

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ МИКРОСПУТНИКА ПРИ ПОМОЩИ ИНТЕРАКТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ

### Введение

Одним из наиболее распространенных алгоритмов определения ориентации микроспутников (МС) является алгоритм TRIAD [1], [2], который базируется на использовании информации поступающей из нескольких измерителей определенных векторов (напряженности магнитного поля Земли, направления на Солнце). При этом приобретает существенное значение задача оценки влияния погрешностей измерений на точность определения ориентации. С математической точки зрения задача является весьма громоздкой, поэтому очень актуальным является выбор метода исследования этой задачи.

### Постановка задачи

Целью данной работы является исследование влияния погрешностей измерений на точность определения ориентации МС с помощью алгоритма TRIAD при использовании интерактивной компьютерной модели системы определения ориентации МС. Задача анализируется в среде программного обеспечения Matlab-Simulink, Matlab -GUI.

Для определения матрицы направляющих косинусов:

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta \\ \sin\varphi\sin\theta\cos\psi - \sin\psi\cos\varphi & \sin\varphi\sin\theta\sin\psi + \cos\varphi\cos\psi & \sin\varphi\cos\theta \\ \cos\varphi\sin\theta\cos\psi + \sin\psi\sin\varphi & \cos\varphi\sin\theta\sin\psi - \sin\varphi\cos\psi & \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix},$$

используются проекции векторов  $\bar{E}_0$  и  $\bar{S}_0$  в двух системах координат.

Погрешности задаются для одного из векторов. Рассмотрено по 27 случаев влияния погрешностей на всем диапазоне измерений относительно каждого из углов определения ориентации МС:  $\varphi$  - крену,  $\Theta$  - тангажу,  $\Psi$  - рысканию. Проанализировано влияние начальных значений углов ориентации при условии, что один из углов задается с погрешностью  $\pm 0.5^\circ$  с интервалом  $0.1^\circ$ .

## Интерактивная компьютерная модель системы ориентации МС

Структурная схема разработанной интерактивной компьютерной модели системы ориентации, предназначенной для исследования точности ориентации МС с помощью алгоритма TRIAD, приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема интерактивной компьютерной модели системы ориентации

Интерактивная компьютерная модель позволяет в диалоговом режиме исследовать влияние инструментальных погрешностей измерителей на точность системы ориентации МС. В ней заложена также модель динамики спутника, что позволяет анализировать как точность определения ориентации, так и точность системы ориентации, в целом.

В модели достаточно просто изменить алгоритм определения ориентации, например, использовать алгоритм QUEST. Это, в свою очередь, позволяет проанализировать еще одну важную задачу – сравнить эффективность разных алгоритмов определения ориентации.

На рис. 2 изображена вкладка для исследования погрешностей определения углов ориентации МС при помощи алгоритма TRIAD.

Для получения числовых результатов исследования и визуализации погрешностей для каждого из углов на соответствующем графике пользователю нужно ввести входные параметры углов  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ , максимальные значения допустимых погрешностей и задать последовательность определенных действий программе.

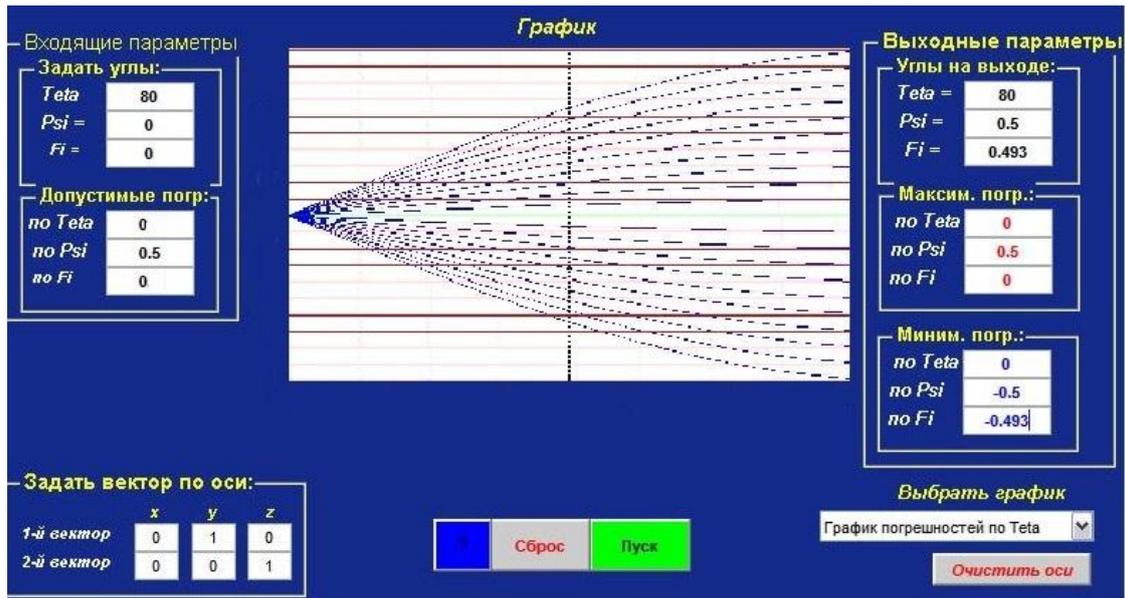


Рис. 2. Вкладка для исследования погрешностей определения углов ориентации МС при помощи алгоритма TRIAD

Для облегчения работы пользователя во вкладке можно вызывать дополнительную вкладку помощи в текстовом и в видео форматах.

### Моделирование погрешностей

1. Исследование погрешностей угла ориентации  $\varphi$  при заданных числовых значениях углов  $\varphi=0^\circ \dots 80^\circ$ ,  $\theta=0^\circ$ ,  $\psi=0^\circ$  с интервалом  $5^\circ$ .

Показано, что наибольшие погрешности углов ориентации имеют место при расположении векторов  $\bar{E}_o$  и  $\bar{S}_o$ , изображенных на рис. 3 и рис. 4. Максимальные значения погрешностей составляют  $\pm 0.5^\circ$  для всех углов.

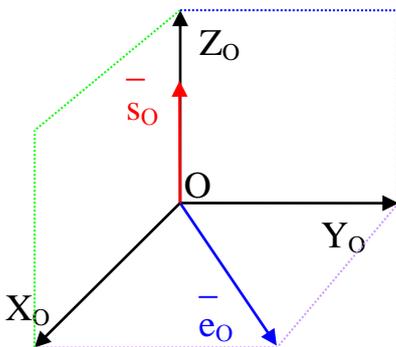


Рис. 3. Вектор  $\bar{S}_o$  расположен вдоль оси  $OZ_o$ ; вектор  $\bar{E}_o$  расположен в плоскости  $X_oY_o$

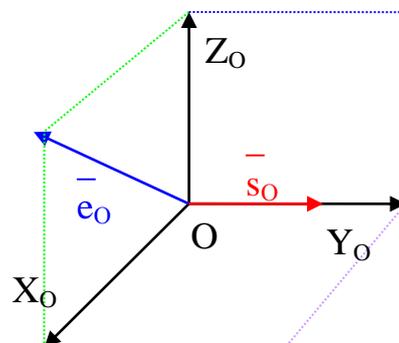


Рис. 4. Вектор  $\bar{S}_o$  расположен вдоль оси  $OY_o$ ; вектор  $\bar{E}_o$  расположен в плоскости  $Z_oX_o$

2. Исследование погрешностей угла  $\theta$  при заданных числовых значениях углов  $\theta=0^\circ \dots 80^\circ$ ,  $\varphi=0^\circ$ ,  $\psi=0^\circ$ .

Относительно исследованных углов можно сделать вывод, что наибольшие погрешности углов ориентации уже при  $\theta=0^\circ$  наблюдаются в случаях расположений векторов представленных на рис. 5 (для угла  $\varphi$ ), и рис. 6 (для углов  $\varphi$ ,  $\psi$ ). Результаты данных погрешностей выходят за допустимые максимальные значения  $\pm 0.5^\circ$ . Графики данных исследований изображены на рис. 7.

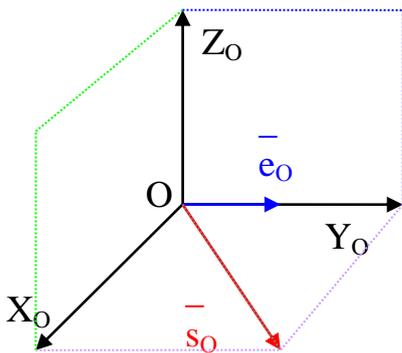


Рис. 5. Вектор  $\bar{E}_o$  расположен вдоль оси  $OY_o$ , а вектор  $\bar{S}_o$  расположен в плоскости  $X_oY_o$

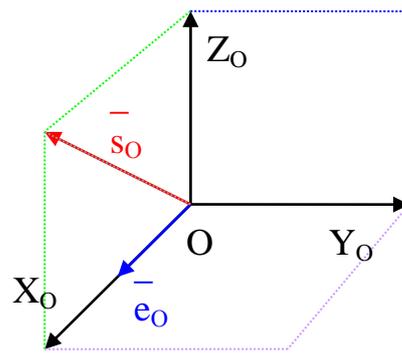


Рис. 6. Вектор  $\bar{E}_o$  расположен вдоль оси  $OX_o$ , а вектор  $\bar{S}_o$  расположен в плоскости  $Z_oX_o$

На рис.7 изображены изменения погрешностей углов ориентации МС на всем диапазоне измерений угла  $\theta=0^\circ \dots 80^\circ$ , где  $\Delta\varphi^\circ$  – погрешность угла  $\varphi$ ,  $\Delta\theta^\circ$  – погрешность угла  $\theta$ ,  $\Delta\psi^\circ$  – погрешность угла  $\psi$ .

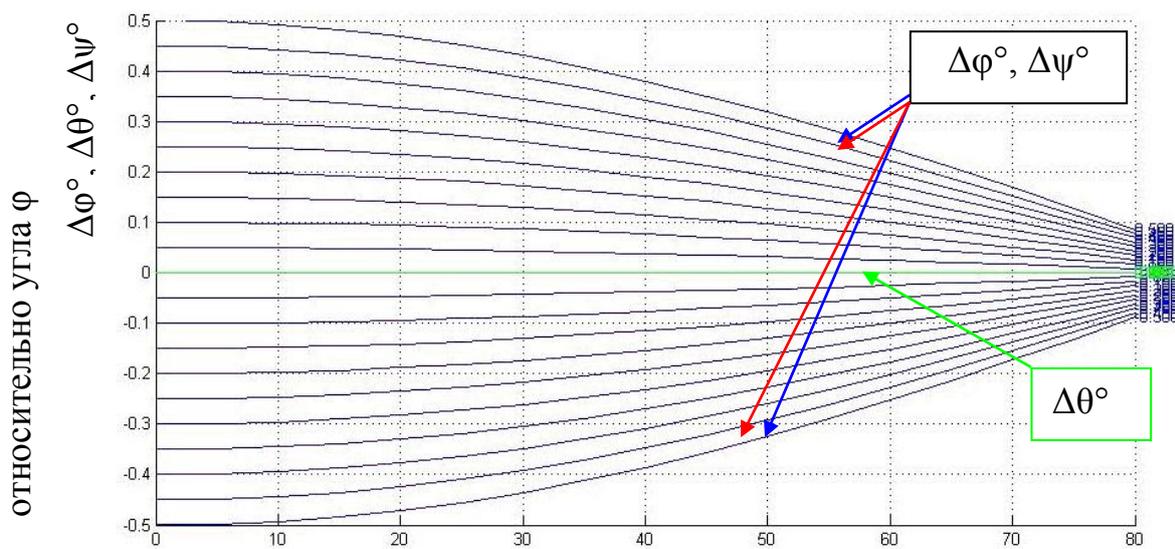


Рис. 7. Графики исследования погрешностей углов ориентации МС $^{\theta^\circ}$

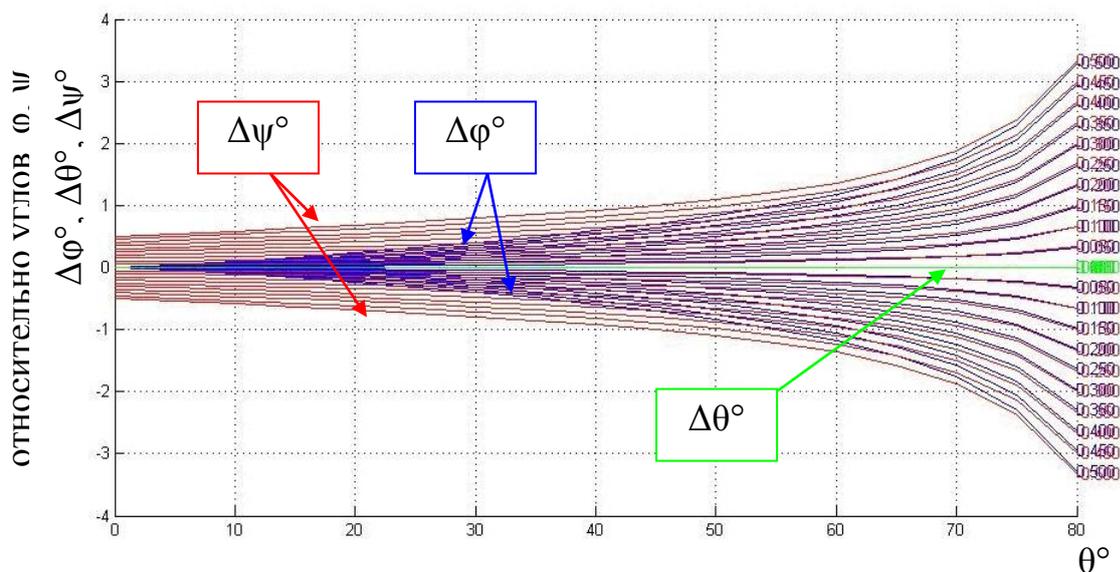


Рис. 7. Графики исследования погрешностей углов ориентации МС

3. Исследование погрешностей углов ориентации МС относительно угла ориентации  $\Psi$  проведено при заданных числовых значениях углов  $\theta=0^\circ$ ,  $\varphi=0^\circ$ ,  $\psi=0^\circ \dots 360^\circ$ .

В результате выявлено, что во всех случаях погрешности составляют не больше допустимого значения максимальных погрешностей и соответствуют требованиям.

## Выводы

В результате проведенного исследования определены положения векторов (в зависимости от заданных углов ориентации), при которых будут иметь место наибольшие погрешности определения углов ориентации. Разработанная интерактивная компьютерная модель системы ориентации дает возможность объединить теоретический анализ с современными возможностями компьютерной графики, что позволяет существенно упростить исследование влияния погрешностей на точность определения ориентации МС.

## Список использованной литературы

1. *Shuster M. D.* Deterministic three-axis attitude determination// M. D. Shuster /The Journal of the Astronautical Sciences, Vol. 52, No. 3, July-September 2004, pp.405-419.
2. *Tanygin S.* The many TRIAD algorithms // S. Tanygin, M. D. Shuster/ Paper AAS-07-104, AAS/AIAA 17<sup>th</sup> Space Flight Mechanics Meeting, Sedona, Arizona, January 28 – February 2, 2007, 19pp.; Proceedings: Advances in the Astronautical Sciences, Vol. 127, 2007, pp.81-99.

3. *Nassim Khaled. Visualization of Dynamic Models and Control Simulations// Khaled Nassim/ Virtual Reality and Animation for Matlab, 2012, p.178.*
4. *Смоленцев Н. К. Создание Windows – приложений с использованием математических процедур Matlab// Н. К. Смоленцев /М.: ДМК – пресс, 2008. – 456 с.*