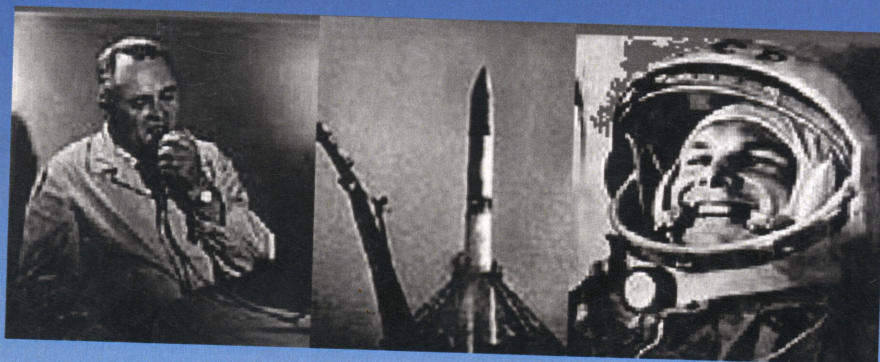


Южная аэрокосмическая научно-исследовательская ассоциация
Украинский научно-производственный центр аэрокосмических проблем

Украинский аэрокосмический журнал



№ 1(3)
2009 год
г. Николаев

X

УДК 520.2, 521.61

Е.С.Козырев, *Николаевская астрономическая обсерватория*

Е.С.Сибирякова, *Николаевская астрономическая обсерватория*

А.В.Шульга, *кандидат физико-математических наук, Николаевская астрономическая обсерватория*

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В НИИ НАО

В статье описаны оптические телескопы, разработанные и внедренные в НИИ Николаевская астрономическая обсерватория (НАО), для наблюдений объектов околоземного космического пространства. Приводится описание методов наблюдений и способов оценки точности наблюдений.

В роботі описані оптичні телескопи, які розроблені та виготовлені в НДІ Миколаївська астрономічна обсерваторія (МАО), для спостережень об'єктів навколоземного космічного простору. Наводиться опис методів спостережень та способів оцінки точності спостережень.

The optical telescopes that were designed and used in RI NAO for near-Earth space objects observations are described in the paper. The observation methods and ways of estimation of observation accuracy are given.

Ключевые слова: космический мусор, искусственные спутники земли (ИСЗ), астероиды сближающиеся с Землей (АСЗ).

Введение

Исследование околоземного космического пространства (ОКП), на сегодня, является одной из наиболее актуальных задач. В настоящий момент на околоземных орбитах находится порядка 15000 объектов искусственного происхождения. Активное использование космического пространства привело к появлению нового класса космических объектов - космического мусора. Космическим мусором (КМ) принято называть все не функционирующие антропогенные объекты и их фрагменты, находящиеся на околоземных орбитах. Самая сложная ситуация с количеством космического мусора сложилась на низких (высота 200 ÷ 2000 км) и геостационарных (высота ~36000 км) орбитах. Наиболее заселенными являются низкие орбиты, на которых находится 76.1% всех объектов, из них только 23.8% объектов не являются космическим мусором. Необходимость контроля распространения космического мусора с каждым годом становится все более актуальной. Многочисленные исследования указывают на то, что по мере увеличения количества космического мусора основным источником нового мусора станут столкновения. Основой для исследования космического мусора являются регулярные наблюдения.

В НИИ НАО, в рамках работ по исследованию ОКП, разрабатываются новые методы наблюдений, создается наблюдательная техника, а также

проводятся наблюдения объектов ОКП на низких, средних, геосинхронных орбитах и астероидов сближающихся с Землей.

1. Средства наблюдений НИИ НАО

На данный момент в НИИ НАО для оптических наблюдений объектов околоземного пространства разработаны и внедрены в эксплуатацию телескоп Скоростной автоматический комплекс (САК) [1] и комплекс телескопов Мобител. Как САК, так и Мобител полностью автоматизированы. Разработанное в НИИ НАО программное обеспечение позволяет проводить наблюдения автоматически в режиме удаленного доступа. Для реализации методов наблюдений, разработанных в НИИ НАО, применяется специальное устройство, поворачивающее ПЗС камеру вокруг оси объектива — поворотная платформа.

Телескоп САК включает в себя:

- Объектив системы Максудов - $D=300\text{мм}$ $F=1500\text{мм}$, оснащен ПЗС камерой Alta U9000 и поворотной платформой. Поле зрения телескопа $1.4^\circ \times 1.4^\circ$. Предельная наблюдаемая звездная величина — 17. Телескоп предназначен для координатных наблюдений объектов на средних, геосинхронных и высоких орбитах, а также АСЗ.
- Фотографический объектив - $D=57\text{мм}$, $F=85\text{мм}$ оснащенный ТВ ПЗС камерой Watec LCL902H. Поле зрения телескопа $4.3^\circ \times 3.2^\circ$. Предельная наблюдаемая звездная величина - 11. Телескоп предназначен для координатных наблюдений объектов на низких орбитах.

Комплекс телескопов «Мобител» состоит из транспортируемой платформы, на которой установлены три азимутальных монтировки с объективами диаметра 50, 230, 500 мм (рис.1). Конструкция телескопов и их СПУ обеспечивает одновременное выполнение каждым телескопом своей наблюдательной программы. Кроме того «Мобител» может транспортироваться в районы с хорошим астроклиматом и необходимыми географическими координатами.

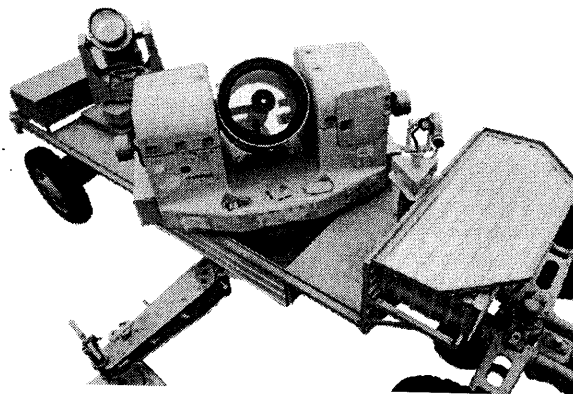


Рис.1 Комплекс телескопов Мобител.
В состав комплекса телескопов Мобител входят:

- Малый телескоп - $F=135$ мм , $D=48$ мм, оснащен ТВ-ПЗС камерой Watec LCL902H. Поле зрения телескопа $2.8^\circ \times 2.1^\circ$, предельная наблюдаемая звездная величина - 11. Телескоп предназначен для координатных наблюдений объектов на низких орбитах. Отличается очень малым весом и размером, а также большой скоростью наведения $20^\circ/\text{сек}$.
- Телескоп АФУ-75 - $F=750$ мм, $D=260$ мм , оснащен ПЗС камерой Alta U9000 и поворотной платформой. Поле зрения телескопа $2.8^\circ \times 2.8^\circ$, предельная наблюдаемая звездная величина - 16. Телескоп предназначен для координатных наблюдений объектов на низких, средних и геосинхронных орбитах.
- Телескоп КТ-50 $F=3000$ мм, $D=500$ мм, оснащен ПЗС камерой Alta U9000 и поворотной платформой. Поле зрения телескопа $0.7^\circ \times 0.7^\circ$, предельная наблюдаемая звездная величина - 18. Телескоп предназначен для координатных наблюдений объектов на средних, геосинхронных и высоких орбитах, а также АСЗ.

ТВ-ПЗС камеры работают с применением комбинированного метода наблюдений в режиме синхронного накопления кадров на неподвижном телескопе. Полнокадровые ПЗС камеры работают с применением комбинированного метода наблюдений в режиме синхронного переноса заряда на неподвижном телескопе (см. ниже).

Технические разработки НИИ НАО были внедрены в Львовской, Ужгородской и Одесской астрономических обсерваториях, что позволило организовать сеть для наблюдений низкоорбитальных ИСЗ. Сеть включает в себя телескопы НИИ НАО и обсерваторий Львовского, Ужгородского и Одесского университетов.

2. Методы наблюдений

Помимо разработки наблюдательной техники, в НИИ НАО также развивают новые методы наблюдений объектов ОКП. Основным методом, применяемым в НИИ НАО, является комбинированный метод наблюдений (КМН)[1]. Метод заключается в том, что изображения наблюдаемого объекта и опорных звезд (необходимых для точного определения координат объекта), формируются отдельно, в разных режимах работы ПЗС камеры или с разным временем экспозиции. В зависимости от применяемых ПЗС камер разработано две модификации метода. Для ТВ-ПЗС камер – режим синхронного накопления кадров, для полнокадровых ПЗС камер – режим синхронного переноса заряда с применением поворотной платформы.

Режим синхронного накопления кадров

Наблюдения низкоорбитальных объектов в оптическом диапазоне осложнены тем, что такие объекты имеют большую видимую скорость (до $2^\circ/\text{с}$). В связи с этим, наблюдения проводятся в режиме сопровождения на телескопах, оснащенных сложной автоматической системой гидирования и объективом с большим диаметром (~ 500 мм). На данный момент Украина располагает только двумя работающими телескопами КОС «Сажень-С», которые подходят под описание приведенное выше.

В НИИ НАО разработан метод наблюдения низкоорбитальных объектов на неподвижном телескопе, основанный на применении ТВ-ПЗС камер и короткофокусных объективов. Метод заключается в суммировании видео кадров со смещением, соответствующим смещению объекта в поле зрения телескопа. Этот метод позволяет значительно упростить и удешевить наблюдательную технику. Преимущество метода синхронного накопления кадров перед использованием обычного видеоряда с частотой 25 кадров/с заключается в повышении проникающей способности. На рис. 2 схематически представлено изображение наблюдаемого объекта на одном ТВ-кадре, с накоплением кадров без учета направления движения объекта и методом синхронного накопления кадров. Синхронное накопление по сравнению с одиночным кадром дает выигрыш в проникающей способности в две звездные величины.

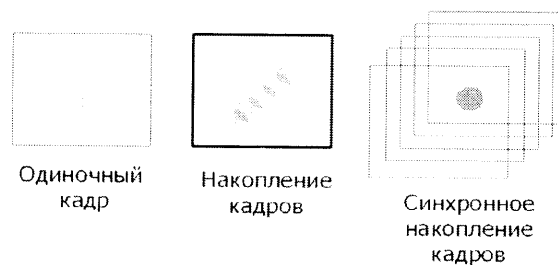


Рис. 2 Иллюстрация метода синхронного накопления кадров.

Эффективное время экспозиции кадров с изображением объекта составляет 1-4 с. (25-100 кадров) в зависимости от скорости объекта. Эффективное время экспозиции кадров с изображением опорных звезд составляет 15 с. (375 кадров). С применением метода синхронного накопления кадров, во время прохождения объекта через поле зрения, телескоп остается неподвижным, что позволяет отказаться от применения дорогостоящих и сложных систем гидирования. Такой метод позволяет наблюдать низкоорбитальные объекты размером от 30×30 см на высотах от 200 до 2000 км.

Режим синхронного переноса заряда с применением поворотной платформы.

Наблюдения высокоорбитальных объектов в оптическом диапазоне, как правило, проводятся с использованием полнокадровых ПЗС камер в режиме накопления. Координаты объекта определяются относительно изображений опорных звезд, которые расположены на одном кадре с объектом. Применяются следующие режимы работы телескопа:

- неподвижный
- суточного ведение
- сопровождения объекта

В первом случае изображения опорных звезд имеют вид вытянутых треков, изображения объектов в виде треков или точек (в зависимости от

видимой скорости объекта). Во втором случае изображения опорных звезд точечные, объектов в виде треков. В случае сопровождения объекта телескопом изображения объекта точечные, изображения звезд сильно вытянутые. При применении этих методов время экспозиции ограничено длиной треков изображений объектов и опорных звезд, т.к. точность вычисления центров вытянутых изображений падает с увеличением длины трека.

Режим синхронного переноса заряда (time delay integration – TDI) ПЗС камеры в сочетании с поворотной платформой [2,3] позволяет накапливать изображение объекта при его движении в поле зрения неподвижного телескопа. На рис. 3 схематично приведены изображения звезд и наблюдаемого объекта получаемые в режиме накопления до и после поворота камеры и в режиме синхронного переноса заряда. При применении этого метода время экспозиции ограничено лишь временем прохождения объекта через поле зрения телескопа.



Рис. 3 Иллюстрация метода синхронного переноса заряда с поворотной платформой

Изображения, полученные с применением простых технических средств, аналогичны получаемым при использовании сложных систем сопровождения объекта телескопом. Сопровождение происходит на электронном а не механическом уровне, поэтому получаемые изображения свободны от влияния неравномерности работы механики. Применение комбинированного метода наблюдений позволят точно определять координаты объекта по точечным изображениям звезд, полученным на дополнительных кадрах. При этом в отличие от обычных методов наблюдения, точность не падает с ростом времени экспозиции и скорости объекта. Такой режим наблюдений позволяет наблюдать геосинхронные (высота ~36000км), среднеорбитальные (высота ~20000км) объекты, а также астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ).

3. Оценка точности наблюдений

Важным аспектом в проведении наблюдений является оценка точности получаемых экваториальных координат объектов ОКП. Для оценки точности наблюдений объектов ОКП, выполненных с использованием КМН, проводятся наблюдения ИСЗ, оснащенных уголковыми отражателями, для которых известны высокоточные эфемериды международной службы

лазерной локации ILRS [4]. В сотрудничестве с Одесской обсерваторией разработано программное обеспечение, позволяющее по декартовым координатам эфемериды ILRS вычислять топоцентрические экваториальные координаты искусственных спутников земли (ИСЗ). Кроме того программное обеспечение позволяет находить разность (O-C) между наблюдаемыми и рассчитанными (на основе данных ILRS) координатами. Разность координат (O-C) является ошибкой, характеризующей качество метода наблюдения, а также применяемые технические и программные средства. Разности (O-C) приводятся по часовому углу (dTa) и склонению (dDec). Оценка точности наблюдений высокоорбитальных КО, полученных комбинированным методом наблюдений в режиме синхронного переноса заряда с применением поворотной платформы, показана на рис. 4 на примере наблюдения спутника Glonass 102 (высота 19067-19163 км).

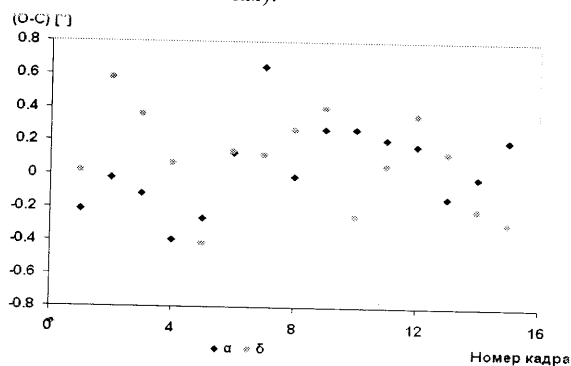


Рис. 4 Сравнение координат ИСЗ GLONASS 102 с эфемеридой ILRS.

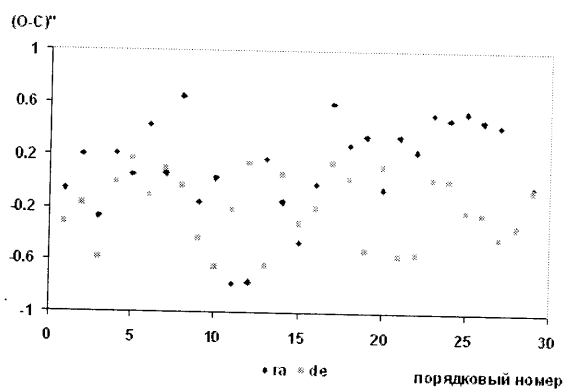


Рис. 5 Сравнение координат АСЗ полученных в НИИ НАО с эфемеридой Horizons.

Оценка точности наблюдений АСЗ производится сравнением с эфемеридой Horizons [5]. Для примера на рис.5 приведена оценка точности наблюдений АСЗ 2010JO33 полученных при его прохождении на расстоянии от Земли – 0.009 а.е. Среднеквадратичная ошибка полученных координат

составляет 0.377" по прямому восхождению и 0.264" по склонению, что соответствует мировому уровню точности для наблюдений АСЗ на таких расстояниях от Земли.

Выводы

В НИИ НАО разработан и применяется комбинированный метод наблюдения объектов ОКП с любым типом орбиты, не требующий сложных и дорогостоящих технических средств. Применение режима синхронного накопления кадров позволяет значительно упростить и удешевить наблюдательную технику, и при этом наблюдать низкоорбитальные объекты ОКП размером от 30х30 см. Такая система может быть легко установлена на любой существующий телескоп как вспомогательная. Применение режима синхронного переноса заряда с поворотной платформой позволяет, с минимальными затратами, создать высокоэффективные системы наблюдения объектов ОКП на базе телескопов, разработанных в 60-70-х годах. Силами НИИ НАО была произведена модернизация телескопов КТ-50 и АФУ-75 с существенным упрощением их конструкции и процесса наблюдения. При этом качество наблюдений соответствует наблюдениям на телескопах со сложными системами сопровождения. С использованием технических и методических наработок НИИ НАО в Украине была создана сеть координатных наблюдений низкоорбитальных ИСЗ, включающая в себя НИИ НАО, астрономические обсерватории Одесского, Львовского и Ужгородского университетов.

Данные наблюдений НИИ НАО используются центром контроля космического пространства Украины для улучшения элементов орбит объектов ОКП. Кроме того, получаемые наблюдения используются для уточнения модели движения ИСЗ, которая разрабатывается в Одесской астрономической обсерватории.

Литература

1. Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Шульга А.В., Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы – Москва: ИНАСАН – 2000 – с.361-371.
2. Козырев Е.С. Сибирякова Е.С. Шульга А.В., Применение поворотной платформы для наблюдений объектов околоземного пространства комбинированным методом //Сборник трудов конференции «Околоземная астрономия 2007», Нальчик, 2008, с.288 – 292
3. Kozuryev Yevgen , Shulga Oleksandr, Sibiryakova Yevgenia, Observation of fast NEA objects with prolonged exposure//Proc. of IAU Symposium № 248 «A Giant Step: From Milli- to Micro-arcsecond Astrometry», Shanghai, China, 15 – 19 Oct. 2007, p. 128-129
4. <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>
5. <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>