

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ФИЛЬТРУ ДАТЧИКА СОЛНЕЧНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

Михаил Владов<sup>1</sup>, Георги Сотиров<sup>2</sup>, Дмитрий Добров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Молдова, Кишинев, «Comelpro» SRL,  
e-mail: office@comelpro.com

<sup>2</sup>Институт космических исследований и технологий – Болгарской академии наук  
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

*Ключовые слова:* Энергетический расчет, фильтр, датчик солнечной ориентации

*Резюме:* В данной статье рассматривается энергетический расчет и определение требований к фильтру датчика солнечной ориентации, в котором в качестве приемника излучения используется ПЗС-линейка.

## ENERGY CALCULATION AND DETERMINATION OF REQUIREMENTS TO FILTER OF SENSOR FOR SOLAR ORIENTATION

Mihail Vladov<sup>1</sup>, Georgi Sotirov<sup>2</sup>, Dmitrii Dobrov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moldova, Chisinau  
e-mail: office@comelpro.com

<sup>2</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: gsotirov@space.bas.bg

*Keywords:* Energy calculation, filter, sensor for solar orientation

*Abstract:* This article discusses the energy calculation and determination of requirements to filter of solar orientation sensor, where in the radiation detector uses a CCD line.

### Введение

В данной статье рассматривается энергетический расчет и определение требований к фильтру датчика солнечной ориентации (ДСО), в котором в качестве приемника излучения используется ПЗС-линейка. По принципу построения такой датчик можно отнести к датчикам с кодирующей маской, которая обеспечивает определение направления на Солнце. Угловые координаты излучателя, в нашем случае Солнца, оцениваются по положению элемента ПЗС-линейки с максимальной амплитудой. Работа базируется на исследованиях изложенных в [1, 2].

### Описание работы ДСО

Предлагаемое техническое решение ДСО также как и изделие – прототип основывается на использовании в качестве чувствительного элемента ПЗС-линейки. Главное отличие заключается в использовании только одной ПЗС-линейки, благодаря применению специальной щелевой матрицы.

Внешний вид макета солнечного датчика представлен на рис. 1. Конструктивно ДСО представляет собой моноблок, в котором на общем основании расположены электронные модули и оптическая головка.

Оптической головкой мы называем часть фотоприемного устройства, состоящую из ПЗС-линейки и кодирующей маски, объединенных в общий корпус.

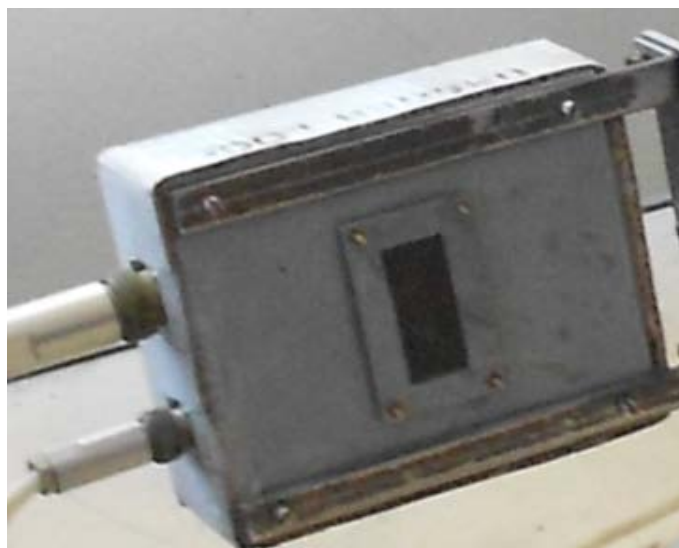


Рис. 1. Макет солнечного датчика

Поскольку кодирующая маска является элементом, который обеспечивает поле зрения прибора и существенным образом влияет на его точность, особое внимание при конструировании прибора уделено геометрическому расчету кодирующей маски и оптической головке в целом. Схема кодирующей маски представлена на рисунке 2.

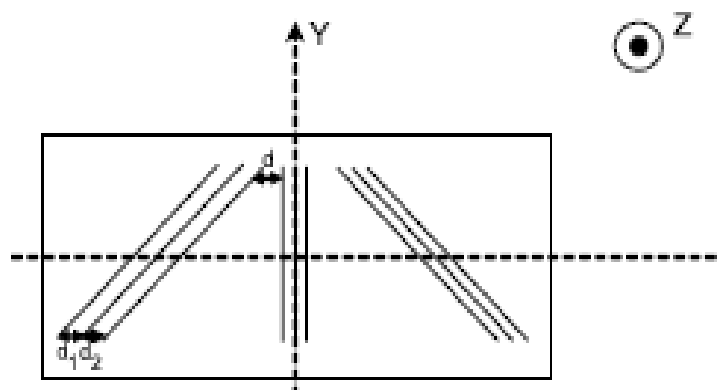


Рис. 2

Кодирующая маска представляет собой прямоугольную призму, выполненную из радиационно стойкого оптического стекла с нанесенными на него светонепроницаемым покрытием. Покрытие имеет девять прозрачных щелей, объединенных в три группы и расположенных веерообразно. Крайние группы щелей образуют с центральной группой угол  $45^\circ$ . Троирование щелей обеспечивает надежность работы прибора.

Ширина щелей была подобрана таким образом, чтобы обеспечить колоколообразную форму сигнала на приемнике. При значениях этого параметра больше оптимального у сигнала от щели наблюдается плоская вершина, которая приводит к потере точности при определении координаты энергетического центра изображения щели.

#### **Определение геометрических параметров ОСД**

Для проведения энергетического расчет необходимо сначала уточнить формирование солнечного пятна на ПЗС линейке с учетом геометрии распространения солнечных лучей через щели датчика. Схематически поясняющая схема представлена на рисунке 3

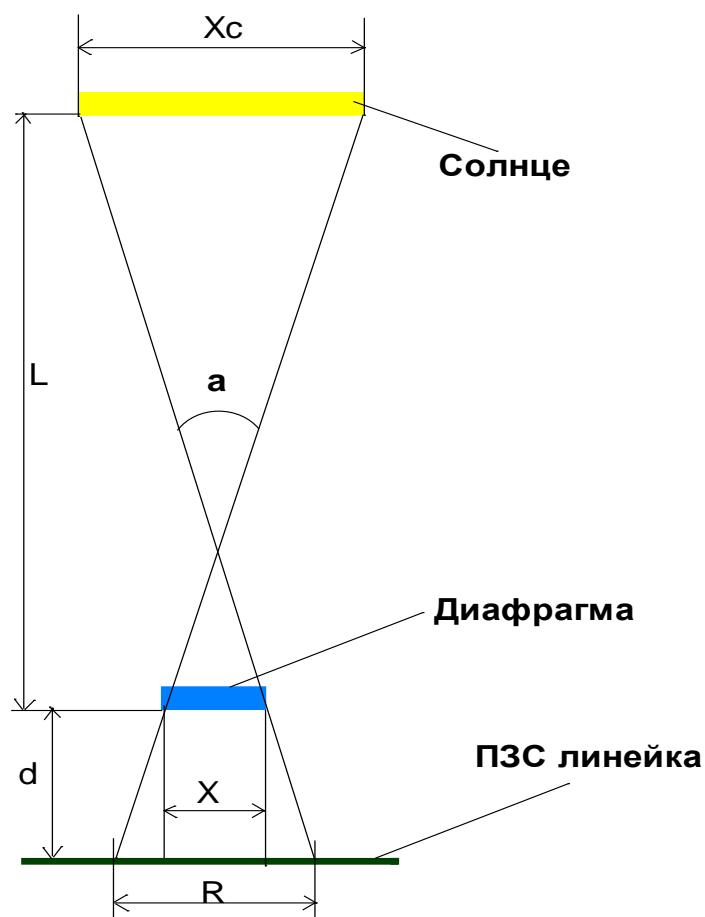


Рис. 3

Где:  $\alpha \approx 32'$  - видимый угловой размер солнечного диска;  
 R – область, освещаемая Солнцем;  
 d - расстояние от линейки (матрицы) ПЗС до диафрагмы (щели);  
 X – ширина щели;  
 Xc – ширина имитатора Солнца;  
 L – расстояние между имитатором Солнца и диафрагмой.

На основании данных рисунка 3 можно легко показать, что соотношение между параметрами представленной конфигурации определится простым выражением:

$$(1) \quad R = 2 \left( \frac{X}{2} + d \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$(2) \quad d = \frac{R - X}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

Исходя из вышеизложенного при  $X=200$  мкм,  $R=270$  мкм (19 элементов линейки с размерами  $14 \times 14$  мкм) получим:  $d \approx 7,5$  мм. Следует отметить, что возможная конфигурация хода лучей, соединяющих край диска Солнца, край щели и попадающий на средние элементы

линейки. Альтернатива состоит в том, что эти лучи могут пересекаться. Конкретная конфигурация зависит от соотношения определяемых выше параметров датчика.

Форма полезного сигнала, формируемого щелью маски (по одной координате), представлена на рисунке 4. Для того чтобы определить количественные соотношения между отсчетами необходимо смоделировать процесс формирования для двух координат.

Q1 – Q4 – отсчеты сигнала в чувствительных элементах ПЗС линейки (Q1 и Q4 – крайние элементы, Q2 и Q3 промежуточные);

$\Delta$  - шаг линейки (матрицы, размер элемента разрешения).



Рис. 4

Для обеспечения видимого углового размера солнечного диска необходимо в соответствии с рисунком 3 (позаимствован из [1]), при разработке солнечного датчика на базе ПЗС матриц подобрать правильное соотношение параметров  $X$ ,  $X_c$ ,  $L$  с учетом следующей формулы:

$$(3) \quad \alpha = 2 \times \arctg \frac{(X_c + X)}{2 \times L}$$

Где:

$X$  – ширина щели;

$X_c$  – ширина имитатора Солнца;

$L$  – расстояние между имитатором Солнца и диафрагмой

Тогда для  $L=5$ м,  $X=0,0002$  м  $\alpha \approx 32'$  необходимо, чтобы диаметр источника света (имитатора Солнца)  $X_c=0,0464$  м

#### Расчет величины полезного сигнала

Расчет величины полезного сигнала начнем с задания рабочего диапазона длин волн (спектрального диапазона)  $\lambda_1 \dots \lambda_2$  датчика. Расчет производится по формуле из [1]:

$$(4) \quad N \frac{h \times c}{\lambda_{cp}} = S \times t_k \times \tau \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} p(\lambda) d\lambda$$

Где  $N$  – количество фотонов, попавшее на фотоприемник;

$h$  - постоянная Планка, равная  $6,62 \cdot 10^{-34}$  Js;

$c$  – скорость света, м/с;

$\lambda_{cp}$  - средняя длина волны в диапазоне  $\lambda_1 \dots \lambda_2$ ;

$S$  – площадь отверстия в диафрагме, равная  $X \times Y$ ;

$t_k$  – время накопления (кадра), с;

$\tau$  - коэффициент пропускания фильтров;

$p(\lambda)$  – спектральная солнечная постоянная, Вт/(см<sup>2</sup> · μm.).

Нашей задачей является вычисление величины  $N$ , а затем количества электронов в элементе, генерируемых под воздействием фотонов, Зададимся диапазоном  $\lambda_1 \dots \lambda_2 = 350\text{-}450 \mu\text{m}$ .

### Задача фильтра

Задача фильтра заключается в том, чтобы:

- отсеять ближнюю ИК - область во избежание нежелательного нагрева;
- выделить область синего цвета (близкую к УФ) с целью устранения возможных помех и посторонних засветок);
- подавить излишне большой сигнал.

Зададимся следующими данными:

$$\lambda_{cp} = 0,415 \mu\text{m};$$

$$S = 14 \times 270 \mu\text{m};$$

$$t_k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ s};$$

$$\tau = 0,02;$$

$$p(\lambda) = 0,0085 \text{ W/cm}^2 \text{ (в диапазоне } 350\text{-}450 \mu\text{m}).$$

Для этих условий  $N \approx 11,1 \cdot 10^{-6}$  фотонов.

В промежуточной области подсвеченных элементов линейки (за исключением 3-х крайних с каждой из сторон линейки) яркость подсветки близка к максимальному уровню. И почти вся энергия сигнала приходится в данном случае на 14 пикселей линейки.

Тогда на каждый пиксель поступает  $0,8 \cdot 10^6$  фотонов.

### Выводы

1. Для обеспечения правильной обработки оптического сигнала должны быть учтены результаты энергетического расчета системы излучатель (солнце) – приемник (ПЗС-линейка).
2. Слишком мощный оптический сигнал засвечивает изображение.
3. Слишком слабый сигнал сложно корректно зарегистрировать и обработать.
4. Для проведения измерений в области углов более  $50^\circ$  необходимы специальные алгоритмические решения.

### Литература:

1. Пашков, В. С. Солнечный датчик на ПЗС-матрице без объектива// Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов», Таруса, 2008. М. ИКИ РАН, 2009. с.104 -123.
2. Владов, М. П., Д. И. Украинцев, Р. Недков. Датчик солнечной ориентации для микроспутника// Proceedings Eighth Scientific Conference with International Participation SPACE , ECOLOGY , SAFETY, 4 – 6 December 2012, Sofia, Bulgaria, ISSN 1313-3888, pp. 231-238,