

¹Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр «Реагент», Москва

²Институт космических исследований РАН, Москва

³Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

При создании гиперспектральных измерителей всегда встают противоречивые проблемы между выбором угла зрения и пространственным разрешением. Уменьшение угла зрения позволяет повысить пространственное разрешение, но возникает проблема поиска цели. В данном докладе представлена конструкция гиперспектрального измерителя, который позволяет при узком угле зрения исследовать небольшие объекты. В ЗАО НТЦ «Реагент» создан опытный образец узкоугольного гиперспектрального измерителя (УГИ), обладающий мгновенным угловым полем зрения в 4 град, работающий в режиме перенацеливания и таким образом исследовать малоразмерные объекты с хорошим пространственным разрешением.

Для обеспечения работы УГИ необходимо сопровождать его работу информацией об обнаружении и координатах малоразмерных объектов или о пространственном положении участков зондируемой поверхности, подлежащих детальному изучению, что обеспечивается комбинацией УГИ с широкоугольным сенсором (ШУС). Информация, получаемая с ШУС, используется для оперативного наведения оптической оси УГИ на изучаемый объект с помощью специального устройства наведения (УН). Надежное обнаружение целевого объекта и своевременное наведение на него УГИ требует адекватных временных затрат. Одним из способов обеспечения работы комплекса (УГИ, ШУС и УН) в условиях наличия необходимого времени является отклонение оптической оси ШУС вперед по ходу движения носителя, расчет оптимальной величины которого должен учитывать ряд параметров таких как скорость и высота полета носителя, ширины полосы захвата ШУС и др.

Спектральные характеристики УГИ исследовались в ходе лабораторных исследований с использованием излучения ртутной лампы, а его пространственная разрешающая способность оценивалась по результатам полунатурного эксперимента, в котором в качестве УН использовалась поворотная платформа.

Таким образом, целью настоящей работы явилось описание конструкции и технических характеристик УГИ, а также условий его функционирования в комплексе с ШУС и УН.

Угол визирования, град.	Длина волны, нм					
	425	430	520	640	820	1000
	Геометрический размер пятен рассеяния, мкм					
0	6,3	4,6	7,1	3,7	10,0	4,2
1,112	5,9	4,1	8,5	2,2	7,3	4,3
1,375	6,6	4,9	10,0	2,2	6,8	6,1
1,227	10,0	8,3	11,9	5,2	10,0	8,0
1,75	13,1	11,9	13,1	3,8	6,6	7,2

Геометрический размер пятен рассеяния, мкм



Рис. 3. Внешний вид узкоугольного гиперспектрального измерителя

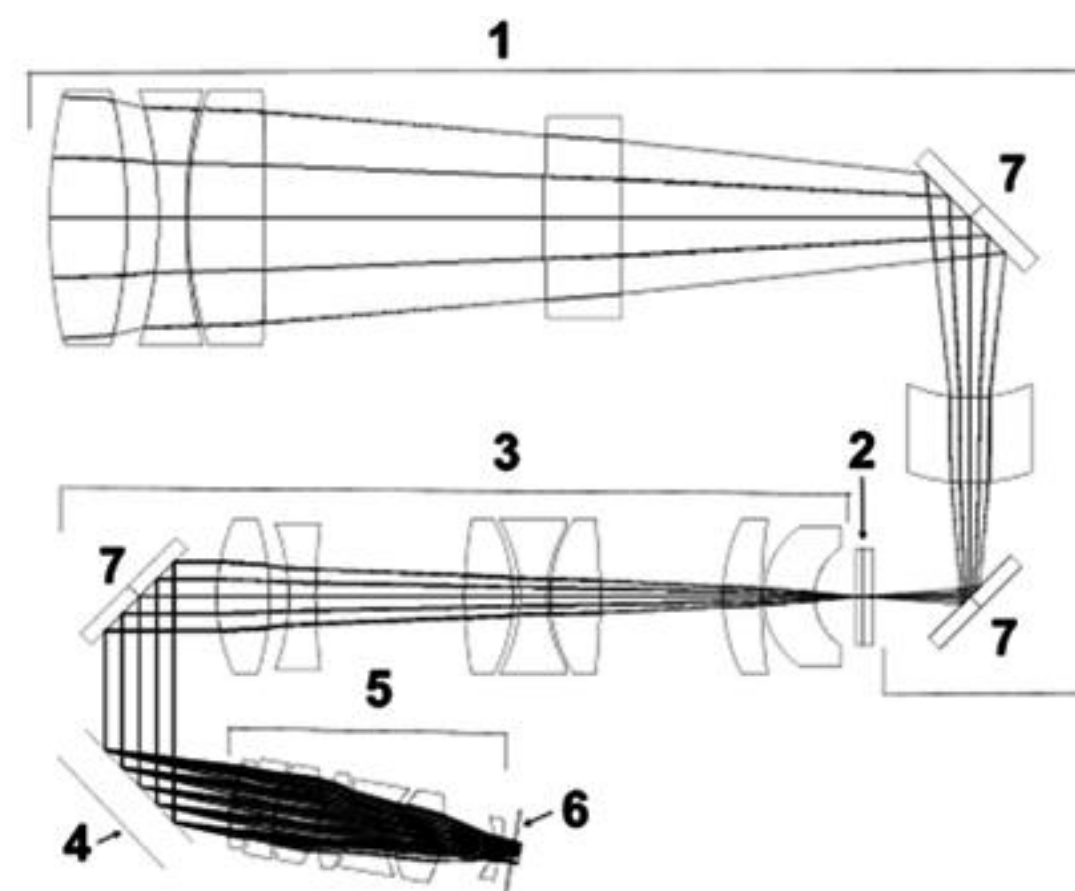


Рис.1. Оптическая схема узкоугольного гиперспектрального измерителя

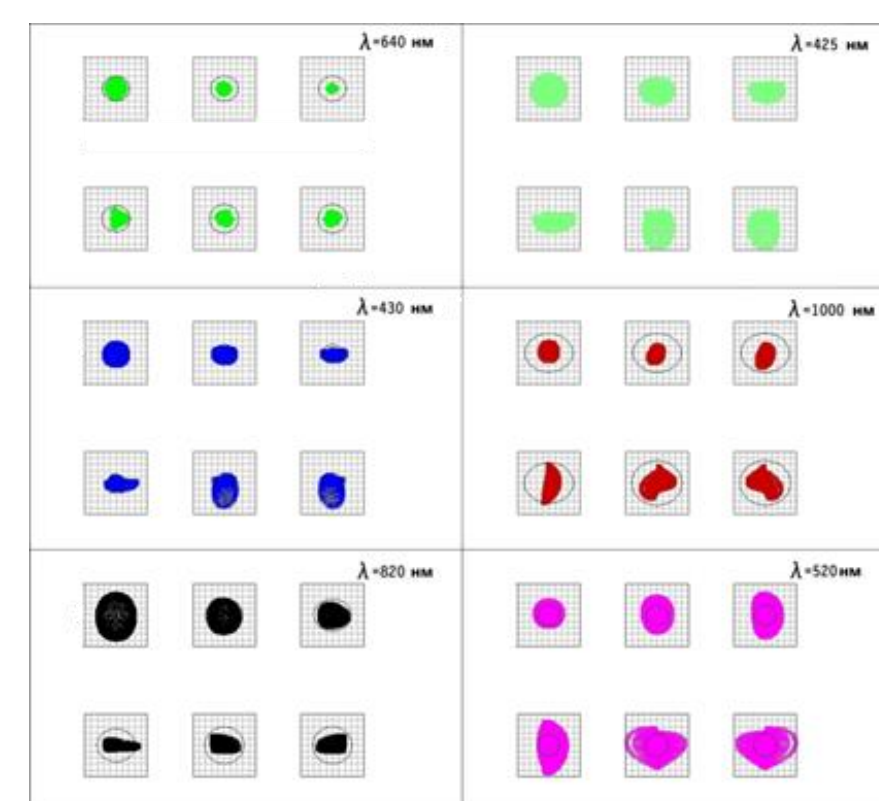


Рис. 2. Диаграммы пятен рассеяния для мгновенного поля зрения прибора

Тактико-технические характеристики гиперспектрального измерителя

Наименование параметра	Значение
Спектральный диапазон, нм	430-900
Угол поля зрения, град	4
Ширина спектральных каналов, нм	1,2
Число спектральных каналов	980
Геометрический размер пиксела с высоты 1000м, м	0,05
Масса, кг	4,5

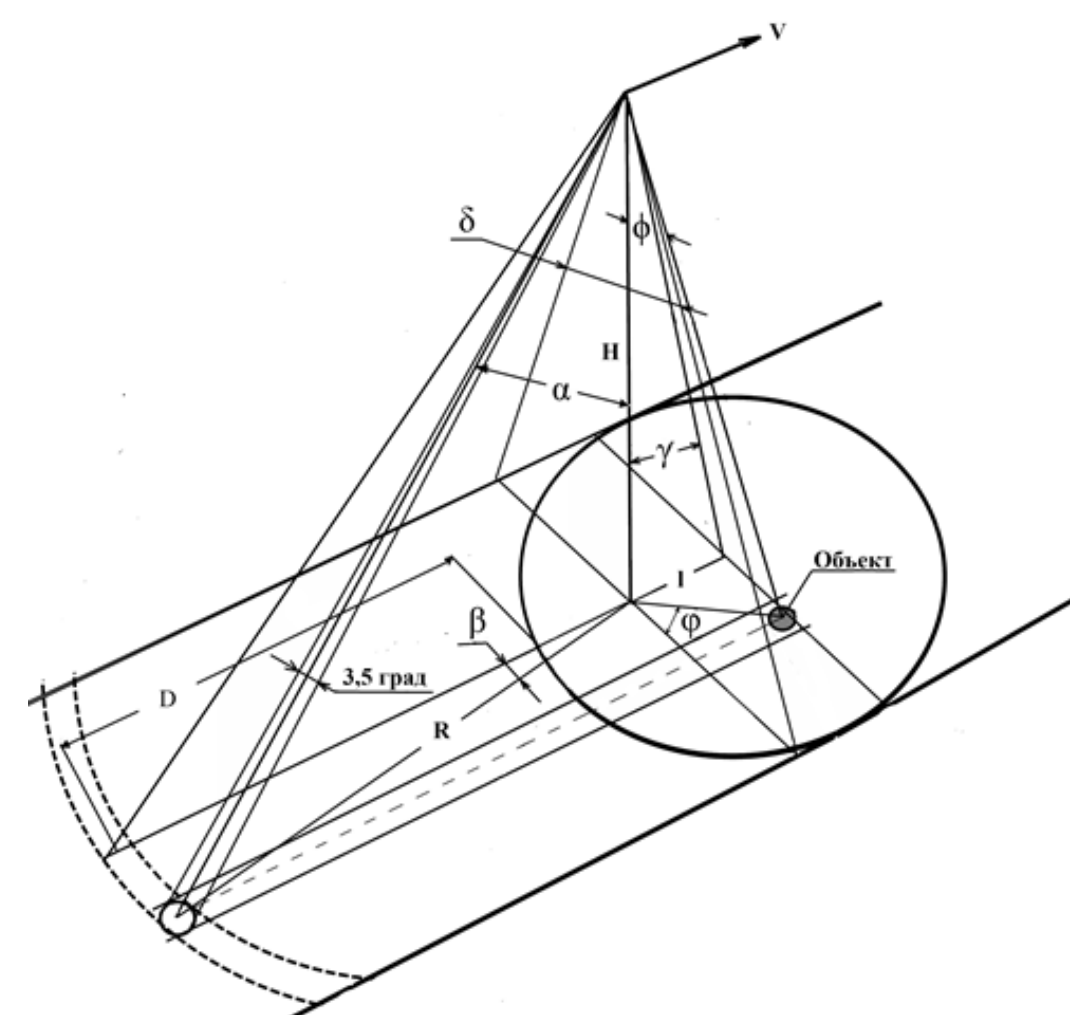


Рис. 4. Схема, поясняющая работу устройства наведения: β – угол поля зрения широкоугольного сенсора), H – высота полета носителя, V – скорость носителя

Минимально допустимое расстояние D между обнаруженным с помощью ШУС объектом и пятном на земной поверхности (см. рис. 3) определяется скоростью полета носителя, временем, необходимым для обнаружения объекта $t_{об}$ и минимальным временем t_s , необходимым для уверенного наведения УГИ на трек, проходящий через объект исследования.

$$D = V \cdot (t_{об} + t_s) = R - H \cdot \tan \frac{\delta}{2} + l,$$

где $l = H \cdot \tan \gamma, R = H \cdot \tan \alpha.$

При известных значениях скорости носителя V , высоты его полета H , требуемых величинах $t_{об}$ и t_s и значениях углов δ и γ из приведенных выше формул можно рассчитать установочный угол α .

$$\alpha = \arctg \left(\frac{V \cdot (t_{об} + t_s)}{H} + \tan \frac{\delta}{2} - \tan \gamma \right).$$

Очевидно, что УГИ выполняет роль своеобразной «лупы», позволяя детально рассмотреть исследуемый малоразмерный объект или участок зондируемой поверхности. В обоих случаях полученная гиперспектральная информация может использоваться при реализации процедур контролируемой классификации.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ УЗКОУГОЛЬНОГО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ

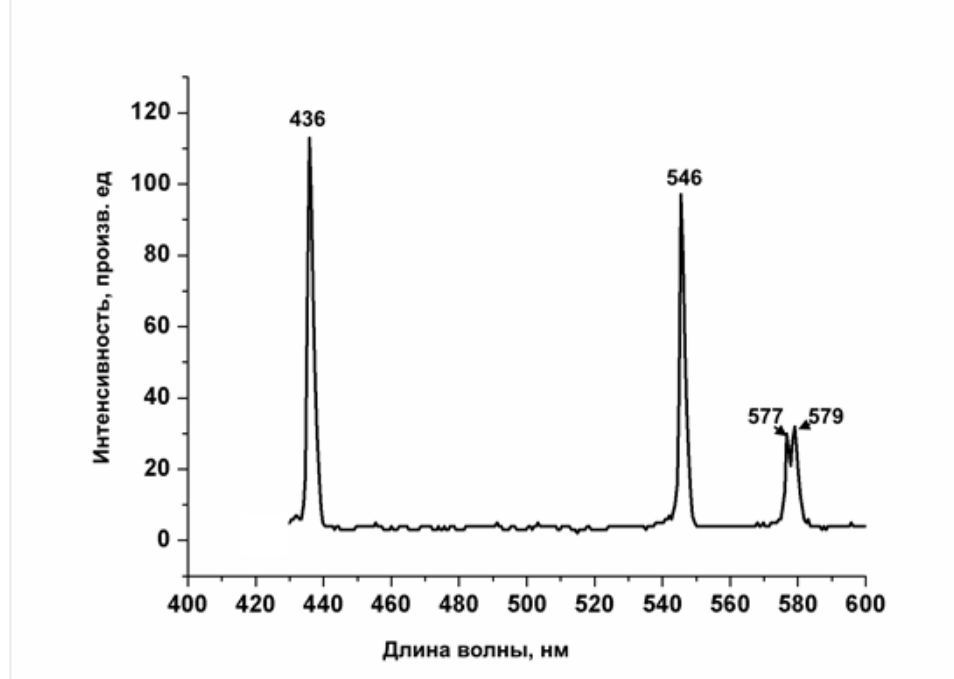


Рис. 5. Спектр ртутной лампы, измеренный гиперспектральным измерителем

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ



Рис. 6. RGB-изображение городского пейзажа, полученное гиперспектральным измерителем

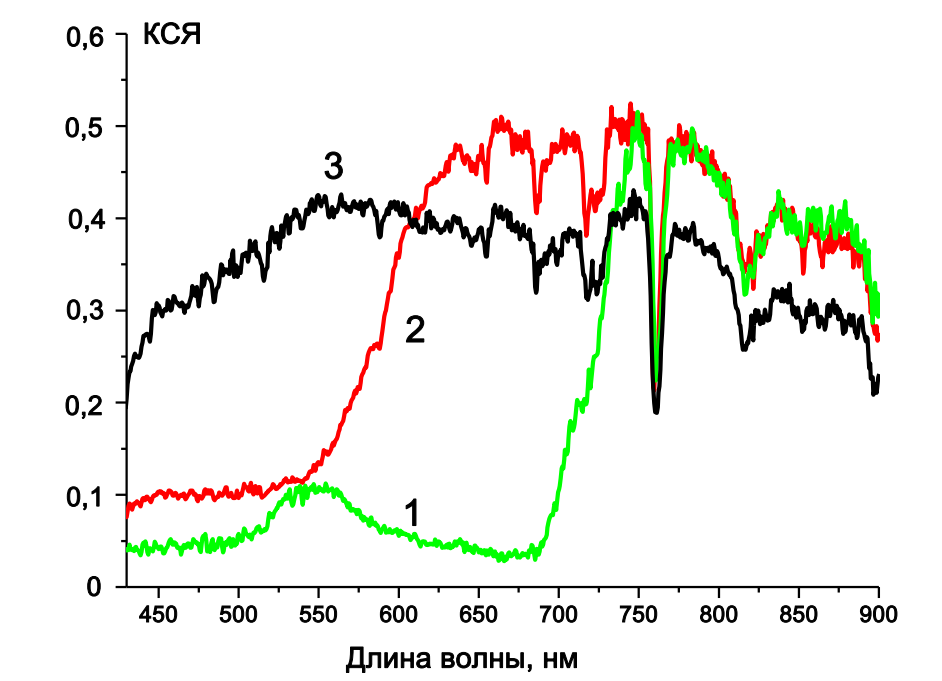


Рис. 7. Графики КСА для участков 1-4, показанных на рис. 6

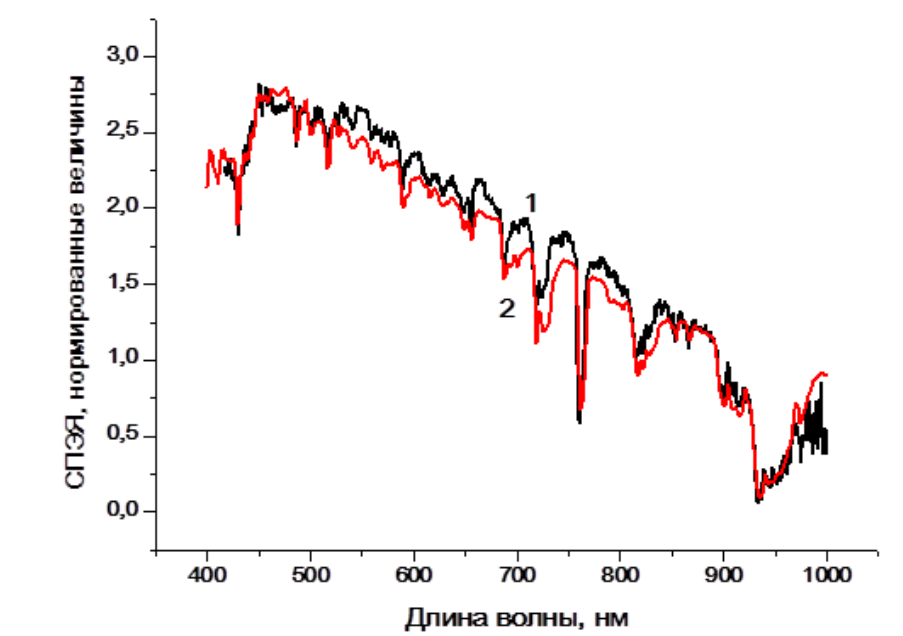


Рис. 8. Графики СПЭЯ небосвода: 1 – измерения, выполненные с помощью УГИ; 2 – спектр, рассчитанный по модели MODTRAN

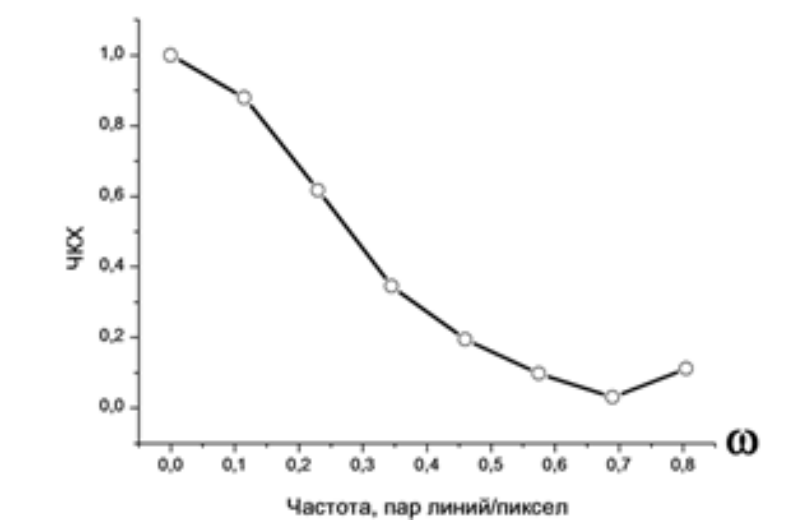


Рис. 9. График ЧКХ гиперспектрального измерителя, полученный с использованием метода наклонного края, для фрагмента изображения, показанного на врезке (см. рис. 6).

Линейный размер объекта r разрешаемый гиперспектральным измерителем с заданным уровнем контраста, определяемого по ЧКХ, вычисляется по формуле (на уровне контраста $-0,4$):

$$r = \frac{R \cdot d}{f \cdot \omega} = \frac{1000 \cdot 5,5 \cdot 10^{-6}}{0,138 \cdot 0,32} = 0,124 \text{ м.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Разработанный ЗАО «НТЦ «Реагент» узкоугольный гиперспектральный измеритель обладает высоким пространственным (12 см на дальности 1 км) и спектральным (менее 1,5 нм в спектральном диапазоне 430 – 900 нм) разрешением. Совместная работа гиперспектрального измерителя, широкоугольного сенсора и устройства наведения на борту летательного аппарата создает уникальные возможности для получения детальных изображений малоразмерных объектов и их идентификации в пределах широкой виртуальной полосы обзора, задаваемой широкоугольным сенсором. Кроме того, высокая детальность гиперспектральных изображений позволяет обеспечивать надежную классификацию объектов земной поверхности после выполнения процедуры кластеризации, не прибегая к использованию данных наземных тестовых измерений. Лабораторные и натурные эксперименты, проведенные с узкоугольным гиперспектральным измерителем, доказали правильность заложенных при его проектировании технических решений и возможность получения гиперспектральной информации с заданными характеристиками