

**ОАО «КРАСНОГОРСКИЙ ЗАВОД
ИМ. С.А. ЗВЕРЕВА»**

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР

**Выбор схемного решения
гиперспектральной съемочной
оптико-электронной
аппаратуры для КА «Ресурс-П»**

**Архипов С.А., Линько В.М., ФНПЦ ОАО КМЗ
Бакланов А.И., Лосев И.Н., Федоров В.М.,
ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»**

Докладчик: Архипов С.А.

12 ноября 2008 г.
ИКИ Москва



Требования технического задания на ГСА для КА «Ресурс-П»

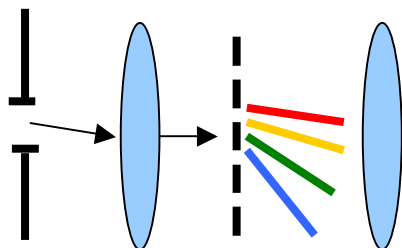
ГСА – гиперспектральная аппаратура дистанционного зондирования Земли предназначена для проведения спектрального анализа характерных сюжетов местности (леса, посевы, почвы, геологические образования и др.) с целью определения состояния регистрируемых объектов (влажность, состав почв, лесов, геологических образований, урожайность и заболевания с/х культур, экология суши и моря и т.д.).

ГСА должна обеспечивать получение информации в составе КА в рабочем диапазоне условий наблюдения на высотах орбиты от 475 до 630 км:

- при углах Солнца от 20 до 90°;
- в диапазоне спектральных коэффициентов яркости объектов от 0,07 до 0,9;
- динамический диапазон спектральных коэффициентов яркости на маршруте не более 20;
- метеорологическая дальность видимости 23 км;
- максимальное значение W/N не более 0,0145 с⁻¹

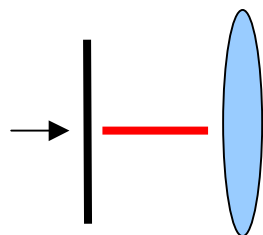
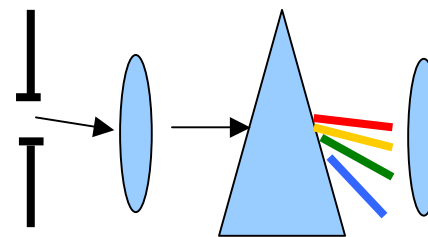
Основные характеристики	Значение
Полоса захвата, км	30
Пространственное разрешение (проекция пиксела), м	30
Спектральный диапазон, мкм	0,4 -1,1
Число спектральных каналов	96
Длительность маршрута, с	300
СКО измерения СПЭЯ, %	5

Классические спектрографы



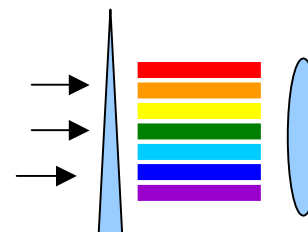
Решетчатый спектрограф в качестве ДУ используется дифракционная решетка, разлагающая входной световой пучок в угловой спектр

Призмный спектрограф в качестве ДУ используется дисперсионная призма, разлагающая входной световой пучок в угловой спектр

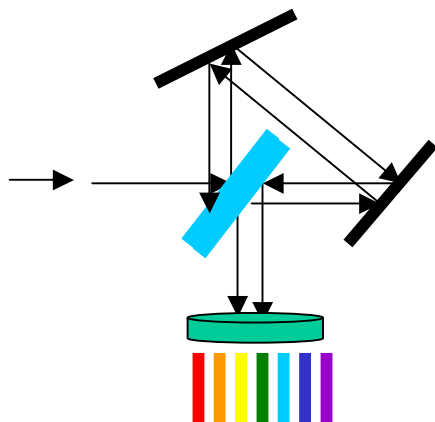


Фильтровый спектрограф в качестве ДУ используется набор узкополосных фильтров

Клиновидный спектрограф, в качестве ДУ используется клиновидный узкополосный интерференционный фильтр

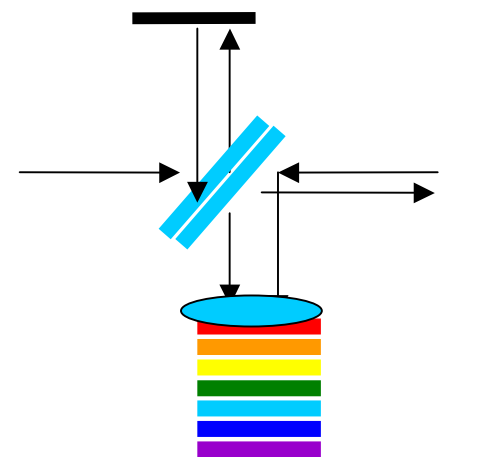


Интерференционные спектрографы



Статический Фурье спектрограф – двухлучевой интерференционный Фурье спектрограф, у которого в качестве ДУ используется интерферометр бокового сдвига

Динамический Фурье спектрограф – двухлучевой интерференционный Фурье спектрограф, у которого в качестве ДУ используется интерферометр Майкельсона



$$G(\nu) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \left| \int_{-T}^T f(t) e^{-i2\pi\nu t} dt \right|^2 \quad (1)$$

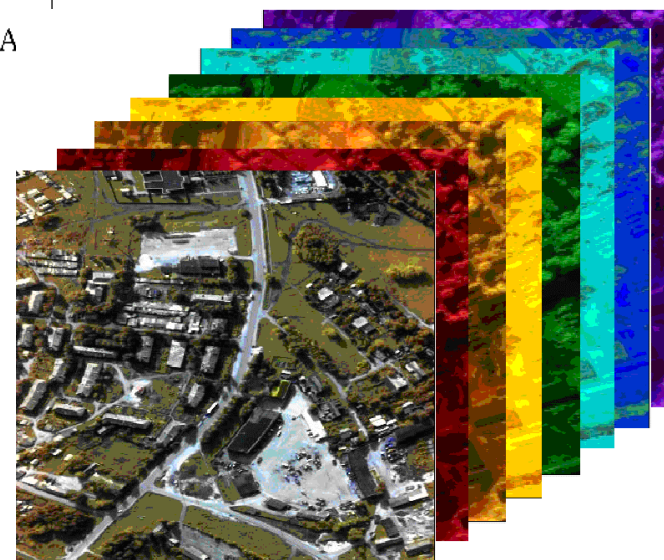
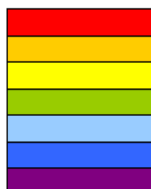
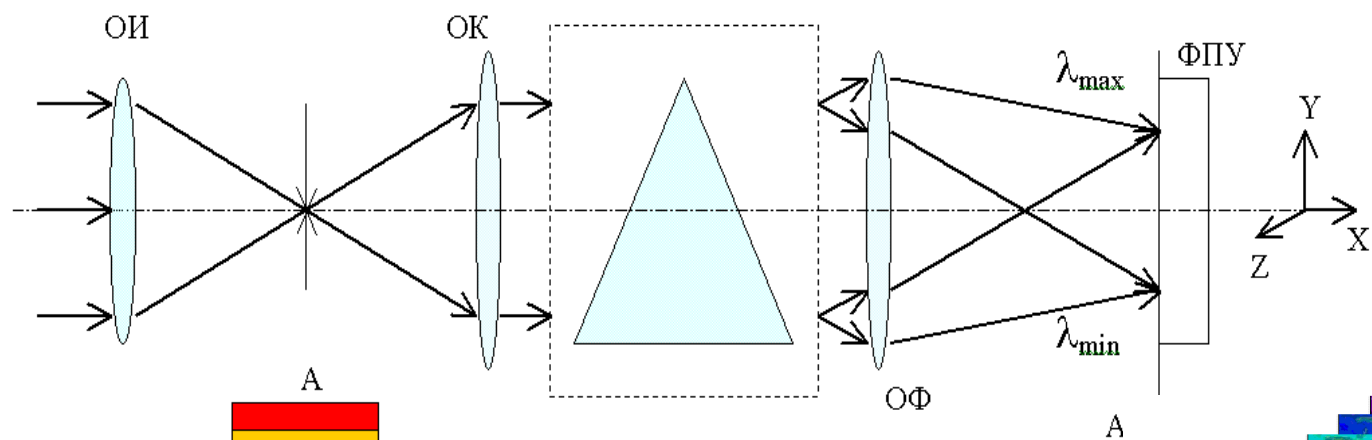
$$\Gamma(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\nu) e^{i2\pi\nu\tau} d\nu$$

(3)

$$\Gamma(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(t+\tau) f^*(t) dt \quad (2)$$

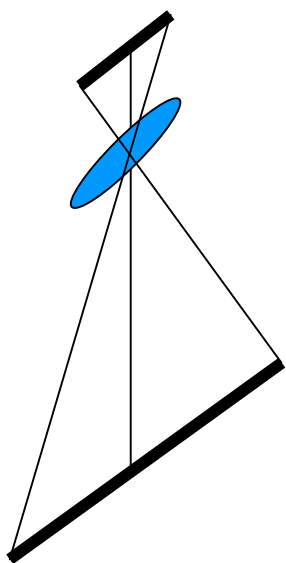
$$G(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \Gamma(\tau) e^{-i2\pi\nu\tau} d\tau$$

Схема работы дисперсионного видеоспектрометра

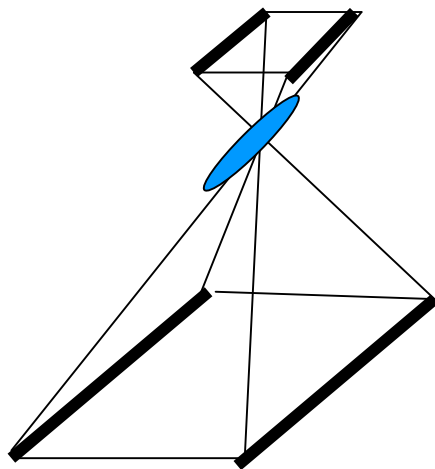


Способы съемки

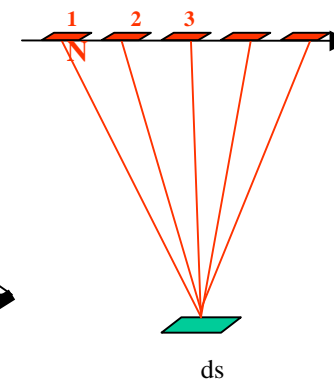
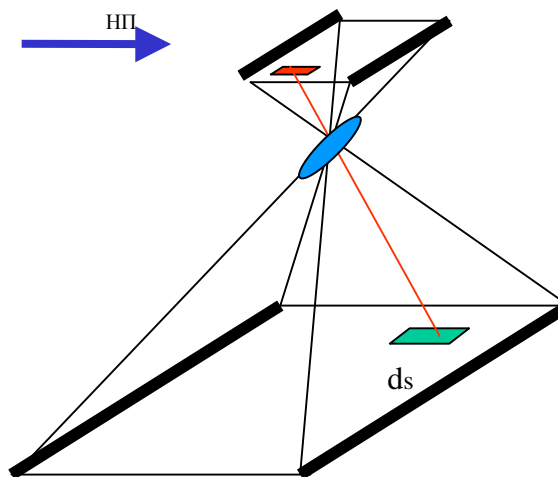
Щелевой (Push-broom)



Кадровый (framing)



Windowing



Требования к видеоспектрометру по результатам НИР «Эффективность»

Область применения	Спектральные			Пространственные		Радиометрические	Периодичн. наблюд.	
	Количество сп. каналов	Ширина зон, нм	$\lambda_{\text{ср.}}$ мкм		Разрешение на местности, м	Точность привязки, м	Разрядность квантования	Количество наблюдений в год
Мониторинг почвенных ресурсов	6	20 - 30	0,45 0,65 0,75 0,85 1,5-1,7 10-12		50 - 500	+ 50	10	2 - 4
Сельское и лесного хозяйства	6	20 - 30	0,55 0,66 0,76 0,84 1,5-1,7 10-12		10 - 30	+ 30	8	36 - 52
Геология Поиски месторождений	4	-	0,7 0,8 1,6 10	0,8 1,1 1,7 12	10 - 30	+ 30	10	-
	64-128	5	2,1	2,4			10	
Мониторинг водных ресурсов и шельфовой зоны	10-64	5-20	0,44/0,49 0,52/0,55 0,59/0,65 0,67/0,76 1,6-1,7 10-12		30 - 100	+ 30	8	1 раз в сутки
Динамика городских агломераций	1 - 3	-	0,5-1,1		5 - 10	+ 10	8	4-12
Топогеодезическое обеспечение	1 - 3	-	0,5-1,1 0,64-0,68 0,52-0,56/0,45-0,51		1,5	10 - 15 <5 (по высоте)	8	1 раз в сутки

Сводная таблица результатов сравнения

№	Параметры сравнения	Дисперсионный	Дифракционный	ФС+ windowing	Клиновы́й+ windowing
1	Целевое использование	«Интервальный» анализ СПЭЯ		Тонкий спектральн. анализ	
2	Спектральный диапазон	> 0,4 мкм			
3	Спектральное разрешение	Нелинейный спектр		Нелинейный спектр	Наложение спектров
4	Стабилизация КА	>0,005°/с		<1,0"/с	<1,0"/с
5	Пропускание системы	1,0	<0,5	<0,25 (на плечо)	
6	Преимущество в сигнале	1,0	0,5	N/4	
7	Формат ФПУ	N строк		(1,1-2,0)×N строк	N строк
8	Динамический диапазон ФПУ	~(75-80) Дб		~85 Дб или более	~(75-80) Дб
9	Уровень точности оптики	$\lambda/5$		$\lambda/10$	$\lambda/5$
10	Вычислительные погрешности	Прямые измерения спектра		Ошибки и шумы обратного Фурье преобразования	Конфлюэнтный анализ
11	Стабильность схемы в условиях эксплуатации			Высокая чувствительность	
12	Искажения при регистрации гиперкуба			Переменный угол визирования	Переменный угол визирования
13	Радиометрическая калибровка				
14	Сложность оптики				
15	Масса, габариты (число каналов)				
16	Необходимость НИР				
17	Унификация				
18	Зарубежные аналоги				
19	Задел, сроки, стоимость				

Зарубежные съемочные гиперспектральные системы космического базирования

Аппаратура (Страна) КА	Тип	Дата запуска	Спектральный диапазон, мкм	Число каналов	Спектральное разрешение, нм	Разрешени е, м	Полоса захвата, км	Высота полета, км
<u>FTHSI (США)</u> MightySat II.1	Фурье-спектрометр Саньяка	2000	0,47...1,05	256	1,7	30	6-26	570
<u>Warfighter-1</u> (США) OrbView-4	Решеточный	2001	0,45...0,905 0,83...1,74 1,58...2,49 3,0...5,0	40 80 80 80	11,4 11,4 11,4 25	8	Кадр 5x20	470
<u>Hyperion</u> (США) EO-1	Решеточный	2000	0,4...2,5	220	10	30	Кадр 7,5x100	500
<u>НУС (Италия)</u> Skymed Cosmo	Решеточный	2003	0,4...2,5	60	10	20-50, 300	20 300	675
<u>LATI (США)</u> EOS-AM-2	Дисперсионный	2004	0,4...2,5	70	10	10, 20	185	705
<u>COIS (США)</u> NEMO	Решеточный	2000	0,4...1,0 1,0...2,5	60 150	10	30-60	30	605
<u>DAIS</u> (Германия)	Решеточный	В проекте	0,4...12,3	79	10	20...30	15	500
<u>HSI (США)</u> Lewis	Дисперсионный	1997	0,4...1,0 0,9...2,5	384	5 6,5	30	7,7	517
<u>HIRIS (США)</u>	Дисперсионный	В проекте	0,4...1,0 1,0...2,45	192	9,4 11,7	30	24	500
<u>CHRIS</u> (Англия) AMM	Дисперсионный	2003	0,4-1,05 1,05-2,5	256	10	30	19	677



Результат сравнительного анализа. Выводы

1. ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» имеет определенный научно-технический и технологический задел, как по созданию классических вариантов ГСА, так и по ГСА на основе Фурье интерферометра
2. За основу построения ГСА для КА «Ресурс-П» по совокупности критериев сравнения целесообразно использовать классическую схему спектрографа на основе диспергирующего призмного устройства