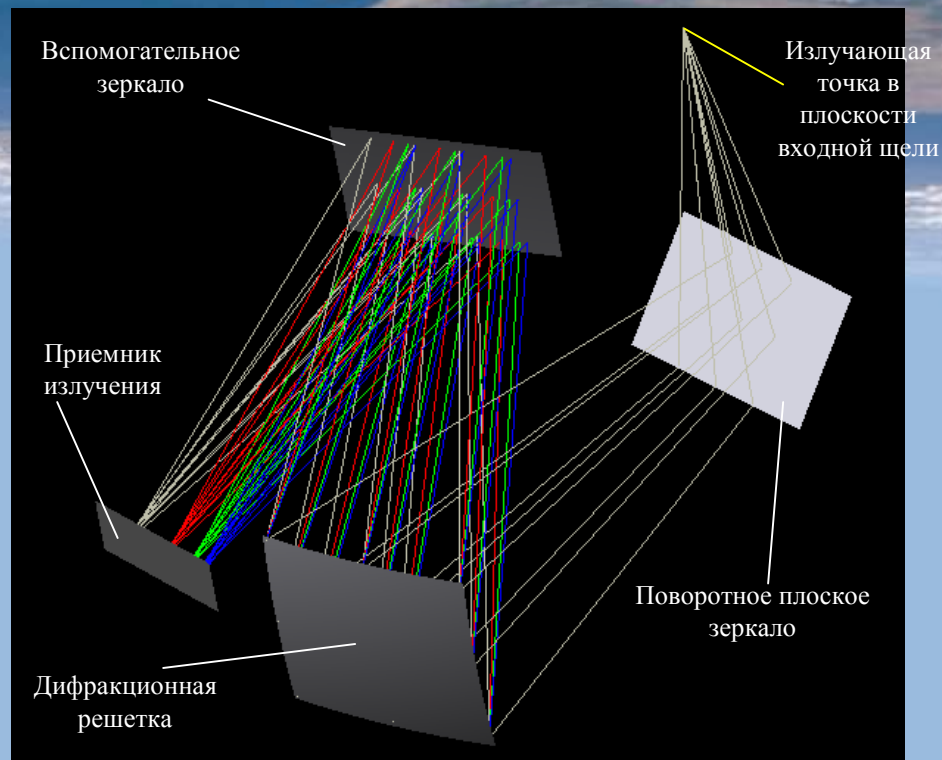
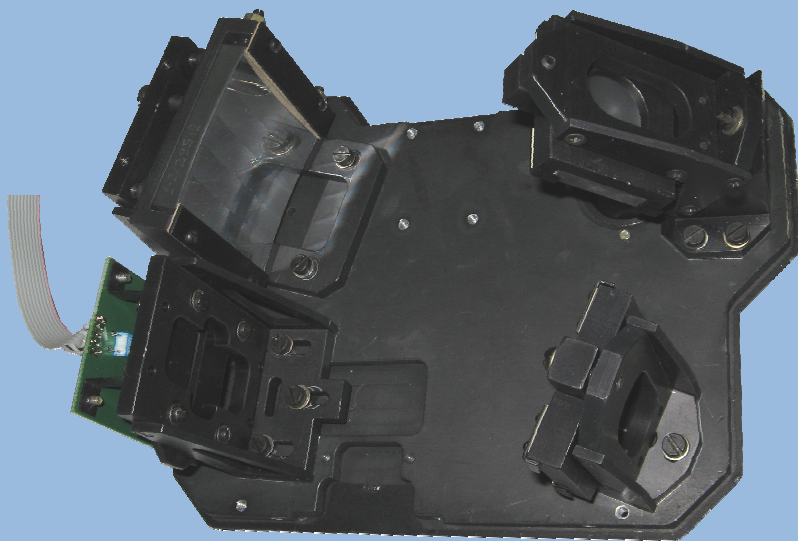
- 1) модуль спектрорадиометра (МС);
- 2) модуль регистрации изображений (МРИ);
- 3) модуль электроники (МЭ)



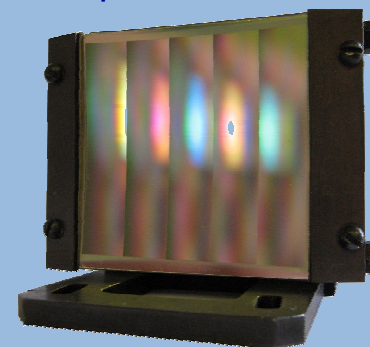
Полихроматор МС

Состав полихроматора:

- узел входной щели
- дифракционная решетка
- поворотные зеркала
- приемник излучения
- юстировочные устройства зеркал
- юстировочное устройство дифракционной решетки
- юстировочный кронштейн приемника излучения



Оптическая схема полихроматора МС



Диспергирующий Элемент

Число штрихов, штр/мм

Спектральный диапазон, нм

Спектральное разрешение, нм

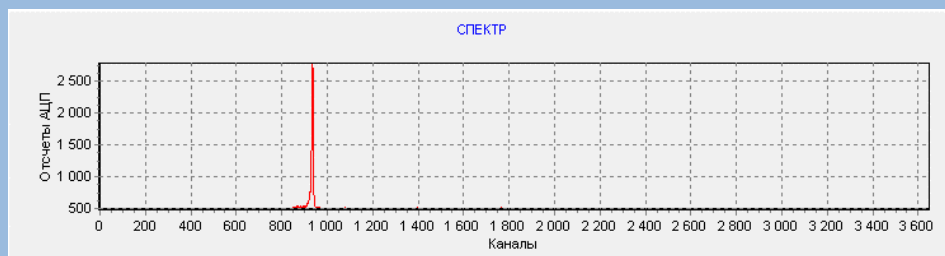
вогнутая многосекционная
дифракционная решетка

120

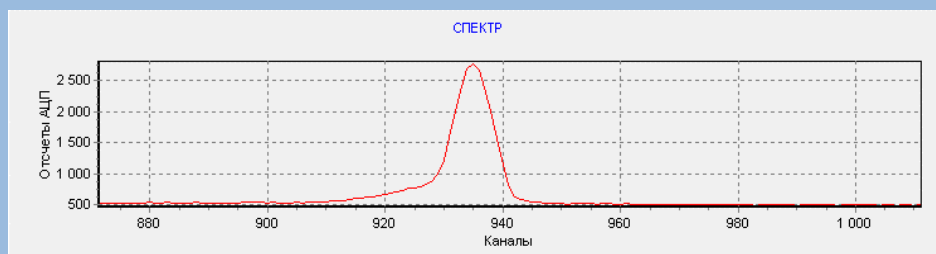
350 – 1050

1,2–2,0

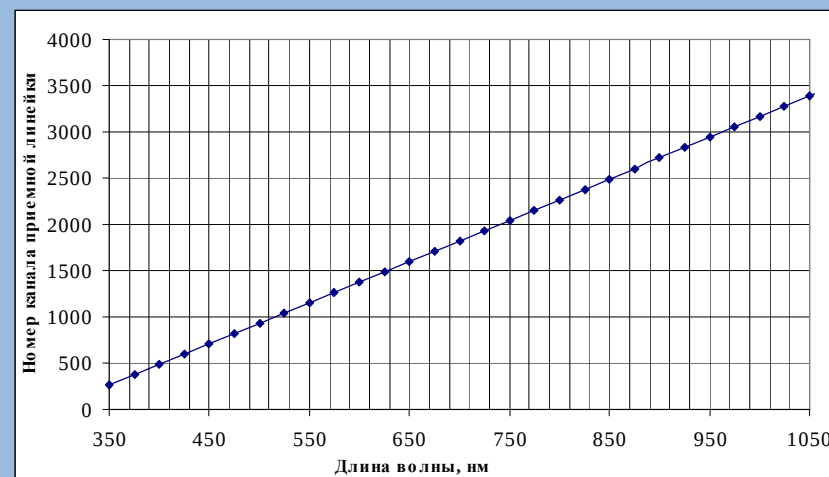
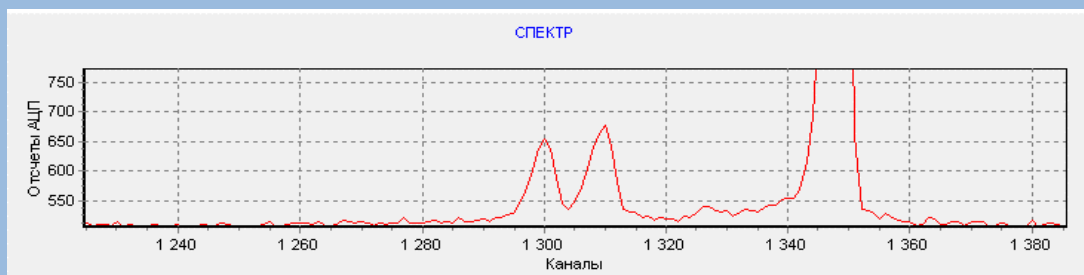
Определен рабочий спектральный диапазон МС ФСС и проведена калибровка по длинам волн



Регистрация излучения монохроматического осветителя



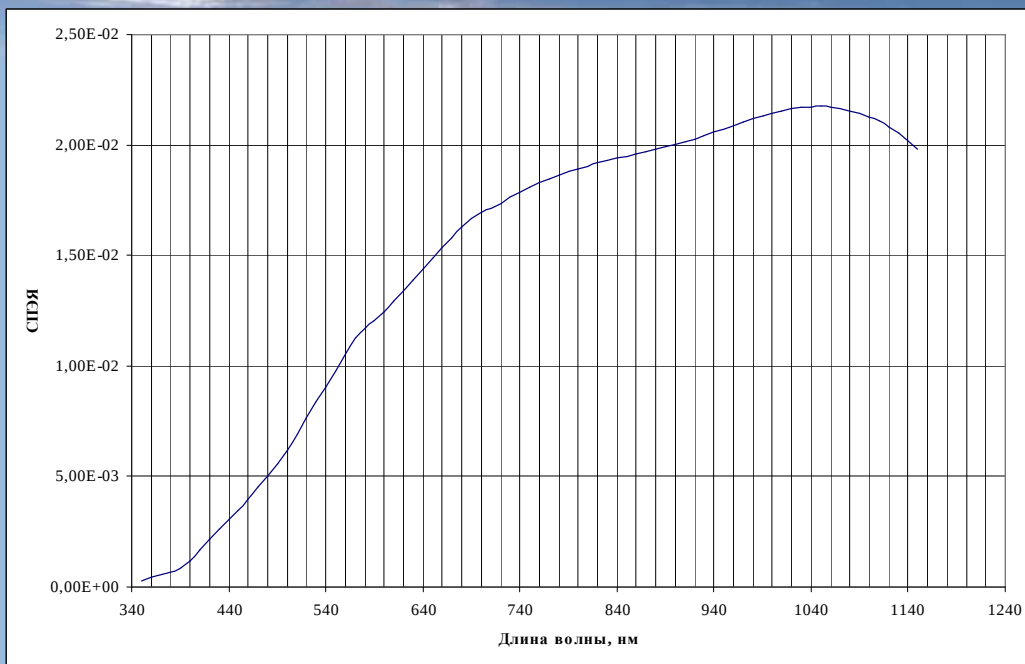
Увеличенный контур спектральной линии



Результаты калибровки МС по длинам волн

Регистрация линий излучения ртути 577 нм, 579 нм и линии излучения гелия 587,6 нм

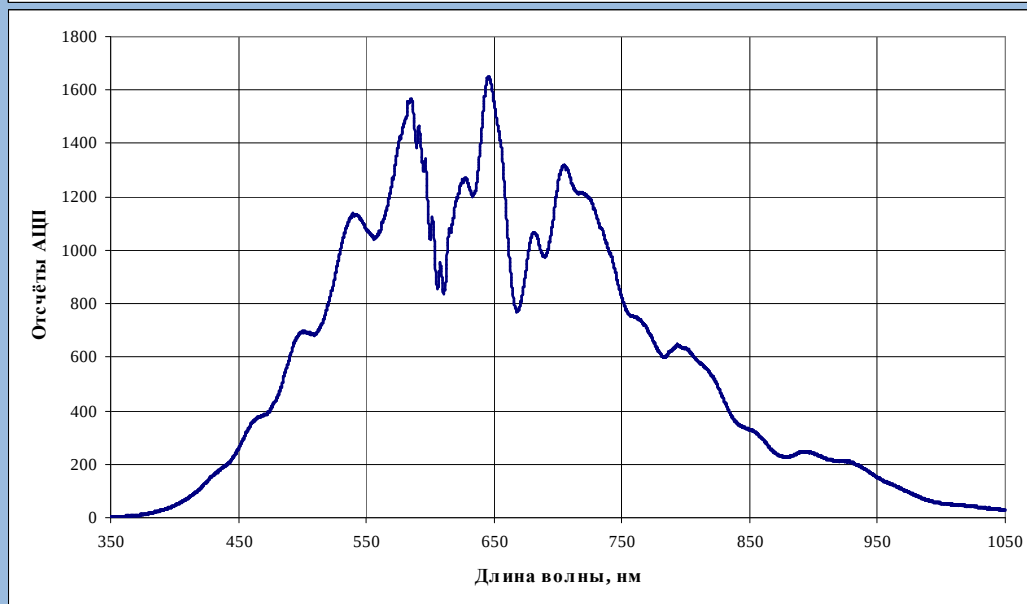
Калибровка модуля спектрорадиометра по СПЭЯ



Абсолютная спектральная чувствительность модуля спектрорадиометра определялась по диффузному излучателю метрологического комплекса «Камелия-М»

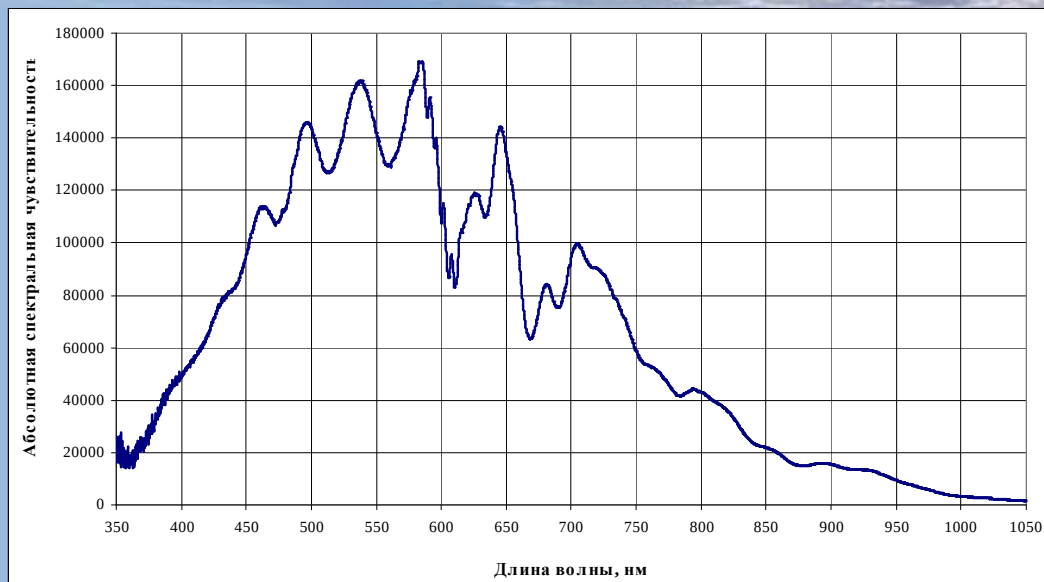


СПЭЯ диффузного излучателя

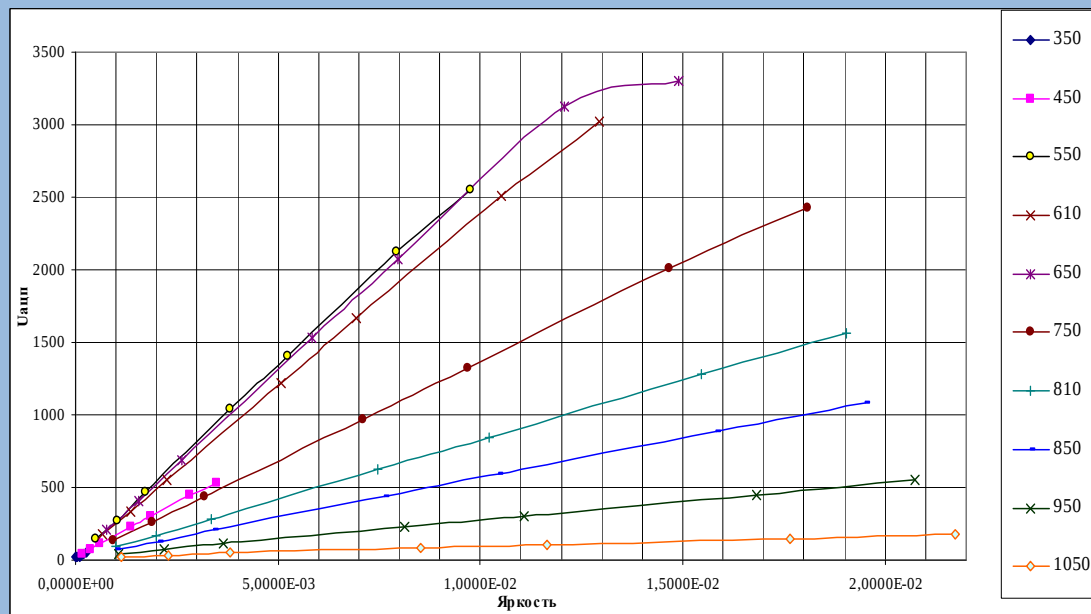


Регистрация излучения диффузного излучателя

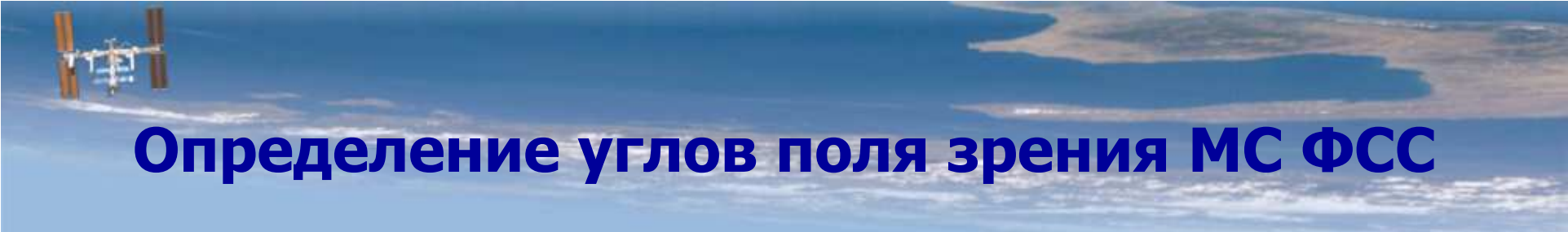
Получена абсолютная спектральная чувствительность МС, рассчитана пороговая СПЭЯ и верхний предел СПЭЯ



Количество отсчетов АЦП,
соответствующее единичной СПЭЯ



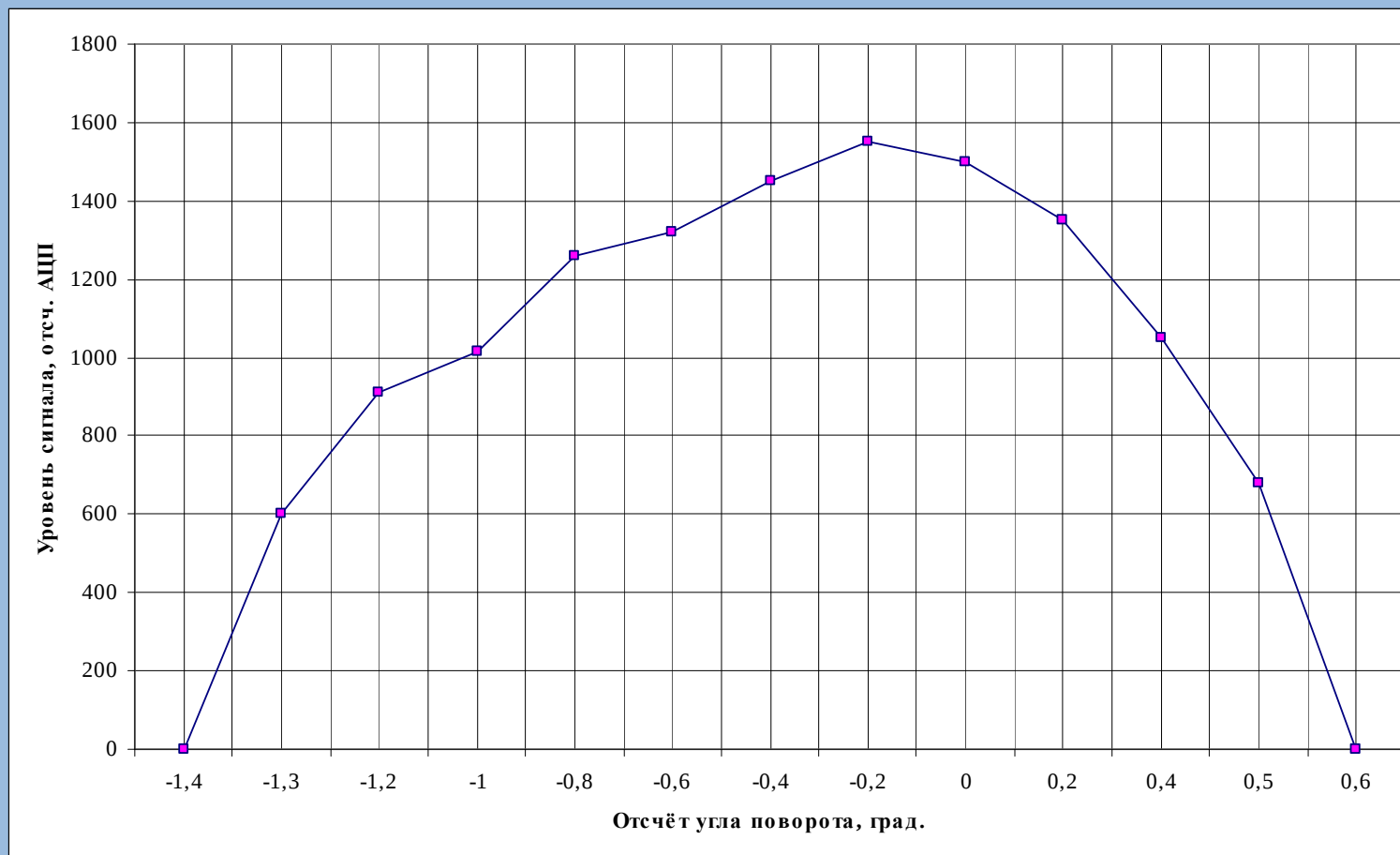
Отклик модуля
спектрометра на
излучение диффузного
излучателя на различных
длинах волн



Определение углов поля зрения МС ФСС

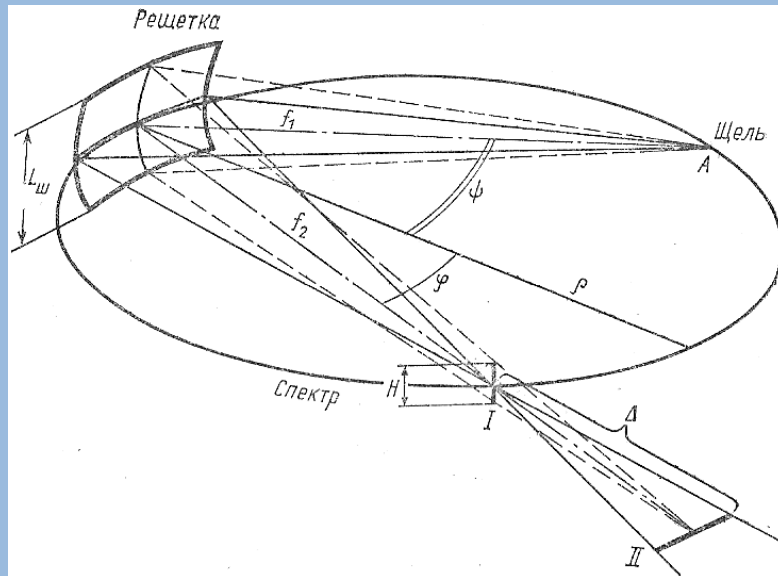
Угол поля зрения в плоскости перпендикулярной линии входной щели полихроматора:

$$2\omega = 2 \cdot \arctg(40 \text{ мкм}/135 \text{ мм}) \approx 0,034^\circ$$



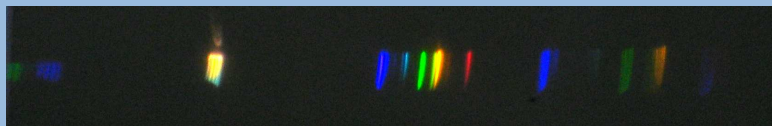
Результаты определения угла поля зрения в сагиттальной плоскости

Теоретический расчет астигматического эффекта дифракционной решетки

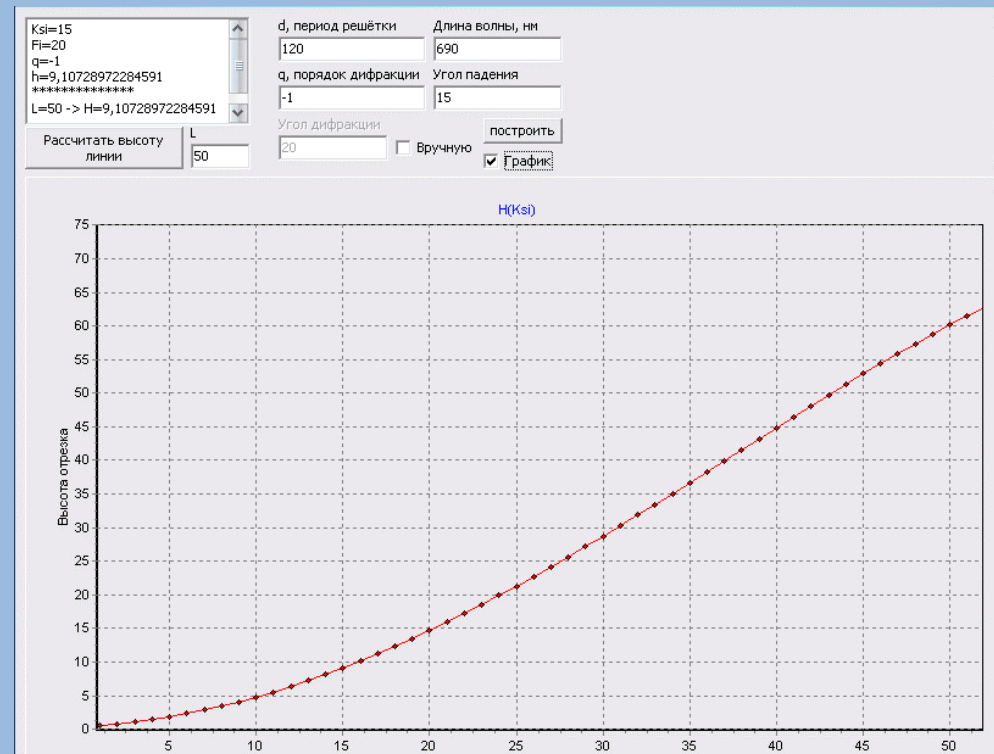


Фокусирующее действие вогнутой сферической дифракционной решетки в меридиональном и сагитальном сечениях

Для $\lambda=550\text{nm}$ $H=8,6\text{мм}$, что соответствует углу поля зрения $2\omega=1,9^\circ$



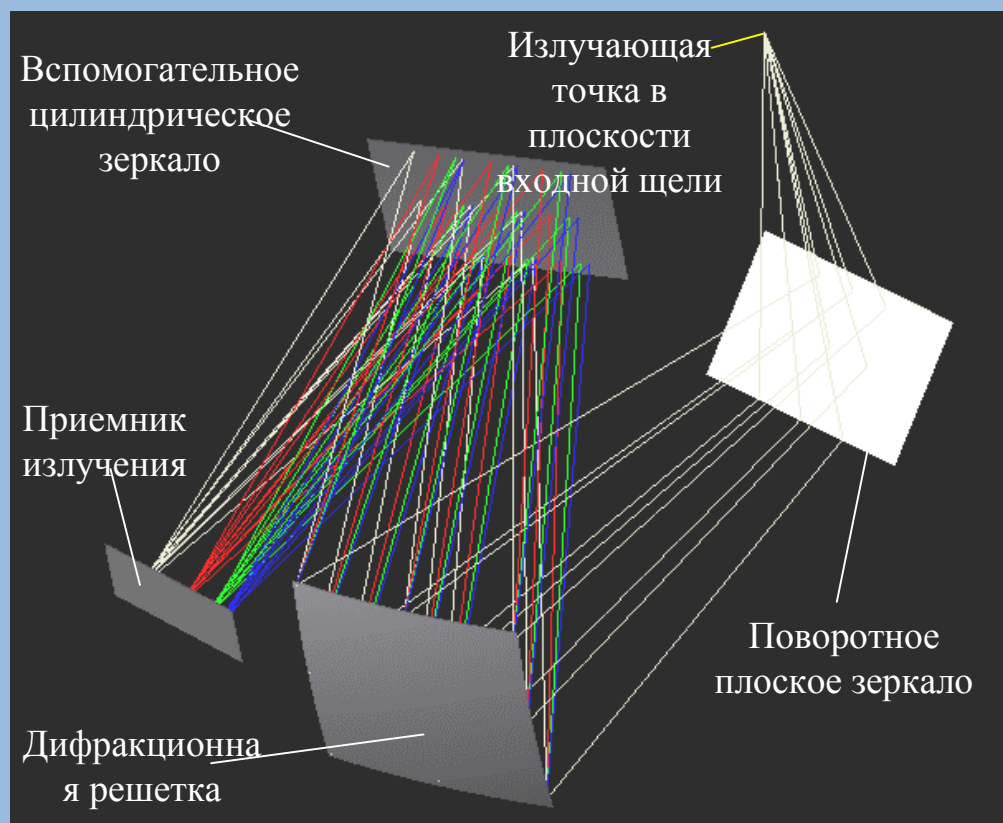
Наблюдение астигматического эффекта используемой дифракционной решетки



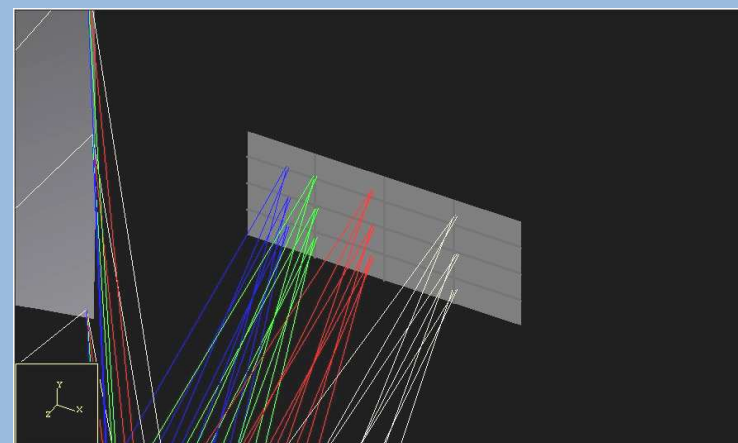
$$H = (\sin^2 \varphi + \sin^2 \psi \cdot \cos \varphi / \cos \psi) \cdot L_{\text{ш}}$$

Зависимость величины астигматизма от величины угла дифракции

Компенсация астигматизма дифракционной решётки полихроматора МС с помощью цилиндрического зеркала

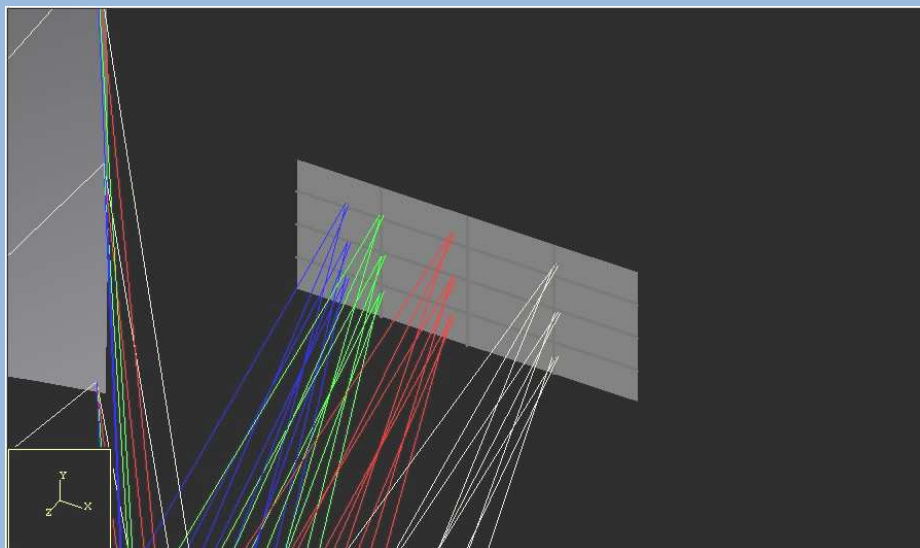


Установка цилиндрического вспомогательного зеркала вместо плоского

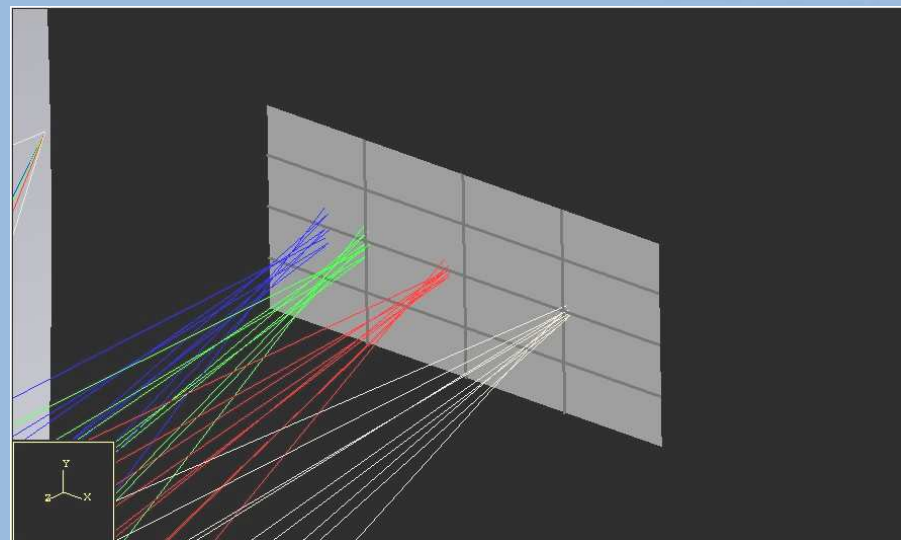


Проявление астигматического эффекта

Компенсация астигматизма дифракционной решётки полихроматора МС с помощью цилиндрического зеркала



Ситуация плоского вспомогательного зеркала



Ситуация цилиндрического вспомогательного зеркала



Плоское зеркало
Диаграмма пятна в плоскости приемника излучения

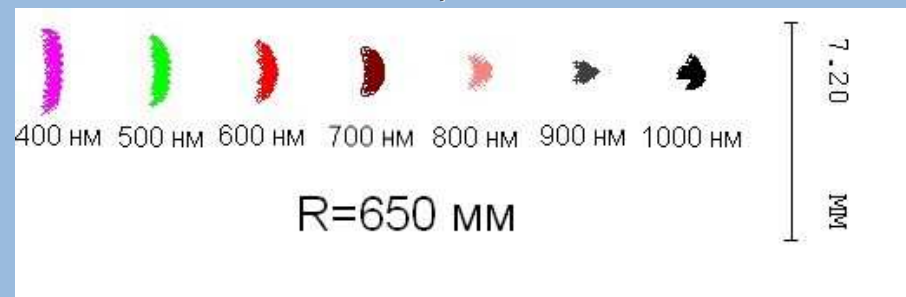
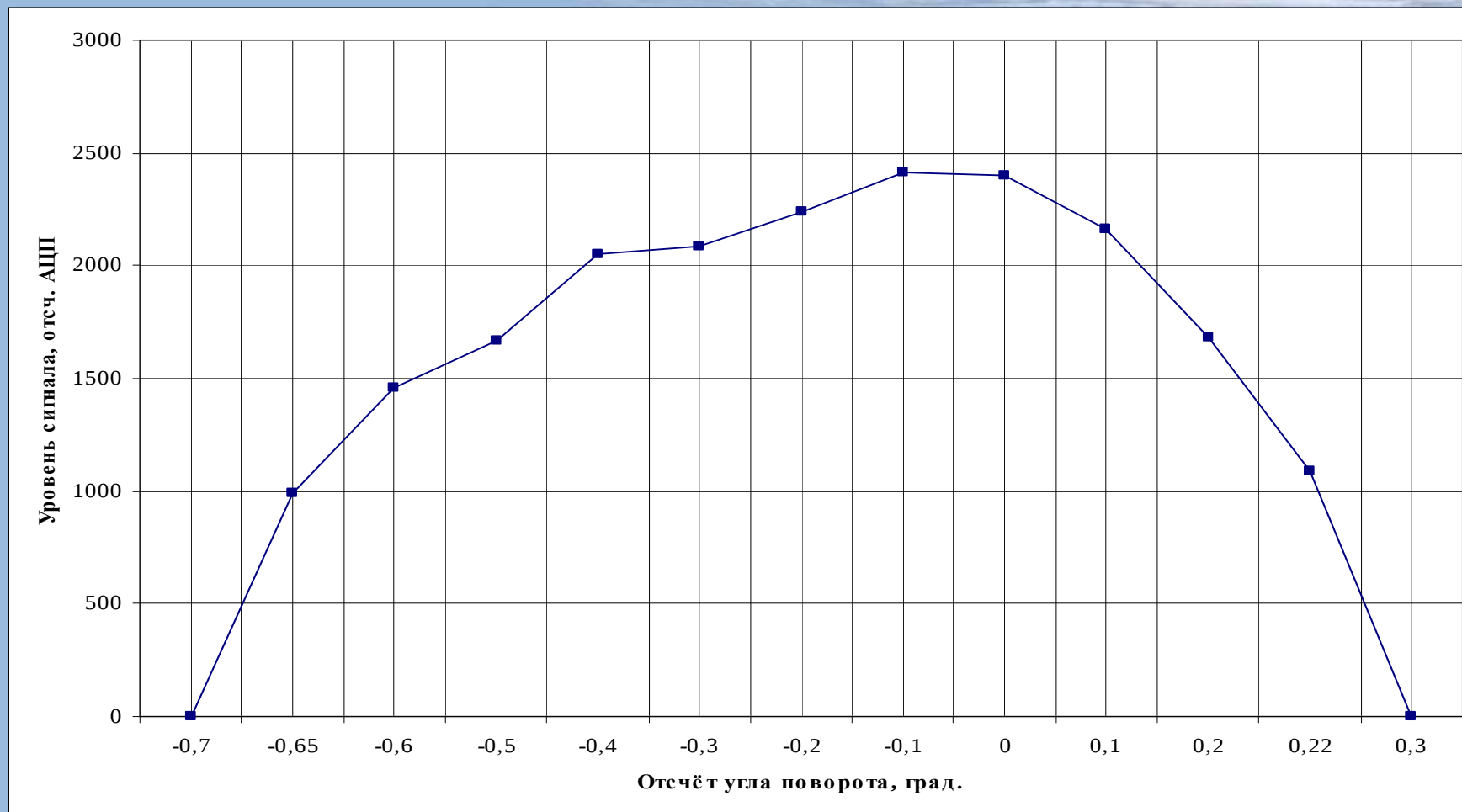


Диаграмма пятна в плоскости приемника излучения



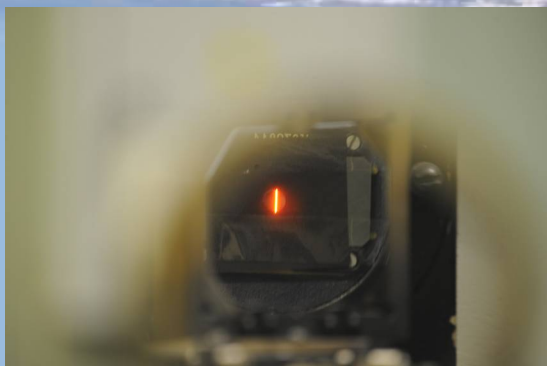
Определение угла поля зрения МС в сагиттальной плоскости после установки цилиндрического зеркала



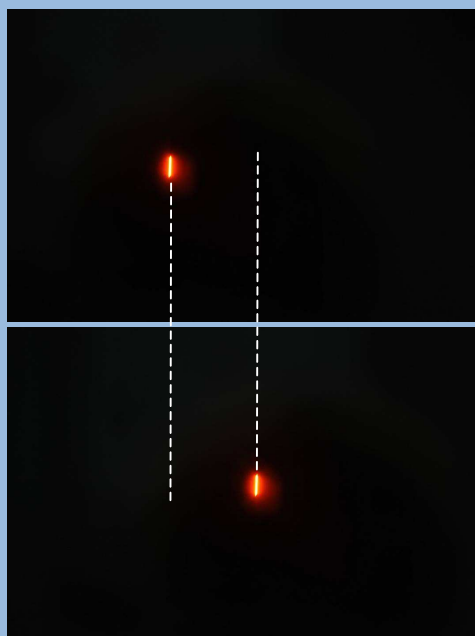
Результаты определения угла поля зрения МС в сагиттальной плоскости

Углы поля зрения МС составляют: $0,034^{\circ} \times 1,0^{\circ}$

Совмещение полей зрения МС и МРИ



Кадр МРИ при включённом внешнем освещении



Определение левой и правой границ поля зрения МС в поле зрения МРИ

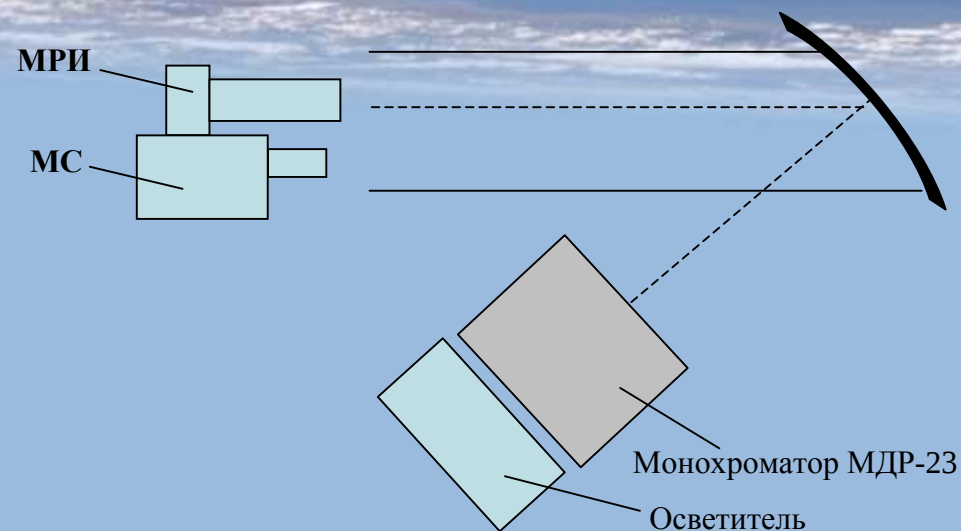
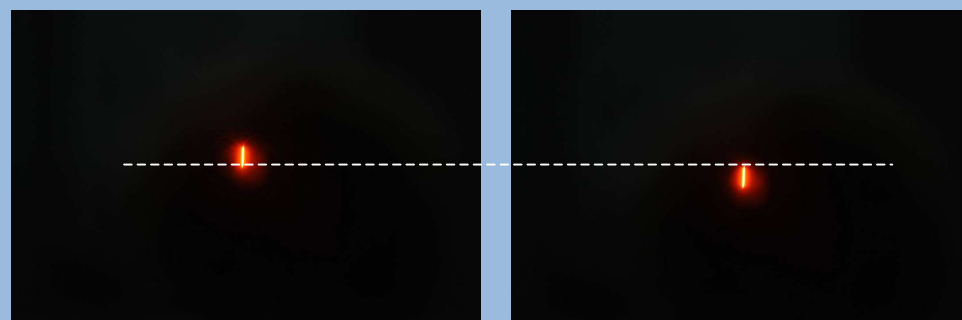
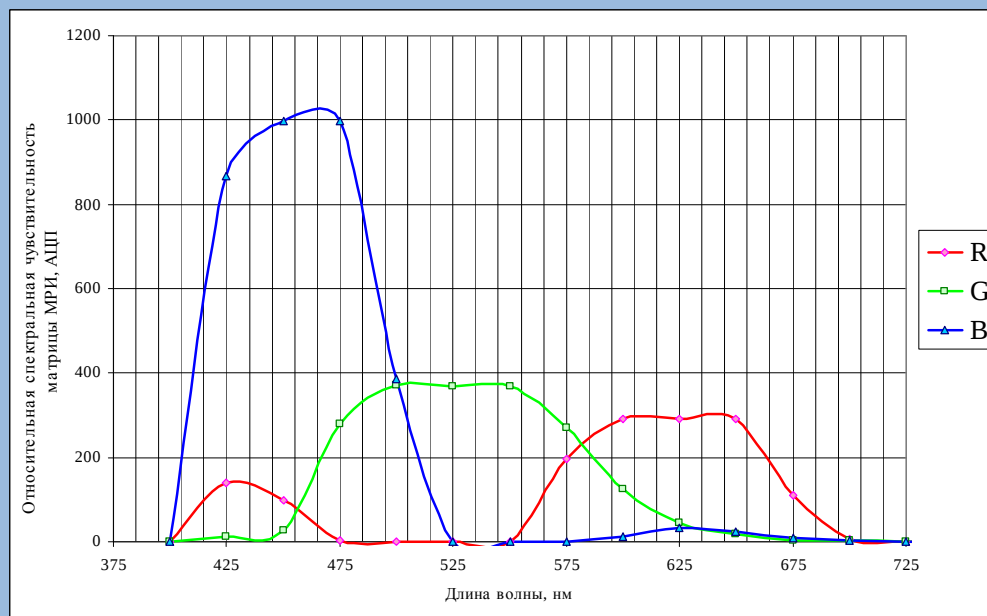


Схема проведения эксперимента

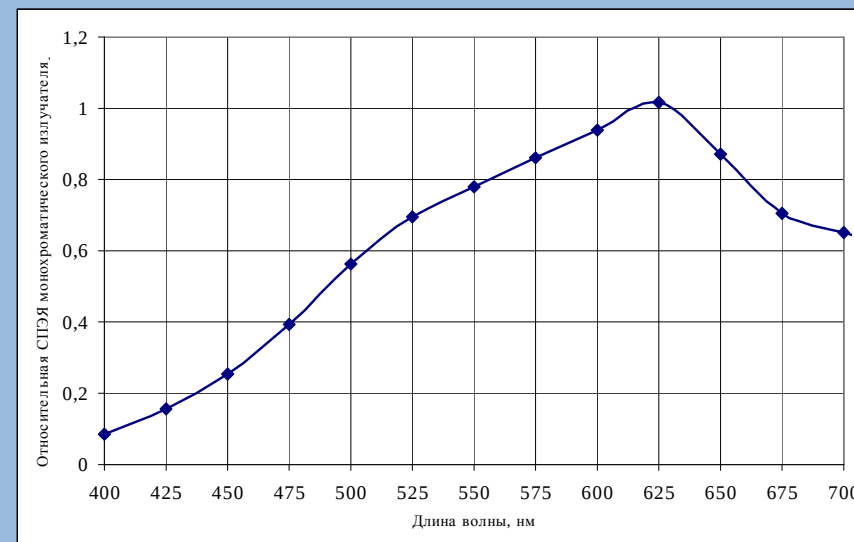


Определение верхней и нижней границ поля зрения МС в поле зрения МРИ

Определение спектральной чувствительности МРИ



Относительная спектральная чувствительность МРИ



Относительная СПЭЯ монохроматического излучателя

Определена абсолютная спектральная чувствительность МРИ. В качестве источника излучения с известной абсолютной СПЭЯ использовался диффузный излучатель метрологического комплекса. Для исследуемых режимов работы МРИ была проведена регистрация 10-ти уровней градации СПЭЯ источника

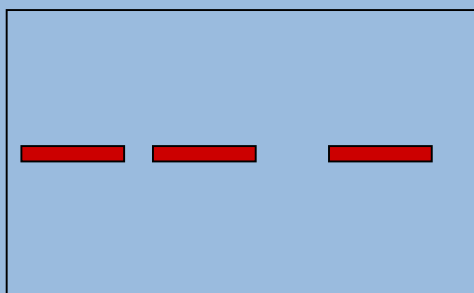


Режимы и способы съемки с помощью НА ФСС

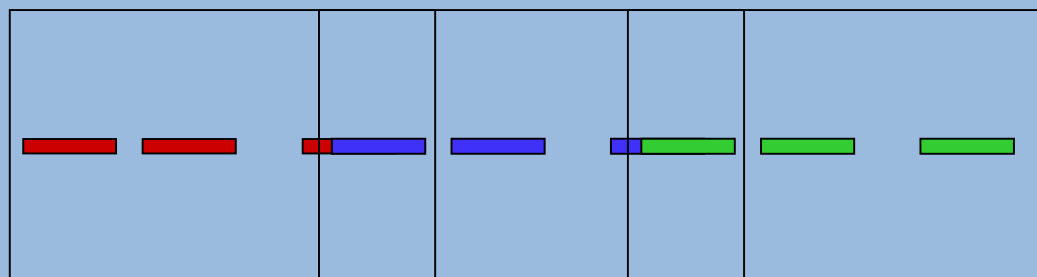
Два режима съемки НА ФСС:

«одиночный кадр»

«трассовая съемка»



«одиночный кадр»



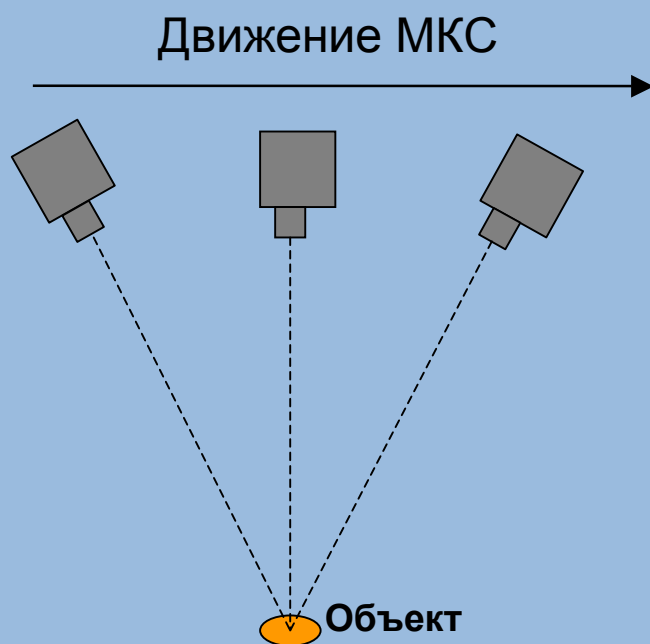
«трассовая съемка»

Способы съемки НА ФСС:

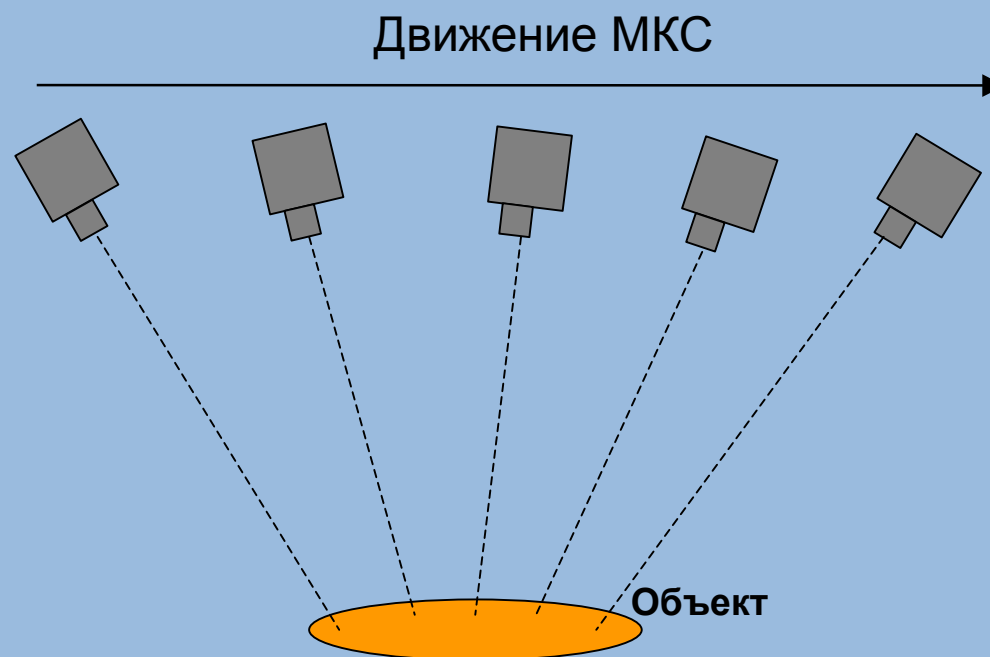
1. «Одиночный кадр»
2. «Трассовая съемка»
3. «Индикатриса объекта»
4. «Ручное сканирование протяженного объекта»



Способы съемки «Индикатриса объекта» и «Ручное сканирование протяженного объекта»



«Индикатриса объекта»



«Ручное сканирование протяженного объекта»

Крепление ФСС

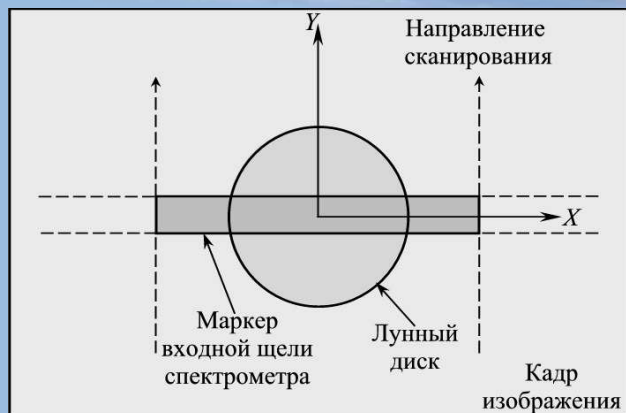
ФСС крепится на иллюминаторе российского сегмента МКС с помощью специального кронштейна

Установочный кронштейн предназначен для надежной фиксации прибора ФСС на иллюминаторе РС МКС. Кронштейн обеспечивает:

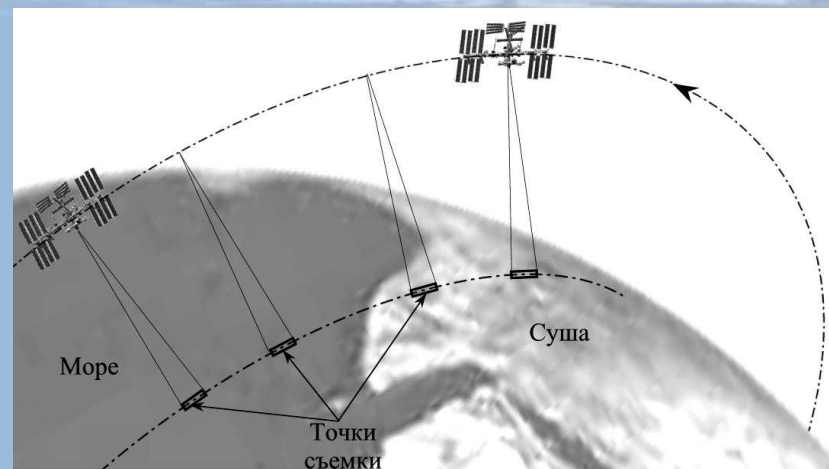
- линейную «прокачку» по двум координатам (углы прокачки – в зависимости от выбора иллюминатора)
- фиксирование положения прибора ФСС на установленном оператором угле «прокачки»
- возможность быстрого съема прибора ФСС для ручного наведения и съемки объектов с рук оператора.



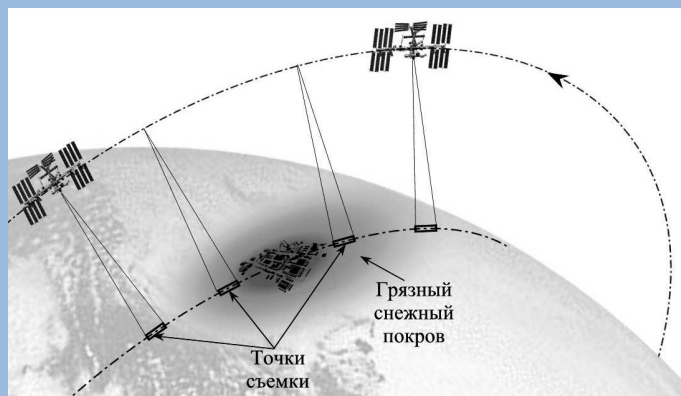
Эксперименты с НА ФСС



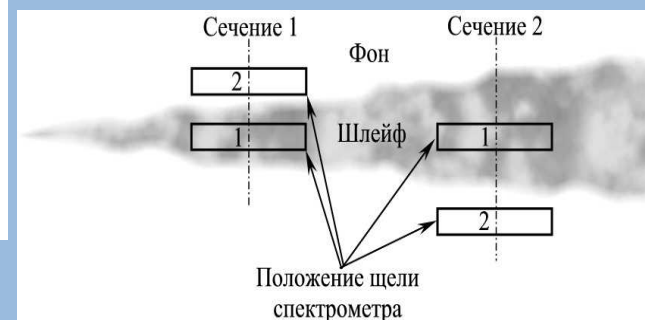
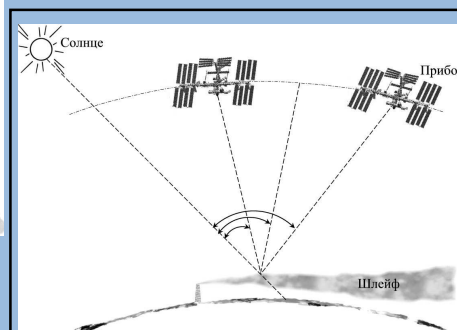
«Калибровка по Луне»



«Калибровка по контрастным поверхностям»



«Снежный покров»

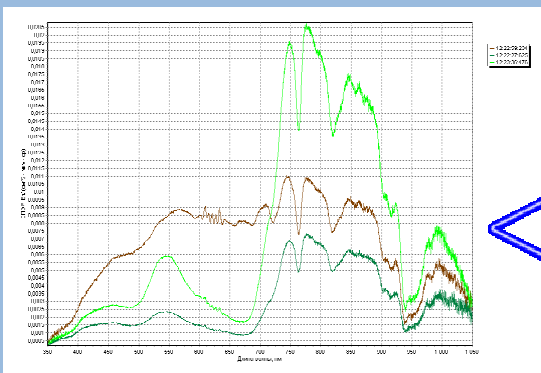
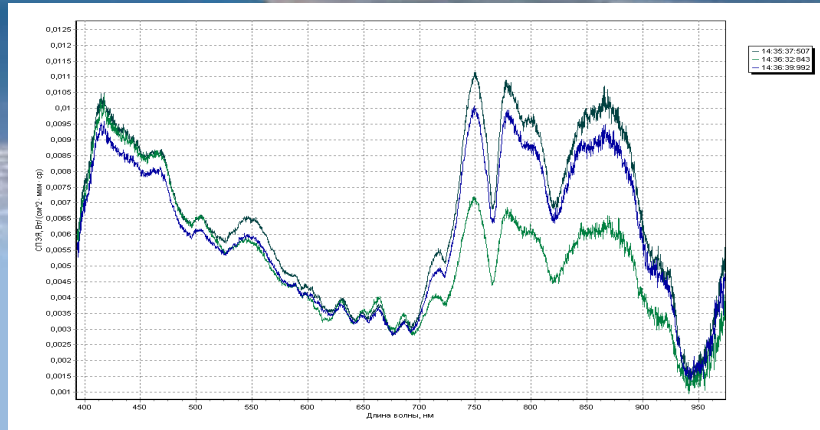


«Выбросы»

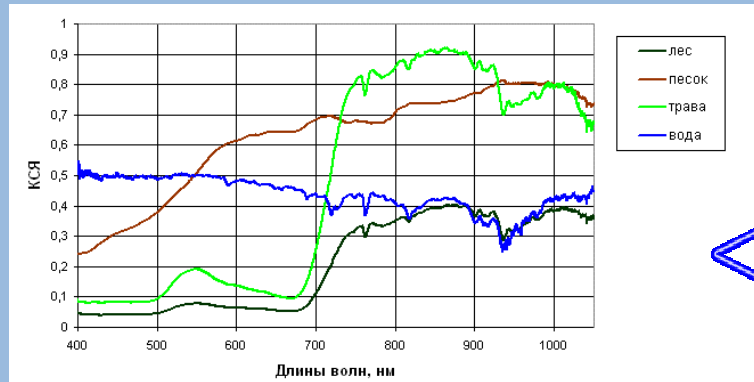
МКС



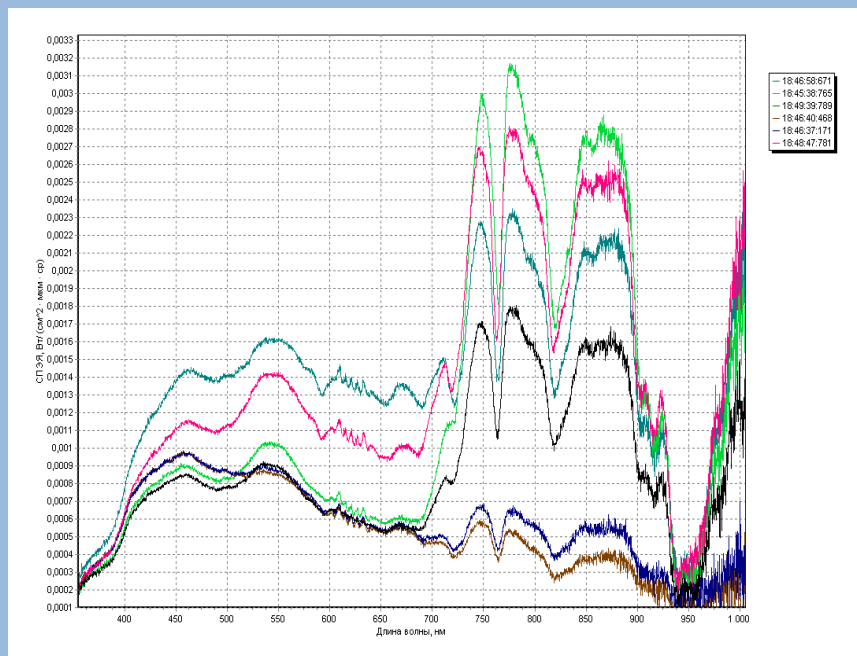
АН-2



НАЗЕМНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

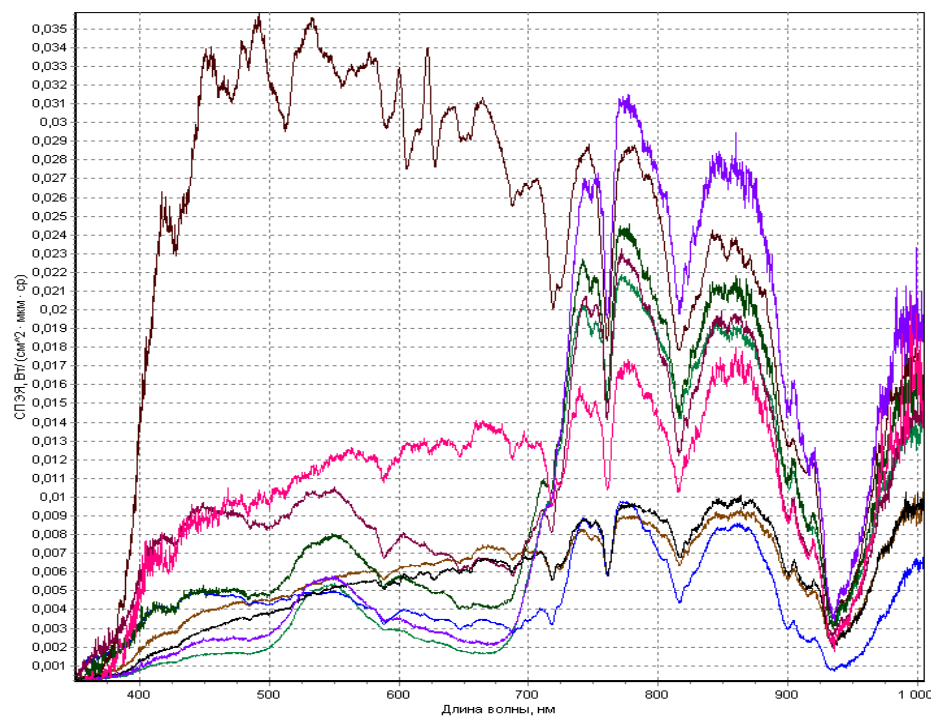


РЕЗУЛЬТАТЫ АВИАЦИОННЫХ СЪЕМОК КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ АППАРАТУРОЙ ФСС



- Высота съемки 1000 м
- Фокус объектива МРИ 80 мм
- Размер пикселя изображения 0,11 × 0,11 м
- Размер кадра изображения 290 × 430 м
- Размер спектрометрируемой площадки МС 0,6 × 28,9 м

РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНЫХ СЪЕМОК КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРОРАДИОМЕТРОМ MS-12





Спасибо за внимание !

КООРДИНАТЫ ДЛЯ СВЯЗИ:

**Научно-исследовательское учреждение
«Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко»
Белорусского государственного университета
Курчатова 7, г. Минск, Республика Беларусь, 220108
Отдел аэрокосмических исследований**

Телефон: + 375 17 278 04 09

Факс: + 375 17 278 57 26

**E-mail: remsens@niks.by
info@remsens.by**

Сайт www.remsens.by