

**О ВОЗМОЖНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ
НАЗЕМНЫМИ ОПТИКО - ЭЛЕКТРОННЫМИ СТАНЦИЯМИ
В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ**

к.т.н. А.М. Резниченко, И.И. Мишура
(представил д.т.н., проф. Н.Г. Доля)

Проведен краткий анализ возможности наблюдения космического аппарата в инфракрасной области спектра с использованием современного приемника излучения на матрице диодов Шоттки.

Оптические наземные средства широко применяются для наблюдения космических объектов (КО) в задачах контроля космического пространства, изучении среды «космического» мусора и астероидно - кометной опасности. В основном это телевизионные средства, работающие в видимом диапазоне и принимающие отраженный от КО поток солнечного излучения. Такие системы могут работать в сумеречное время, когда сигнал от наблюдаемого объекта превышает фон неба (космический объект подсвечен Солнцем, а станция наблюдения находится в "тени" Земли).

Ряд задач, в число которых входит наблюдение приоритетных космических аппаратов (КА), потенциально опасных КА (например, КА с ядерными энергетическими установками на борту), а также аварийных КА, требует постоянного контроля как параметров движения этих объектов так и состояния «борта» КА. Эти задачи можно решить, комбинируя наблюдения КА в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах длин волн. Наблюдения в ИК диапазоне основаны на обнаружении и сопровождении телескопом оптико - электронной станции КА, обладающего тепловым контрастом на фоне неба. КА в это время не обязательно должен находиться на Солнце. При этом в отличие от видимого диапазона тепловой контраст обеспечивается как внешними факторами (нагревом за счет прямого солнечного излучения на освещенной части орбиты, солнечного излучения, отраженного от Земли, а также собственного теплового излучения Земли), так и внутренними, обусловленными отводом тепла от работающей на борту КА аппаратуры.

Долгое время вопрос наблюдения КА в ИК диапазоне оставался открытым, в первую очередь из-за нерешенности технических проблем создания высокочувствительных приемников, в особенности матричных, для траекторных измерений. В последнее десятилетие технические до-

стижения в области создания приемников ИК диапазона позволяют утверждать о возможности таких наблюдений, а последствия человеческой деятельности в космосе делают их достаточно актуальными.

Имеющийся на сегодняшний день опыт ИК наблюдений КА [1, 2] утверждает об использовании для этого диапазонов 3-5 и 8-12 мкм, где находятся окна прозрачности атмосферы. Более предпочтительным, по мнению авторов [3, 4], представляется диапазон 8-12 мкм. Данные утверждения основываются на оценках средней температуры поверхности КА, составляющей величину около 300 К. Максимум теплового излучения таких объектов на основании закона смещения Вина приходится на длину волны около 10 мкм. Реальный диапазон колебания температуры корпуса КА составляет в среднем 270-310К за счет применения активных методов стабилизации температуры (применение радиаторов охлаждения, а также изменение площади радиаторов). Существенные колебания температуры 244-383К наблюдаются для панелей солнечных батарей. Для КА, оснащенных бортовыми радиолокаторами и источниками энергообеспечения мощностью в несколько киловатт [5] следует ожидать нагрева оболочки в местах сброса тепла до 350-400 К. Наибольшим нагревом обладают КА, оснащенные ядерными энергетическими установками, температура участков их поверхности может достигать 400-500 К. Приведенные типы КА, как правило, обладают существенными размерами (площадь поверхности до 30 м² и более), что облегчает их наблюдение. Общее количество КА этих типов не так велико, но в основном именно они являются интересующими нас объектами наблюдений.

С другой стороны, анализ характеристик инфракрасных приемников на 3-5 и 8-12 мкм говорит о лучшей чувствительности приемников диапазона 3-5 мкм (рис.1). Дополнительным аргументом в пользу их использования являются невысокая для такого класса задач цена и возможность их приобретения.

Современные приемники излучения на основе ПЗС - матриц могут обеспечить достаточную пороговую чувствительность для приема теплового излучения КА в диапазоне 3-5 мкм. Наиболее применим для этих целей приемник на основе **PtSi** (фотодиодов Шоттки). Приемник представляет собой матричный кремниевый монокристаллический прибор с зарядовой связью и фотодиодной чувствительной секцией. Характерной особенностью для приемников Шоттки, является то, что малая величина квантового выхода при работе в режиме накопления заряда может быть скомпенсирована увеличением времени накопления сигнала. Особенно это важно в приемных устройствах, работающих в телевизионном стандарте и в условиях приземного фона [6]. Другим достоинством данного приемника является то, что он обладает в настоящее время наилучшей равномерностью чувствительности среди существующих многоэлементных приемников излучения. Характеристики матрицы ФПЗС200м фото-

диодов Шоттки, серийно выпускаемой Санкт-Петербургским предприятием «Электрон-Оптроникс», приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики приемника ФПЗС200м

Количество элементов	256(H) × 290(V)
Размер элемента	50(H) × 33(V) мкм
Рабочая температура	80K
Диапазон спектральной чувствительности	2-5.3 мкм
Пороговая чувствительность	Не хуже 1×10^{-12} Вт
Время накопления излучения	37.6 мс

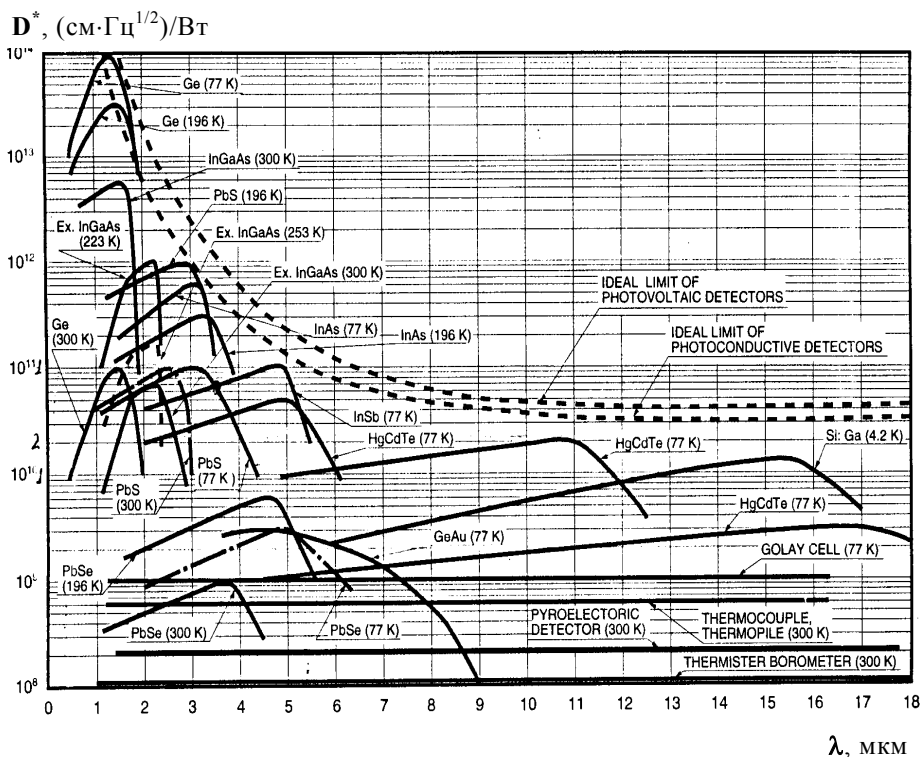


Рис. 1. Спектральные характеристики приемников разных типов

Возможность наблюдения ИК - системой в диапазоне 3-5 мкм может быть оценена на основании выражения для отношения сигнал-шум [7]:

$$\frac{S}{N} = \tau_a(\lambda) \cdot \tau_{\text{пр}}(\lambda) \frac{D^* \cdot S_{\text{КА}} \cdot S_{\text{ОБ}}}{d^2 \cdot \sqrt{A_d \cdot \Delta f}} \left[\varepsilon_{\text{КА}} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{\lambda, T_{\text{КА}}} d\lambda + \varepsilon_3 K \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{\lambda, T_3} d\lambda \right], \quad (1)$$

где D^* - удельная обнаружительная способность приёмника, (см·Гц^{1/2})/Вт; A_d - площадь чувствительного элемента приёмника; Δf - полоса пропускания приёмника; $\tau_a(\lambda)$, $\tau_{\text{пр}}(\lambda)$ - коэффициенты пропускания атмосферы и оптического тракта соответственно; $S_{\text{КА}}$ - площадь излучения КА в сторону приемного устройства; d - расстояние от КА до приемника излучения; $\varepsilon_{\text{КА}}, \varepsilon_3$ - коэффициент излучения КА и коэффициент отражения излучения Земли; $r_{\lambda, T_{\text{КА}}}, r_{\lambda, T_3}$ - спектральные плотности мощности излучения в диапазоне $\lambda_1 \div \lambda_2$ мкм КА и Земли в зависимости от T ; $K = (R_3 / (R_3 + H))^2 / (1 - (R_3 / (R_3 + H)))^2$ - коэффициент, учитывающий ослабление потока собственного излучения Земли в зависимости от высоты орбиты КА [8]; R_3 - радиус Земли; H - высота орбиты космического аппарата.

На основании выражения (1) в диапазоне 3-5 мкм проведены расчеты для матричного приемника ФПЗС200м, установленного в фокусе оптической системы с параметрами: диаметр объектива $D_{\text{ОБ}} = 0.5$ м, фокусное расстояние $F_{\text{ОБ}} = 2.5$ м, коэффициент пропускания оптического тракта $\tau_{\text{пр}} = 0.5$. Удельная обнаружительная способность приёмника в такой оптической системе составляет $D^* \approx 1 \times 10^{10}$ (см·Гц^{1/2})/Вт. На рис. 2 построена зависимость изменения отношения сигнал-шум от различных площадей излучения КА при температуре внешней оболочки $T_{\text{КА}} = 300$ К.

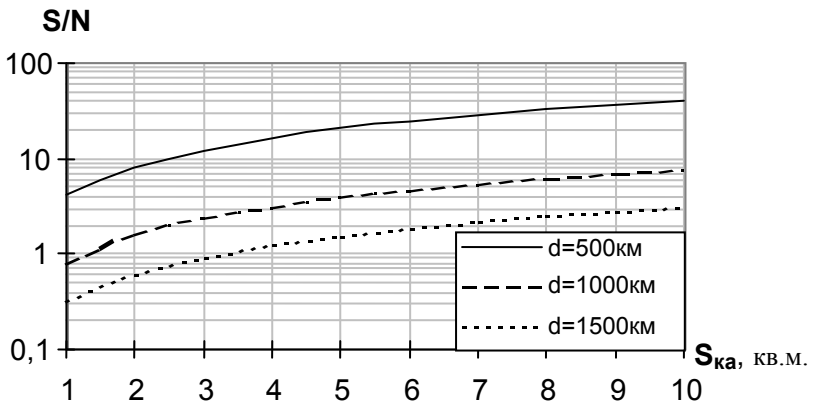


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал/шум от площади излучения КА

Необходимо заметить, что выражение (1) справедливо для КА, находящегося в тени Земли и учитывает собственное излучение КА за счет тепла, выделяемого при работе бортовой аппаратуры и системы терморегулирования, а также отраженное от КА собственное тепловое излучение Земли. В общем случае необходимо также учитывать и нагрев внешней обшивки КА при нахождении его на Солнце. Тогда начальная температура внешней обшивки КА в момент захода его в "тень" Земли будет значительно выше. С учетом этого и величину отношения сигнал-шум в ИК системе следует ожидать большей. На рис. 3 представлена зависимость отношения сигнал-шум от температуры нагрева КА с площадью излучения в сторону телескопа ИК системы 3 м^2 для оптической системы с приведенными выше параметрами.

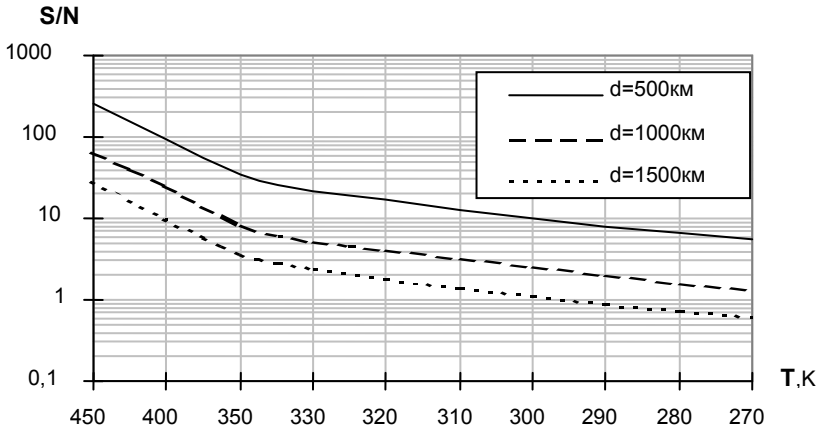


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал/шум от температуры нагрева обшивки КА

Для наблюдения КО оптико - электронной системой достаточным считается величина отношения сигнал/шум лучше 3-5. При рассматриваемом математическом подходе из рисунков 2-3 следуют следующие выводы. При характеристиках ИК системы, приведенных выше, представляется возможным наблюдение КА на участках орбиты, проходящих через тень Земли, удаленных от наземной ИК станции на расстояние 500-1500 км, при условии нагрева оболочки КА до температур $T_{КА} \approx 300 \text{ К}$ и площади нагретой части обшивки, наблюдаемой телескопом более 1 м^2 . Наилучшие условия для наблюдения имеются для КА на дальностях 500-1000 км с наблюдаемой площадью поверхности более 4 м^2 . При разогре-

ве наблюдаемой части оболочки площадью 3 м^2 до температуры 450К и последующем ее остывании до 310К (например, перед входом в зону "тени" Земли и при движении в зоне) КА наблюдаем на удалениях до 1200 км, что для высоты полета 700 км обеспечивается при углах возвышения КА над горизонтом около 30° .

Для более полного расчета возможностей и условий наблюдения космических аппаратов в инфракрасном диапазоне необходим строгий учет навигационно - баллистических условий полета и фоновых (шумовых) составляющих атмосферы и телескопа. Разумеется, их вклад может ухудшить возможности наблюдения космических аппаратов в инфракрасном диапазоне. Компенсация этого вклада состоит в принятии специальных мер, состоящих в минимизации шумовой составляющей в аппаратурном решении ИК системы и обеспечении режимов наблюдения космических аппаратов, позволяющих накапливать полезный сигнал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронов Ю.Н., Андрианов Ю.Г. Инфракрасная техника и космос. – М.: Сов. радио, 1978. – 298 с.
2. Гришин Е.А., Миловидов В.Л., Шаргородский В.Д. Фотометрия излучения ОС "Мир" в спектральном диапазоне 8-12мкм // Космические исследования. – 1996. – Т.34, № 6. – С. 613 - 617.
3. Ллойд Дж. Системы тепловидения: Пер. с англ. – М: Мир, 1978. – 352 с.
4. Хадсон Р. Инфракрасные системы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 530 с.
5. Лифанов Ю.С., Саблин В.Н., Федоринов А.Н., Шапошников В.И. Направления развития современных радиолокационных средств и систем разведки наземных целей // Успехи современной радиоэлектроники. - 1998. – № 5. – С.3 - 14.
6. Богомоллов П.А., Сидоров В.И., Усольцев И.Ф. Приемные устройства ИК - систем. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.
7. Справочник по инфракрасной технике / Ред. У. Вольф, Г. Циссис. В 4-х тт. Т.4. Проектирование инфракрасных систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999. – 472 с.
8. Гончаров С.А. Теоретические основы и методы исследования квантово-оптических устройств. Ч.4. Оптические измерительные приборы, инфракрасные системы и цифровые телевизионные системы. Учебное пособие. – Харьков: МОУ, 1992. – 88 с.

Поступила в редколлегию 1.03.2001