

Выпускная бакалаврская квалификационная работа
Студента 072 группы, ФУПМ, МФТИ
Григорова П.Ю.

Лабораторное исследование
характеристик солнечного датчика
на основе полупроводникового
кристалла для системы
определения ориентации
микроспутников

Научный руководитель
к.ф.-м.н. Иванов Д.С.

Содержание

- Обзор солнечных датчиков
- Постановка задачи
- Стенд для калибровочных испытаний
- Методика проведения испытаний
- Результаты экспериментов
- Заключение

Солнечные датчики

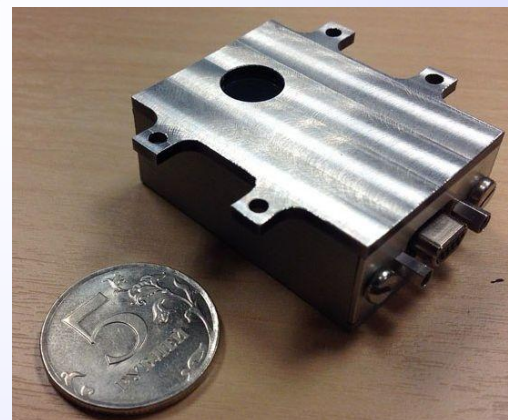
- Оптический солнечный датчик (ОСД) предназначен для определения направления на центр видимого диска Солнца.

Чувствительный элемент ОСД

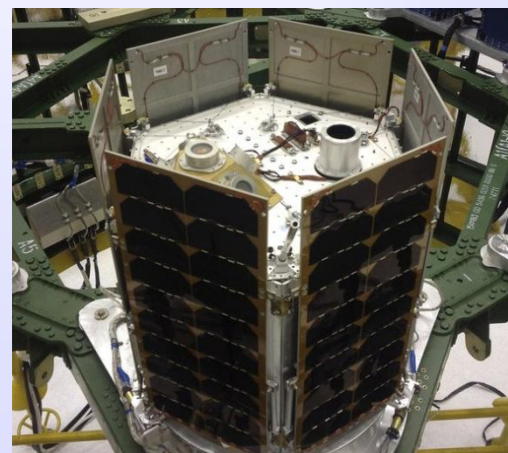
CCD Матрица

LEP-Фотодиод

QD-Фотодиод

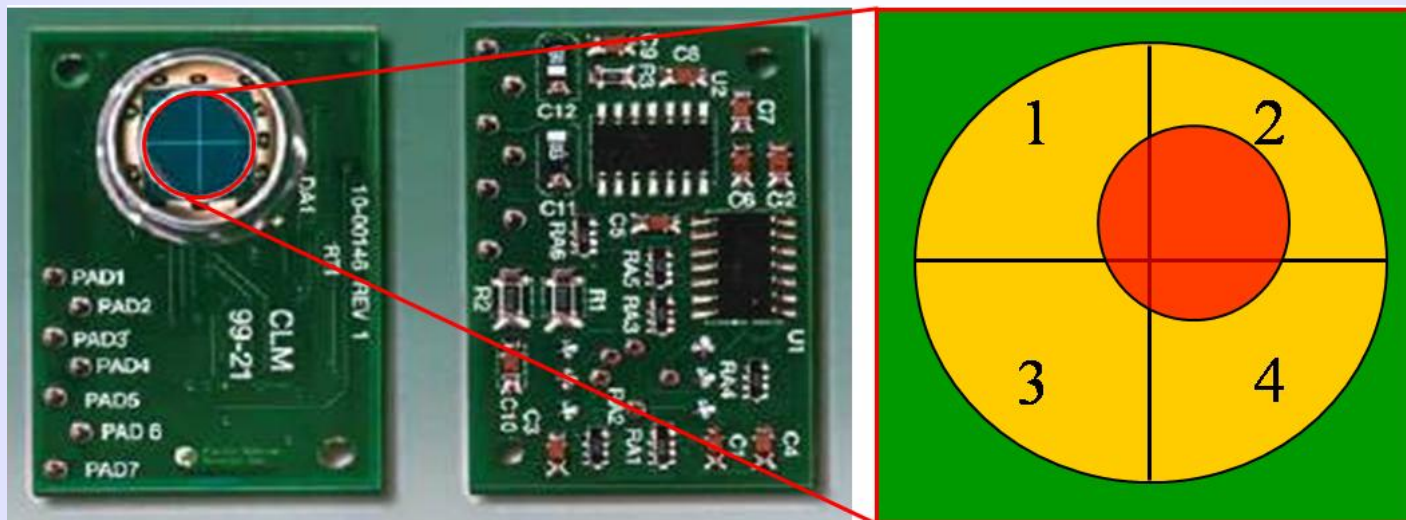


Солнечный датчик компании «Спутникс»



Первый российский частный спутник «ТаблетСат-Аврора»,
запущен 20 июня 2014 г.

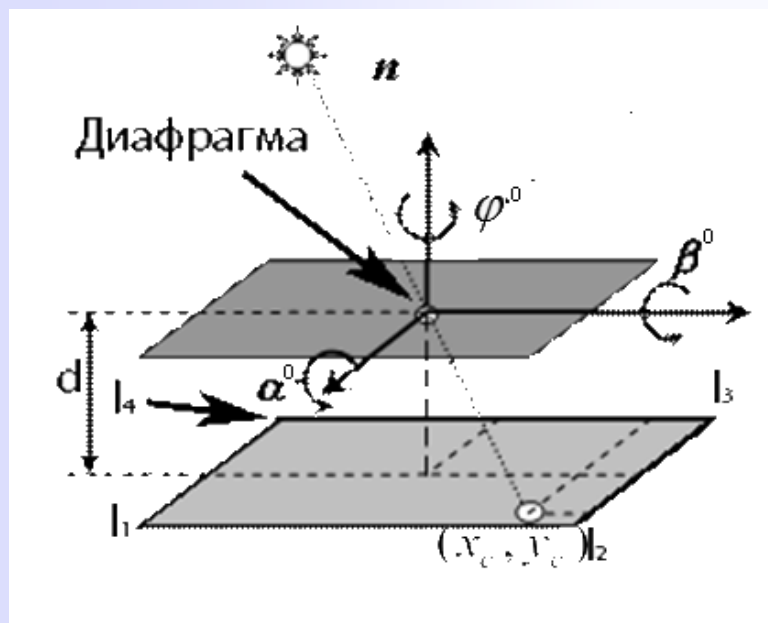
ОСД на основе QD-Фотодиода



QD (Quadrant Detector) – “Секторный Детектор”.

Определение координат центра светового пятна происходит путем сравнения выходных токов с четырех независимых секторов.

Постановка задачи



Разработать алгоритм определения характеристик солнечного датчика для системы определения ориентации спутника

Неизвестные параметры:

$$\mathbf{f} = \left[x_c^0, y_c^0, \alpha^0, \beta^0, d, \varphi^0 \right]$$

Модель измерений

Измеряемые значения токов.

$$I_1, I_2, I_3, I_4$$

Токи с учетом
корректировки

$$I_{x1} = I_1 - I_{1d} \quad I_{y1} = I_3 - I_{3d}$$

$$I_{x2} = I_2 - I_{2d} \quad I_{y2} = I_4 - I_{4d}$$

Координаты светового пятна

$$x_c = \frac{L}{2} \cdot \frac{I_{x2} + I_{y1} - I_{x1} - I_{y2}}{I_{x2} + I_{y1} + I_{x1} + I_{y2}}$$

$$y_c = \frac{L}{2} \cdot \frac{I_{x2} - I_{y1} - I_{x1} + I_{y2}}{I_{x2} + I_{y1} + I_{x1} + I_{y2}}$$

$$\begin{pmatrix} \tilde{x}_c \\ \tilde{y}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix}$$

Углы направления на Солнце

$$\alpha = \arctg \left(\frac{x_c^0 - \tilde{x}_c}{d} \right) + \alpha^0$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{y_c^0 - \tilde{y}_c}{d} \right) + \beta^0$$

Поиск характеристик

$$\mathbf{f}_0 = [x_{0c}^0, y_{0c}^0, \alpha_0^0, \beta_0^0, d_0, \varphi_0^0]$$

Начальное приближение

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \frac{[(\alpha_i - \alpha_i^0)^2 + (\beta_i - \beta_i^0)^2]}{N}$$

Функционал квадратов ошибки

$$\mathbf{f}_{k+1} = \mathbf{f}_k - H(\mathbf{f}_k) \nabla \Phi(\mathbf{f}_k)$$

Итерационный метод Ньютона

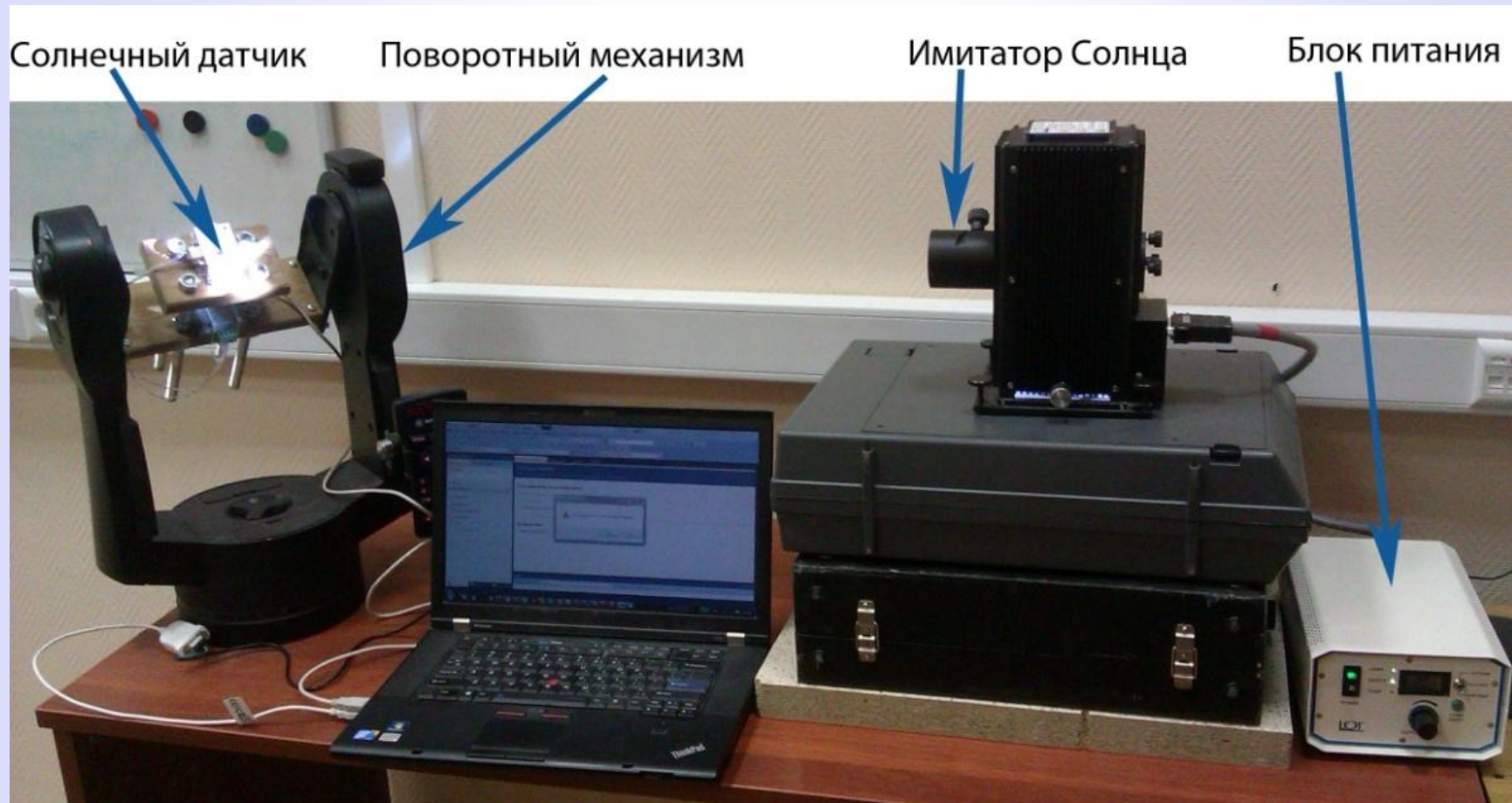
Поворотный стол



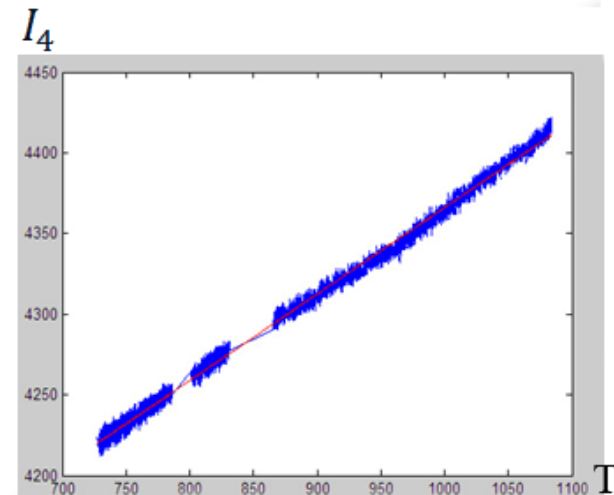
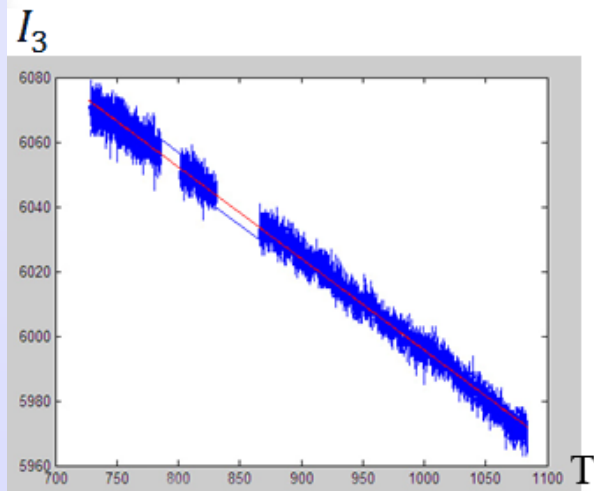
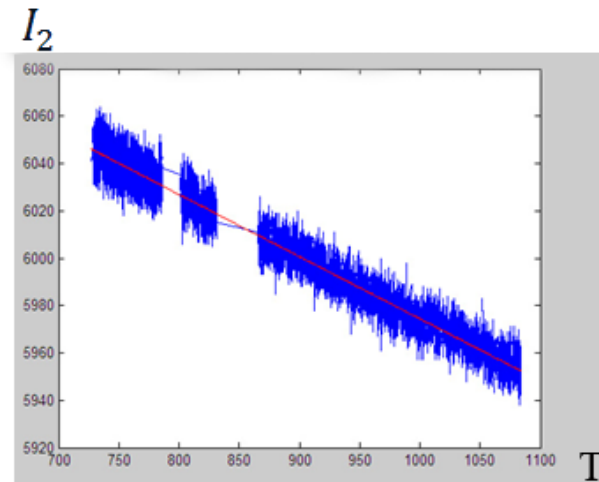
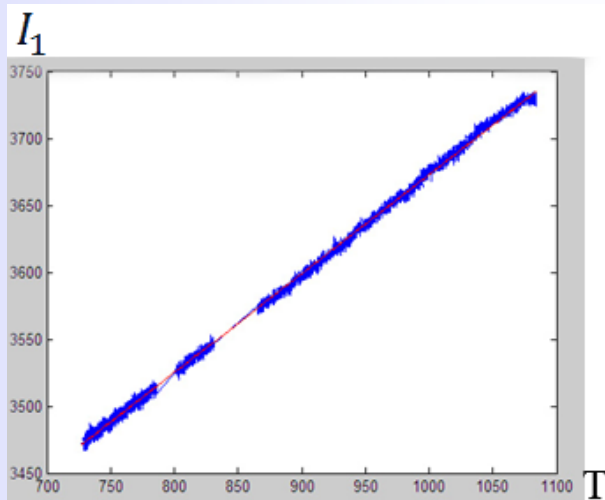
Точность поворота по каждому направлению составляет 1'.

Возможность управления с COM-порта.

Стенд для калибровки

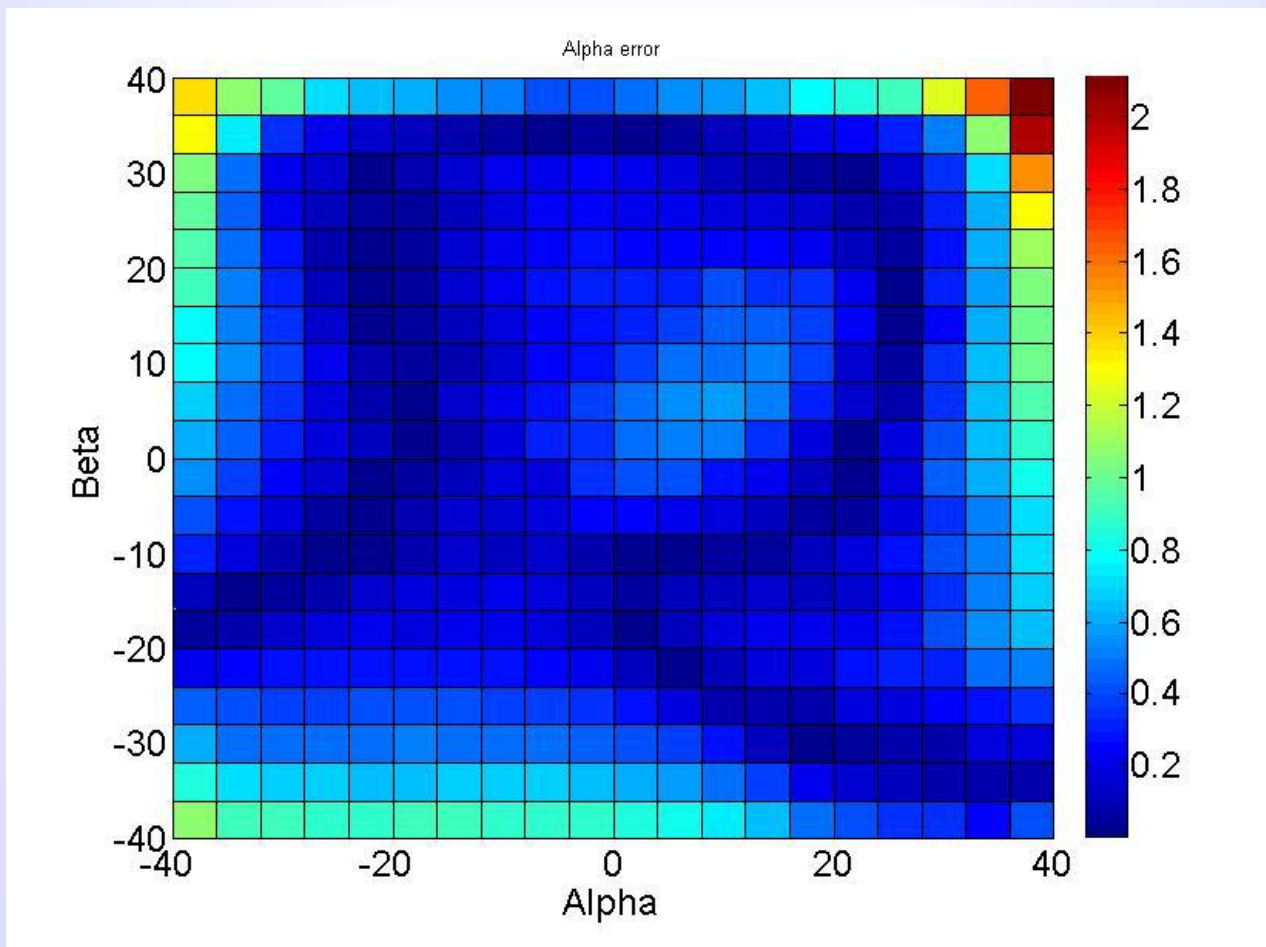


Температурная зависимость ТЕМНОВЫХ ТОКОВ



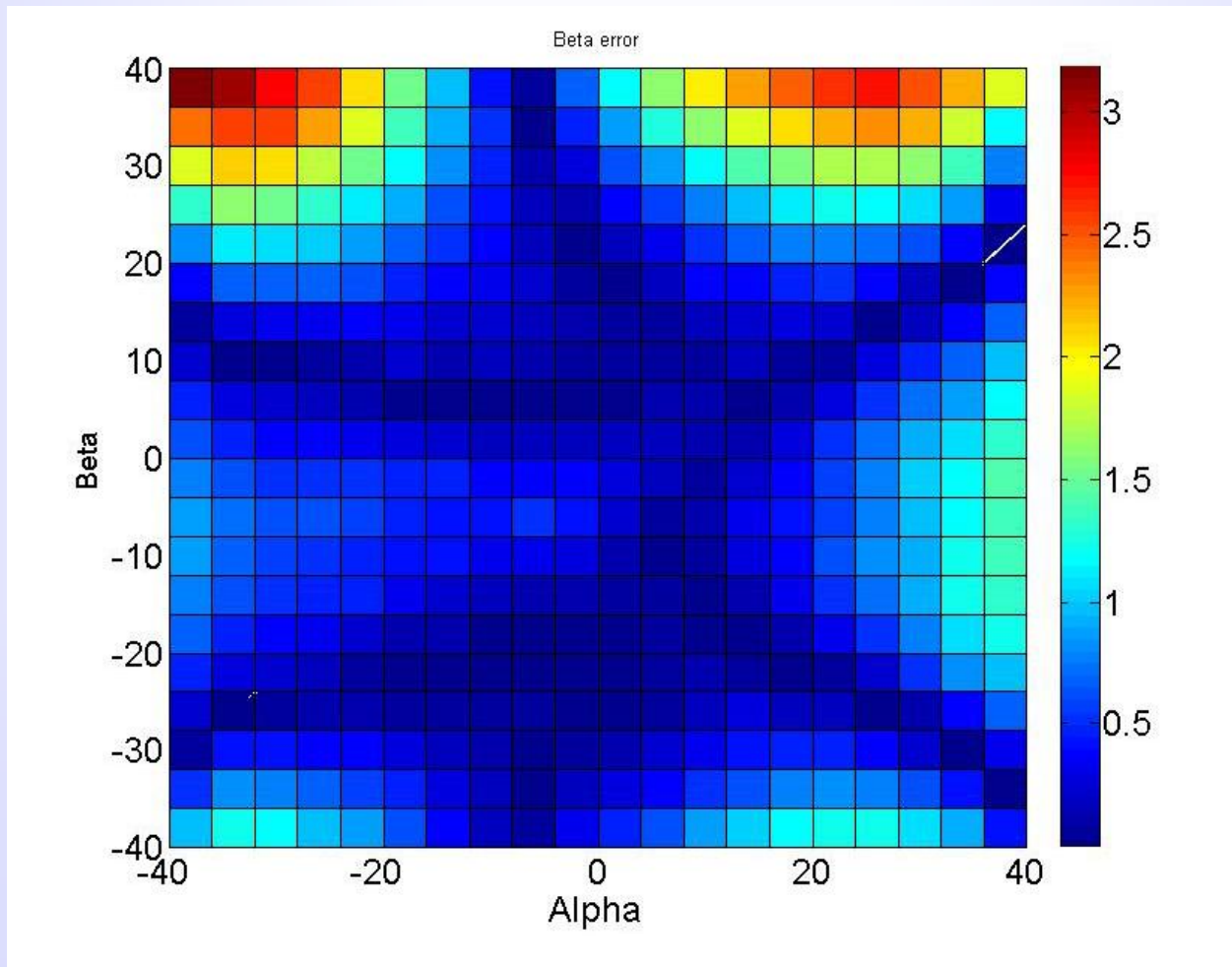
Результаты испытаний

Ошибка угла α (основная модель)



Результаты испытаний

Ошибка угла β (основная модель)



Полиномиальная модель

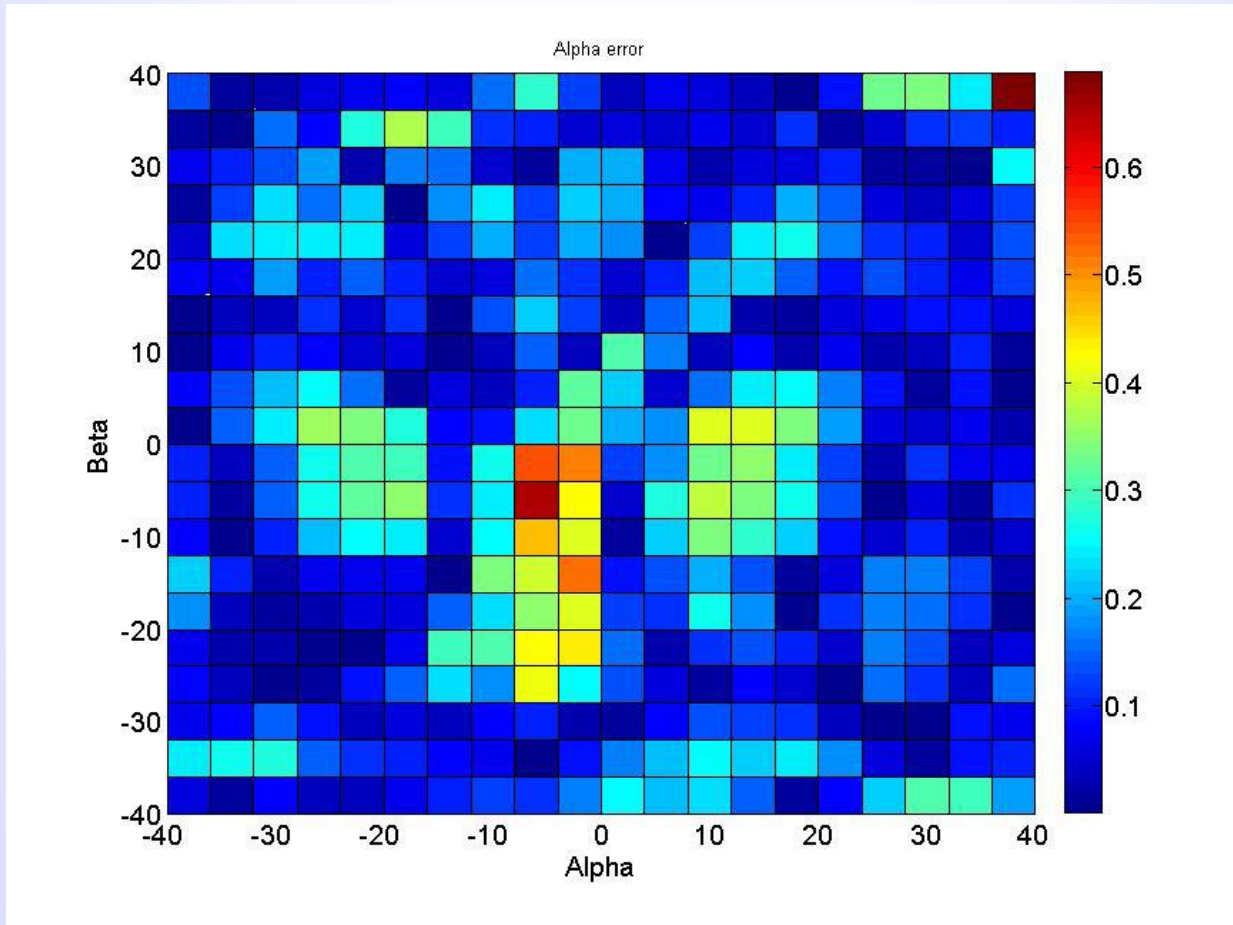
$$\alpha = \sum_{i,j=0,1,2,3,4} K_{\alpha}(i,j) x^i y^j$$

$$\beta = \sum_{i,j=0,1,2,3,4} K_{\beta}(i,j) x^i y^j$$

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \frac{\left[(\alpha_i - \alpha_i^0)^2 + (\beta_i - \beta_i^0)^2 \right]}{N}$$

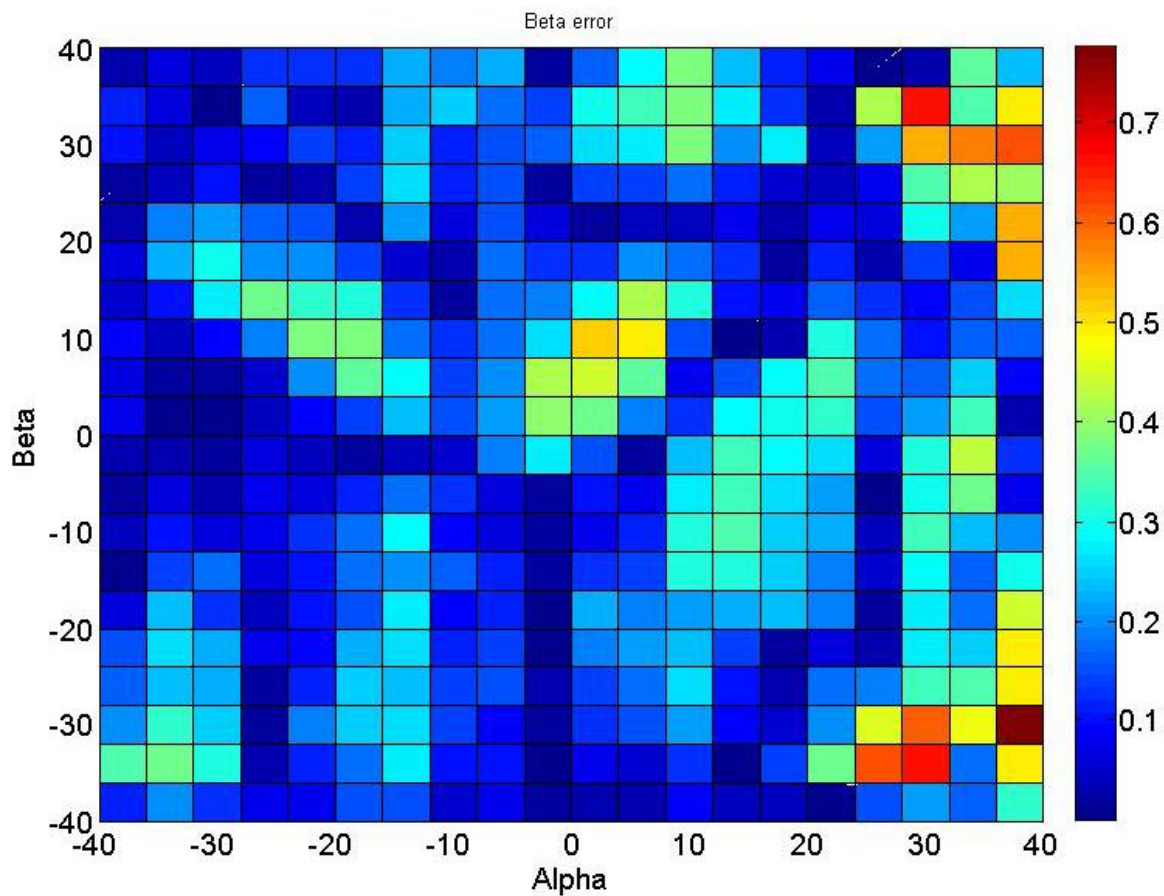
Результаты испытаний

Ошибка угла α (геометрическая модель)



Результаты испытаний

Ошибка угла β (геометрическая модель)



Факторы влияющие на погрешность

Мощность излучения имитатора солнца

Угол зрения датчика

Особенность конструкции корпуса датчика

Заключение

- Разработана методика калибровки солнечного датчика.
- Получены характеристики датчика на основе QD-фотодиода.
- Проведено сравнение двух моделей измерений. Показано, что для основной модели точность измерений составляет 2.5° , для полиномиальной зависимости – 0.7° .

**Спасибо за
внимание!**