

АНАЛИЗ ТРАССЫ ПОЛЕТА НАНОСПУТНИКА, СОБРАННОГО НА БАЗЕ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ПЛАТФОРМЫ «СИНЕРГИЯ», ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ

Д.В. Малыгин¹, Д.Н. Редька²

¹ООО «Астрономикон»

²СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Malygin.DV@astronomikon.ru

В докладе представлена концепция полета наноспутника на основе многоцелевой платформы «Синергия» блочно-модульного типа для нужд Северо-Западного региона России по изучению Северного морского пути.

Работа посвящена первичному анализу связей между параметрами орбиты (высота, наклонение и т.д.) и целевыми параметрами (периодичность съемки, пространственное разрешение и т.д.) КА ДЗЗ) формата CubeSat 6U на базе платформы «Синергия». Предполагается, что КА с камерой высокого разрешения видимого диапазона производит непрерывную съемку поверхности Земли. Рассматривается целевой объект: Северный Морской Путь (СМП). Кратко обсуждаются факторы, влияющие на проведение наблюдений (облачность, освещенность).

КА формата CubeSat чаще всего запускают попутно с другими КА, при этом имеют значительно упрощенные служебные системы. Вследствие этого имеется два класса орбит высотой 300...1000 км, на которые чаще всего их запускают: солнечно-синхронные орбиты (ССО) и орбиты с наклонением МКС. В работе в первую очередь рассматриваются эти орбиты, т.к. запуск на них является наиболее дешевым. Однако выигрыш за счет выведения КА на специально подобранную орбиту (с которой задача решается эффективнее) может оказаться выгоднее. Поэтому также обсуждаются другие орбиты и дается представление о том, как орбитальные параметры влияют на решение задач ДЗЗ.

Предполагается, что съемка будет вестись в непрерывном режиме с последующей обработкой полученных изображений и их анализом. Поэтому при выборе решаемых задач также нужно учитывать, что большая часть поверхности Земли закрывается облаками; за год на типичных орбитах 30-40% времени КА пролетает над точками в темное время суток; большую часть поверхности Земли занимает океан. В первом приближении для функционирования КА на рассматриваемых орбитах энергии достаточно.

Минимальная периодичность, с которой КА ДЗЗ формата CubeSat может наблюдать точку на поверхности Земли в надире (в большинстве случаев), составляет 1 сутки. Для уменьшения периодичности (т.е. увеличения частоты наблюдения определенной точки) необходимо увеличивать число КА, т.е. создавать группировку КА. КА в группировке выводятся на разные орбиты или на одну орбиту в разной фазе. В этом случае за период, равный периодичности для одного КА, количество пролетов над точкой может быть пропорционально количеству КА в группировке.

Параметры, зависящие от высоты орбиты H , для камер из табл. 1 приведены на рис. 1.

Секция №4. Проблемы проектирования и эксплуатации наноспутников

Таблица 1. Основные параметры камер высокого разрешения видимого диапазона (470...900 нм)

#	Название	Полоса захвата, км (H = 500 км)	Разрешение пространственное, м (H = 500 км)	Спектральные полосы	Масса, кг	Размер	Максимальная потребляемая мощность*, Вт
1	Gecko	80	39	RGB	0.4	1U	2.6 / 4.5
2	Mantis-HS	32	32	148	0.5	1U	2.6 / 4.6
3	Mantis-MS	32	16 / 32	PAN / 6	0.5	1U	2.6 / 4.6
4	Chameleon-HS	20	20 / 40	148	1.6	2U	10 / 5
5	Chameleon-MS	40	10 / 20	PAN / 7	1.6	2U	10 / 5
6	Caiman	12	3 / 6	PAN / 7	1.8	2.5U	10 / 5

* указана в режиме съемки / чтения

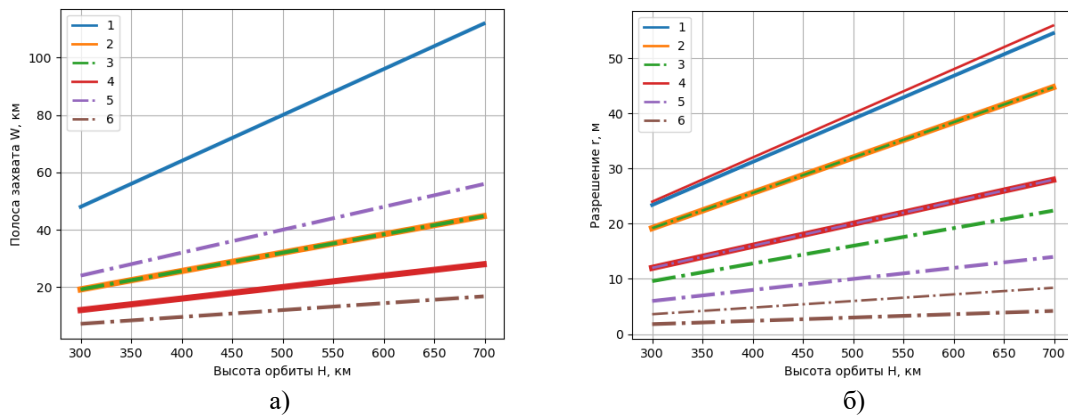


Рисунок 1 – Сплошная тонкая линия – RGB, сплошная толстая – гиперспектральная, с пунктиром – PAN / мультиспектральная; под б) тонкой линией того же типа показаны зависимости для более низких разрешений (для 2-го значения в столбце «разрешение» табл.1). В качестве основного варианта состава полезной нагрузки выбраны гиперспектральная камера Chameleon-HS (№4) и высокопроизводительный компьютер NVIDIA Jetson Nano

От высоты зависят полоса захвата и разрешение (рис. 2.а, для камеры Chameleon-HS). Чем выше орбита, тем больше полоса захвата и тем ниже разрешение. Соответствующая зависимость полосы обзора (т.е. с учетом возможности поворота камеры относительно направления в надир) показана на рис. 2.б для орбит на 3-х высотах.

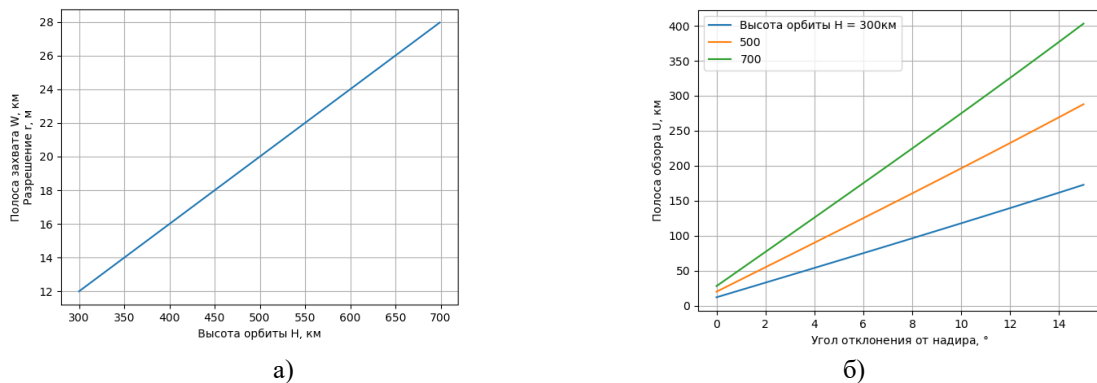
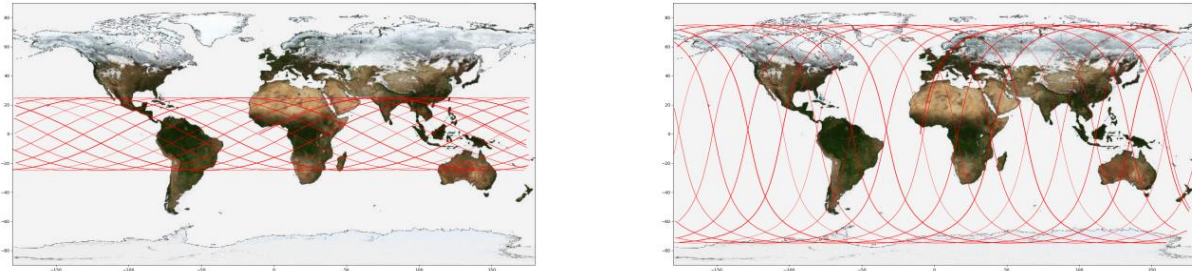


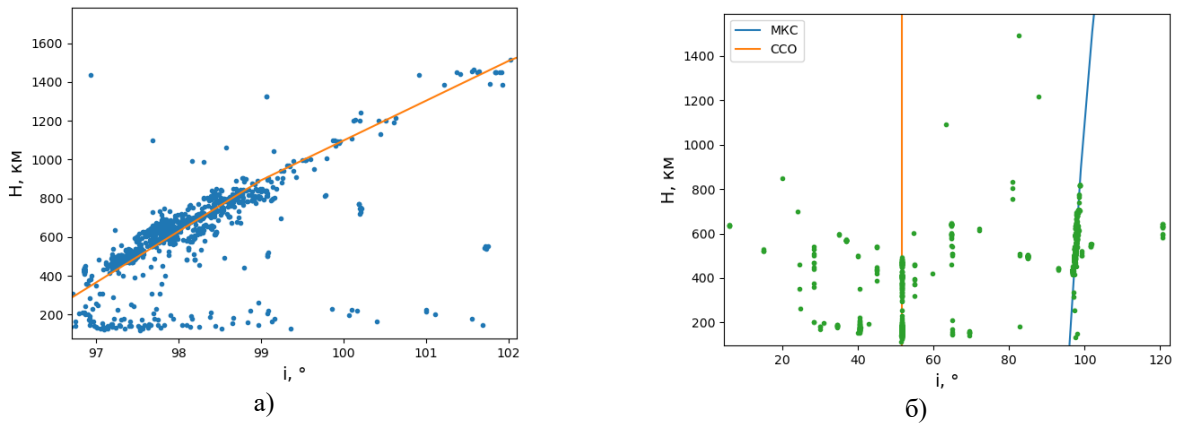
Рисунок 2 – Соответствующая зависимость полосы обзора

Наклонение орбиты ограничивает поверхность наблюдения по широте φ_{max} . Для орбиты с наклонением i выполняется: $\varphi_{max} \leq i$.

Для того, чтобы орбита была Солнечно-синхронной, необходимо, чтобы высота орбиты зависела определенным образом от наклона: $H = f(i)$ (оранжевая линия на рис. 4.а). Большинство КА Cubesat выведены на ССО или на орбиты с наклоном МКС (рис. 4.б) вследствие попутного запуска с другими КА или непосредственно с МКС.



а) б)
Рисунок 3 – Трасса полета для орбит с $i = 25^\circ$ (а) и с $i \approx 75^\circ$



а) б)
Рисунок 4 – Каждая точка – значение пары (H, i) для запущенных в космическое пространство КА Cubesat (актуально на весну 2022)

Особенностью ССО является малая вариация условий освещенности орбиты, а также освещенности подспутниковых точек. Это значит, что тепловой режим КА на таких орбитах достаточно постоянен в течение года, при этом съемка большей части поверхности Земли осуществляется в течение года при почти постоянных условиях освещения подспутниковых точек. Эти свойства полезны для КА CubeSat ДЗЗ.

Соотношение H, i определяет глобальность и периодичность обзора. Зависимость периодичности кратных солнечно-синхронных орбит (которые наилучшим образом подходят для регионального ДЗЗ в видимом диапазоне с точки зрения условий освещенности и частоты наблюдения) показана на рис. 5. В рассматриваемом диапазоне высот ($300 < H < 1000$ км) на 2-х кратных ССО орбитах ($H \approx 570, H \approx 897$ км) достигается минимальная периодичность $P = 24^h$; на 4-х орбитах периодичность 2 суток и т.д. согласно рисунку.

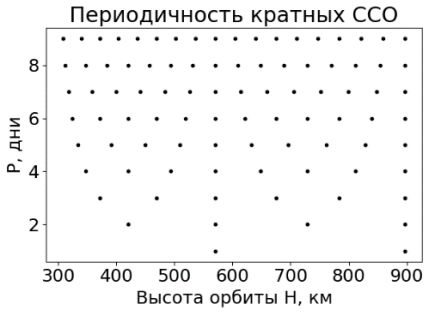


Рисунок 5 – Зависимость периодичности кратных солнечно-синхронных орбит

На кратных ССО КА наблюдает только некоторую часть поверхности КА за время, равное периодичности наблюдения. Чем меньше периодичность, тем меньше наблюдаемая площадь, т.е. обзор становится менее глобальным. На рис. 6 (а, б) показаны трассы КА за 9 дней для двух ССО соответственно: (570 км, 97.7°) и (533 км, 97.5°) с периодичность 1 сутки и 8 суток соответственно. В первом случае периодичность полета меньше (КА может чаще наблюдать каждую точку), при этом обзор менее глобальный (витки расположены более плотно, наблюдаются только определенные регионы).

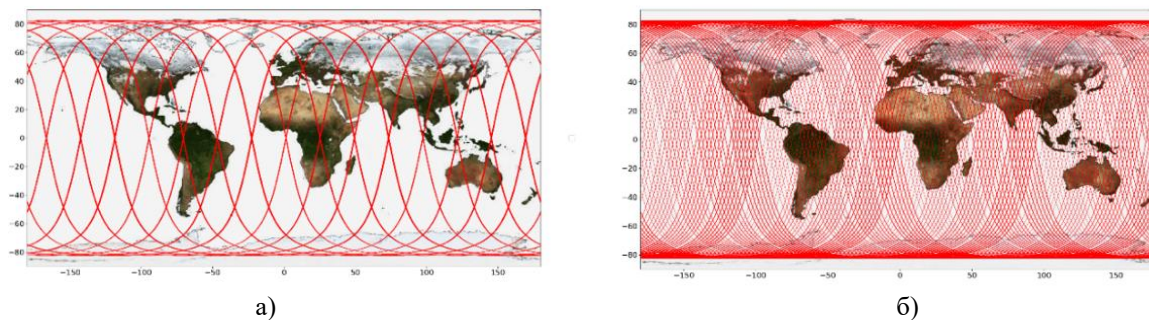


Рисунок 6 – трассы КА за 9 дней для двух ССО

Для дальнейших расчетов параметров орбиты КА или группировки КА необходимо определиться с конкретными участками Северо-Западного региона РФ для итоговой миссии. В зависимости от задачи возможно стремиться к уменьшению периодичности наблюдения (увеличению частоты) или к увеличению глобальности обзора (увеличению охватываемой площади). Далее планируется более полное моделирование энергетических и целевых параметров на основании разработанной математической модели (после уточнения целевых задач и параметров полезной нагрузки).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда (соглашение № 22-29-20186).

Список литературы:

1. <http://www.morvesti.ru/themes/1698/62459/>
2. Северный морской путь и его главные порты: [сайт]. – URL: <https://arctic-russia.ru/article/vekhi-bolshogo-puti/> (дата обращения: 29.06.2023).
3. <https://journal.gumrf.ru/files/articles/40/184-205.pdf>
4. CubeSat Design Specification Rev. 13
5. Сутырина Е.Н. Дистанционное Зондирование Земли: учеб. Пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
6. Чернов А.А. Орбиты спутников ДЗЗ: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 2004. — 200 с.
7. Гарбук С.В. Космические системы, М.: А и Б, 1997. — 296 с.: ил. — ISBN 5-89227-002-7.
8. Шовенгердт Р.А. Дистанционное Зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. - 560 с. - ISBN: 978-5-94836-244-1.