

поля нарезов канала ствола, расстояние между которыми составляет 320 мкм и 70 мкм, соответственно.

Применение корреляционной обработки цифровых изображений объектов экспертного исследования позволяет расширить перечень методов и средств измерений, оптимизировать процесс измерения и тем самым повысить качество, достоверность и репрезентативность проводимых исследований.

1. Комаринец Б.М. Идентификация огнестрель-

ного оружия по выстрелянным пулям: пособие для экспертов / Б.М. Комаринец. – М.: ВИОН СССР. – 1961. – 316 с.

2. Измеритель расстояний на цифровой фотокамере для криминалистических экспертиз: пат. 8572 Респ. Беларусь, МКИ G 01 С 3/00 / В. Л.Козлов, И.А. Мороз, А.С. Рубис; – 2012.

3. Козлов В.Л., Васильчук А.С. Субпиксельная обработка изображений для измерения дальности на основе цифровой фотокамеры // Приборы и методы измерений. – 2012. – №1(4). – С. 115-120.

УДК 621.371.362, 521.3

СИСТЕМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОРБИТ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Кольчевский Н.Н., Охрименко И.П., Петров П.В.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Искусственные спутники земли классифицируются по назначению на исследовательские, метеорологические, навигационные, разведывательные, спутники связи, космические корабли и станции. Наиболее дешевыми являются микро- и наноспутники массой менее 100 кг. [1,2] Выделяют четыре класса искусственных спутников по высоте орбиты над поверхностью Земли:

риод обращения - от 127 минут до 24 часов. Угловая скорость - единицы и доли угловой минуты в секунду.

- Геостационарные и геосинхронные - 35786км. Их период обращения - 23ч 56м 4,09с.

- Высокоорбитальные - более 35786км. Орбиты могут быть высокоэллиптическими или близкими к круговым. [2]

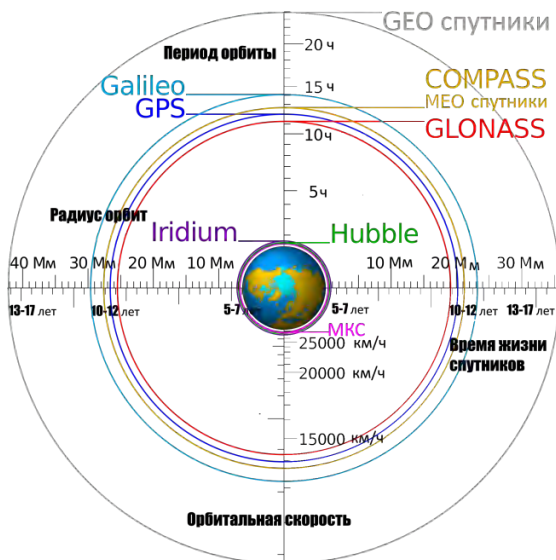


Рисунок 3 – Классификация орбит ИСЗ.

- Низкоорбитальные от 160км до 2000км над поверхностью Земли. Угловая скорость спутников LEO максимальна - от 0,2°/с до 2,8°/с, периоды обращения от 87,6 минут до 127 минут.

- Среднеорбитальные с высотами от 2000км до 35786км. Это спутники навигации и связи («GPS» - 20200 км, «ГЛОНАСС» - 19100км). Пе-

В зависимости от класса орбит спутников. Известны баллистический, оптический и радиотехнический методы детектирования. Проведение радиотехнических и оптических измерений связано с определением геометрических и кинематических характеристик или временных сдвигов, отнесенных к фиксированным в пространстве точкам (базисным точкам) [1]. Базисными точками могут быть стационарные, самолетные измерительные пункты, радиомаяки для радиотехнических измерений или естественные ориентиры, звезды, центры касания линий визирования видимых дисков планет для оптических измерений. Текущие координаты и скорость определяются баллистическими методами. К числу оптических методов относится фотометрия искусственных спутников земли. Одной из особенностей данных методов является то, что измерительная техника находится на поверхности Земли.

С каждым годом количество спутников на околоземных орбитах продолжает расти. В связи со сложным движением, асимметрией Земли, влиянием атмосферы и многих других факторов – спутники могут сходиться со своих предполагаемых орбит и теряться в околоземном космическом пространстве. [3]

В данной работе рассматривается задача де-

тектирования искусственного спутника земли с борта тестового искусственного спутника, у которого известны характеристики движения по орбите. Метод восстановления характеристик движения основан на исследовании временной зависимости интенсивности сигнала детектируемого спутника. Характер временной зависимости позволяет сделать вывод об угловом положении орбиты детектируемого спутника и определить кинематические характеристики. В данной работе решается задача восстановления параметров орбиты спутников.

Анализ основывается на выявлении периодичности интенсивности принимаемого сигнала и ее расчета. Зависимость интенсивности принимаемого сигнала от относительного движения спутников показана на рисунке 2.

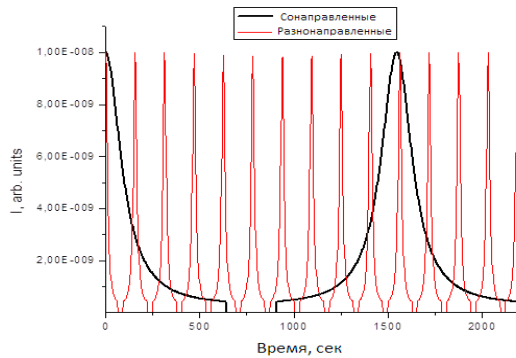


Рисунок 2 – Графики зависимостей интенсивности сигнала спутников, находящихся на параллельных орбитах с тестовым спутником и отличающихся направлением движения (сонаправленные, разнонаправленные скорости).

Периодичность сигнала определяется параметрами орбиты детектируемого спутника и направлением движения. Уменьшение интенсивности сигнала определяется увеличением расстояния $r(t)$ между детектируемым и тестовым спутником, а также попаданием детектируемого спутника в область геометрической тени Земли.

Интенсивность сигнала I без учета диаграммы направленности источника и детектора может быть определена как:

$$I = \frac{I_0}{r(t)^2} = \frac{I_0}{R^2 + R_c^2 - 2 \cdot R \cdot R_c \cdot \cos \omega_c t \cdot \cos \omega t}, \quad (1)$$

где R и R_c – радиусы орбит детектируемого и тестового спутника, I_0 – интенсивность излучателя детектируемого спутника, ω и ω_c – циклические частоты детектируемого и тестового спутника.

Время нахождения спутника в области геометрической тени Земли равно:

$$t = t_0 = \frac{2 \cdot \pi - 2 \cdot \theta}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T}\right)} = \frac{1 - \frac{\theta}{\pi}}{\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T}}, \quad (2)$$

где θ – угол при котором спутник попадает в геометрическую тень Земли, и определяется как:

$$\theta = \text{ArcCos} \frac{R_2}{R_c} + \text{ArcCos} \frac{R_3}{R} \quad (3)$$

Выполняя операции интегрального накопления сигнала, определяя периоды сигнала и временные интервалы для «нулевой» интенсивности можно восстанавливать параметры орбиты детектируемых спутников.

В случае, когда орбиты детектируемого и тестового спутника равны или близки по значению друг к другу и лежат в одной плоскости – возможны некоторые особые ситуации. Из-за близости скоростей, спутники, движущиеся сонаправленно, могут быть постоянно скрыты друг от друга Земной поверхностью, т.е. сигнал будет отсутствовать. Видимые спутники постоянно находятся в «поле зрения» друг друга, на фиксированном расстоянии, что затрудняет их детектирование. Одно из решений проблемы – несколько детектирующих спутников.

На рисунке 3 видно, что анализируя период изменения интенсивности принимаемого сигнала, можно различать и детектировать сонаправленные и разнонаправленные орбиты.

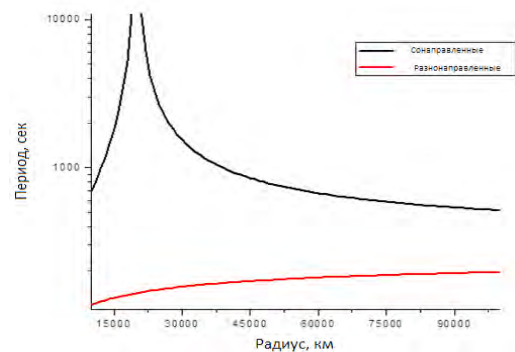


Рисунок 3 – График зависимости периода от радиуса орбиты детектируемого спутника, для сонаправленных и разнонаправленных спутников

Проведенные расчеты показывают, что для спутников, орбиты которых лежат в одной плоскости, интенсивность сигнала периодична, имеются ожидаемые места «исчезновения» детектируемого спутника с сенсоров наблюдения, вызванное кратковременным сокрытием спутника от «слушателя» за земным геоидом, что выражается в нулевой интенсивности сигнала. Для спутников, орбиты которых лежат в ортогональной плоскости, зависимость сигнала от времени имеет сложный «квазипериодичный» характер. Анализ сигнала на наличие характерных участков временных зависимостей и значения интегральных характеристик позволяют численно восстанавливать параметры орбиты спутников.

Зависимость периода интенсивности принимаемого сигнала от радиуса орбиты детектируемого спутника показана на рисунке 3.

1. Малые космические аппараты: пособие для студентов факультетов радиофизики и компьютер. технологий, мех.-мат. и геогр. / С.В. Аб-ламейко, В. А. Саечников, А. А. Спиридонов. – Минск : БГУ, 2012. – 159 с.
2. Спутниковые системы связи : пособие для студентов факультетов радиофизики и компьютер. технологий, мех.-мат. и геогр. / С.В.

Абламейко, В.А. Саечников, А.А. Спиридонов. – Минск : БГУ. – 2012. – 147 с.

3. Бордовицына Т.В., Авдюшев В.А. Теория движения искусственных спутников Земли. Аналитические и численные методы: Учеб.пособие. – Томск: Изд-во Томского университета, 2007. – 178 с.

УДК 539.125, 535.3

ПРЕЛОМЛЯЮЩАЯ НЕЙТРОННАЯ ЛИНЗА

Кольчевский Н.Н.¹, Петров П.В.¹, Хилько Г.И.², Дудчик Ю.И.²

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Институт прикладных физических проблем
Минск, Республика Беларусь

Основные свойства нейтронов это отсутствие заряда, длина волны от 0,1 А до 1000 А, наличие магнитного момента, значительная кинетическая энергия МэВ, преобладающее рассеяние на ядрах атомов. Нейтронные методы используют для изучения атомной, молекулярной, магнитной структуры веществ. Для управления потоками нейтронов традиционно используют отражающую и дифракционную оптику [1,2]. В настоящее время активно развивается новое направление преломляющей нейтронной оптики [3].

Целью данной работы является рассмотрения возможности применения многоэлементной преломляющей линзы на основе эпоксидных клеев (например $C_{100}H_{200}O_{20}$) для фокусировки нейтронного пучка.

Показатель преломления вещества n для нейтронов меньше 1, поэтому для нейтронного излучения собирающей линзой будет являться вогнутая линза. Одиночная линза будет характеризоваться фокусным расстоянием f равным:

$$f = \frac{R}{2\delta} = \frac{\pi R}{\rho_a b_c \lambda^2}, \quad (1)$$

где R – радиус линзы. Например, для эпоксидной линзы с радиусом $R=2$ мм и длиной волны излучения $\lambda=10$ А, одна преломляющая линза будет иметь фокусное расстояние порядка 455 м.

Линзовая система, состоящая из последовательно расположенных N линз, имеет более короткое фокусное расстояние. В приближении тонких линз фокусное расстояние линзовой системы F равно:

$$F = \frac{f}{N_L} = \frac{R}{2\delta N_L} = \frac{\pi R}{\rho_a b_c \lambda^2 N_L} \quad (2)$$

Для линзовой системы состоящей из 100 эпоксидных линз радиусом $R=2$ мм и длины волны излучения $\lambda=10$ А, фокусное расстояние F составит 4,5 м.

Предельное количество линз, из которых можно построить линзовую систему, ограничено фокусным расстоянием и геометрической длиной линзовой системы. Фокусное расстояние должно быть больше геометрической длины линзовой системы. Следовательно, для получения действительного изображения число линз не должно превышать некоторого предельного количества линз. Предельное количество линз N_{max} зависит от единичного декремента показателя преломления δ :

$$N_{MAX} = \frac{1}{2\sqrt{\delta}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2\pi}{\rho_a b_c \lambda^2}} \quad (3)$$

Зависимость предельного количества линз N_{max} для некоторых материалов от длины волны излучения показаны на рисунке 1.

Для эпоксидного клея предельное количество линз более 300 в диапазоне длин волн 0,1-10А

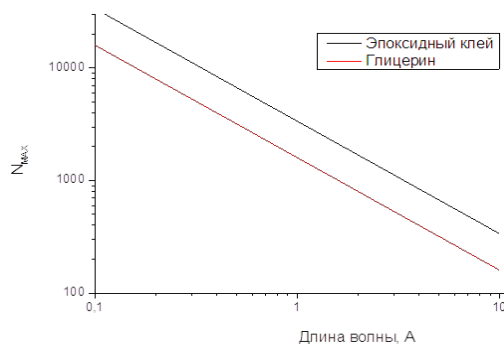


Рисунок 1 – График зависимости предельного количества линз от длины волны

Для линзовой системы, состоящей из 100 линз радиусом 1мм фокусное расстояние составляет более 1м (рисунок 2). Для получения фокусного расстояния равного 1м для эпоксидных линзовых систем, состоящих из 100 отдельных линз, требуются линзы радиусом менее 0,5мм (таблица 1).