



Двадцать первая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

ктн, Д.Н. Комраков

Модель многомаршрутной оптико-электронной съемки
из космоса с учетом тангажного ускорения



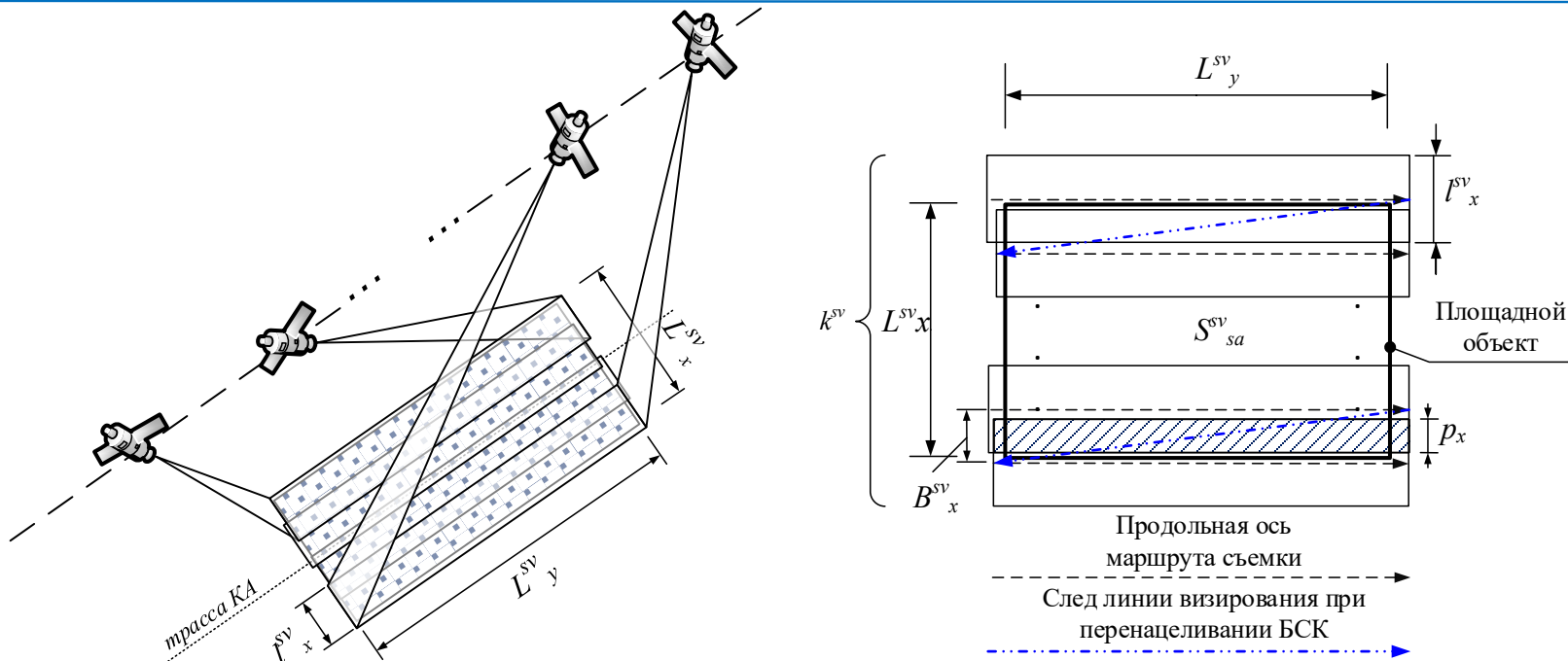


Для получения или обновления пространственных данных о обширных территориях необходимо проводить съемку площадных объектов. Под такими объектами понимаются участки местности, размеры которых значительно превышают габариты отдельного снимка, получаемого конкретным средством ДЗЗ. В случае необходимости обеспечения непрерывного охвата площадного объекта снимками, требуется выполнение многомаршрутной съемки. В данном контексте КА, оснащенные оптико-электронными бортовыми специализированными комплексами (БСК), проявляют наилучшую эффективность съемки среди средств ДЗЗ. Важным показателем результативности съемки является площадь, охваченная с заданными требованиями за определенный временной интервал. В свою очередь известные модели многомаршрутной оптико-электронной съемки площадного объекта учитывают особенности использования синхронной съемки из космоса. С учетом современного развития оптико-электронных БСК космического базирования способ многомаршрутной съемки на одном витке полета КА с использованием тангажного ускорения позволит увеличить производительность и потенциальный съемочный ресурс. Отличительной особенностью такого способа является движение БСК по углу тангажа в процессе сканирования отдельных маршрутов съемки.



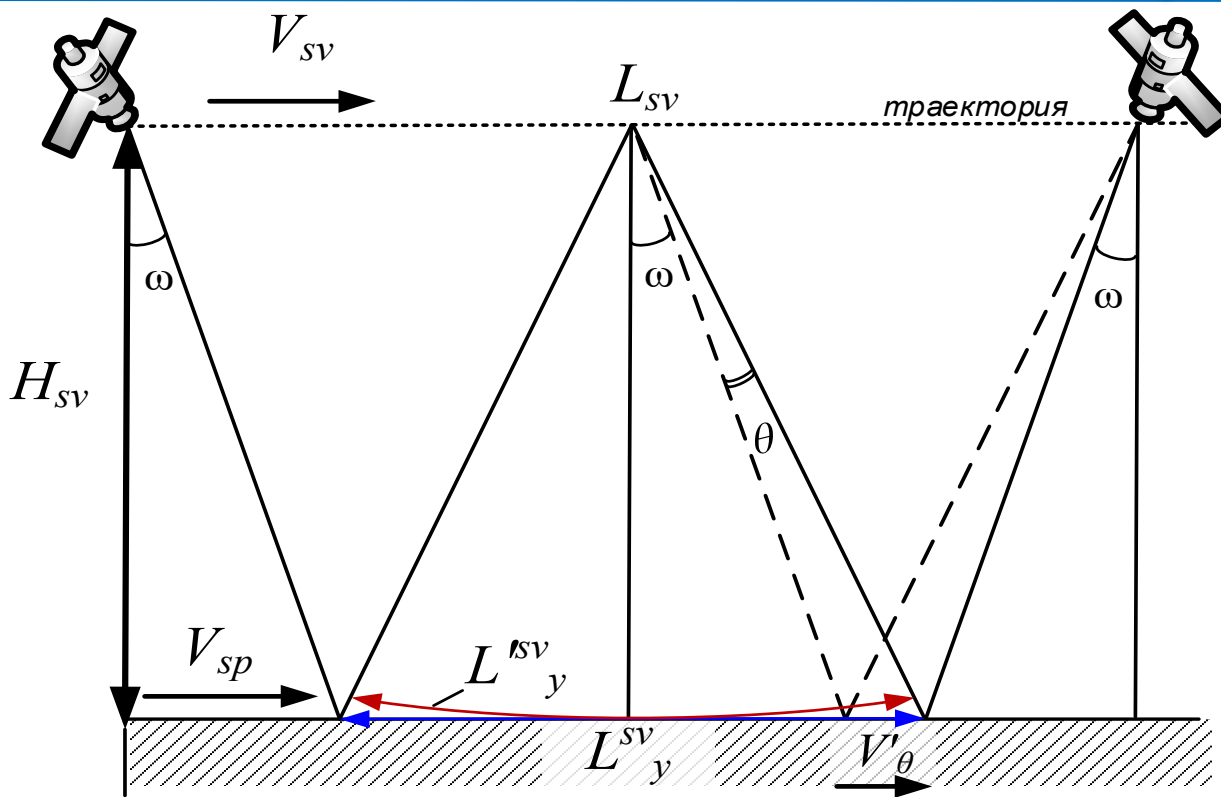
В рамках исследования предлагается решение следующих задач: разработка модели многомаршрутной оптико-электронной съемки из космоса с учетом тангажного ускорения и экспериментальное исследование по оцениванию потенциальной результативности выбранного варианта площадной съемки при типовых условиях.

Для построения модели многомаршрутной оптико-электронной съемки принимаются следующие допущения в отношении формы Земли и орбиты КА ДЗЗ. В пределах площадного объекта подстилающая поверхность описывается плоскостью, а КА ДЗЗ движется по прямолинейной траектории над этой плоскостью на заданной высоте орбиты. Для описания условий оптико-электронной съемки отдельных маршрутов из космоса дополнительно задаются следующие параметры: предельный угол отклонения по тангажу, угловая скорость поворота БСК по тангажу при выполнении съемки и угловая скорость перенацеливания БСК.



H_{sv} – высота орбиты КА; l_x^{sv} – полоса захвата БСК; B_x^{sv} – межмаршрутное расстояние; p_x – продольное перекрытие; k – количество маршрутов съемки; L_x^{sv} , L_y^{sv} – длины сторон участка съемки; S_{sa}^{sv} – площадь участка съемки.

Рис. 1. Принцип многомаршрутной съемки площадного объекта: а) съемка площадного объекта на одном витке; б) последовательность съемки маршрутов и перенацеливания БСК



L_{sv} – протяженность участка орбиты;

V_{sp} – скорость орбитального движения КА;

V_{sv} – скорость движения подспутниковой точки;

V'_θ – линейная скорость движения подспутниковой точки, вызванное поворотом БСК по тангажу;

γ, θ – углы крена и тангажа;

L_y^{sv} – протяженность маршрута с учетом принятых допущений;

ω – угол упреждения по тангажу.

Рис. Геометрическое построение, поясняющее условия съемки площадного объекта и принятые допущения

Модель многомаршрутной оптико-электронной съемки с использованием тангажных ускорений

Протяженность участка орбиты КА

$$L_{sv} = L_y^{sv} + 2H_{sv} \cdot \operatorname{tg} \omega$$

Интервал времени перенацеливания по крену и тангажу

$$t_\gamma = \frac{\gamma}{v_r} \approx \frac{B_x^{sv}}{v_r \cdot H_{sv}}; t_\theta = \frac{2(\omega + \theta)}{v_r} \approx \frac{L_y^{sv}}{v_r \cdot H_{sv}}$$

Длины сторон участка съемки

$$L_y^{sv} = \frac{(V_{sp} + V_\theta) \cdot t_s}{k}; L_x^{sv} = l_x^{sv} + B_x^{sv} \cdot (k - 1)$$

Потенциальная результативность характеризующаяся площадью участка съемки

$$S_{sa}^{sv} = L_x^{sv} \cdot L_y^{sv}$$

Система уравнений, описывающая связь учитываемых параметров съемки и заданных требований

Интервал времени съемки

$$t_{sv} = \frac{L_{sv}}{V_{sv}}$$

Суммарная продолжительность интервалов времени

$$t_s = t_{sv} - (t_\gamma + t_\theta) \cdot (k - 1) = \frac{L_{sv}}{V_{sv}} - \left(\frac{B_x^{sv} + L_y^{sv}}{v_r \cdot H_{sv}} \right) \cdot (k - 1)$$

Линейная скорость движения подспутниковой точки, вызванное поворотом БСК по тангажу

$$V'_\theta = \frac{L_{y\theta}^{sv}}{t_\theta} = \frac{L_{y\theta}^{sv} \cdot V_\theta}{\theta} = \frac{H_{sv} \cdot V_\theta}{\theta} \cdot \frac{\sin \theta}{\cos(\omega + \theta) \cdot \cos \omega}$$

$$L_y^{sv} = \frac{(V_{sp} + V'_\theta) \cdot (2H_{sv}^2 v_r \operatorname{tg} \omega - V_{sv} B_x^{sv} (k - 1))}{H_{sv} v_r \cdot (V_{sv} k - V_{sp} - V'_\theta + (V_{sp} + V'_\theta)(k - 1))}$$

$$L_x^{sv} = l_x^{sv} + B_x^{sv} \cdot (k - 1)$$

Пример использования разработанной математической модели для оценивания потенциальной результативности съемки

Космический аппарат ДЗЗ и БСК характеризуются набором параметров: $H_{sv} = 700$ км, $\omega = 15^\circ$, $\theta = 5; 10; 15; 20^\circ$, $k = 3; 4; 5; 7$, $l^{sv}_x = 20$ км. В качестве требования к материалам съемки задается перекрытие $p_x = 60\%$. В качестве варьируемых параметров используются угол тангажа и количество маршрутов k . В результате показатель результативности оценивается для 16 вариантов исходных данных.

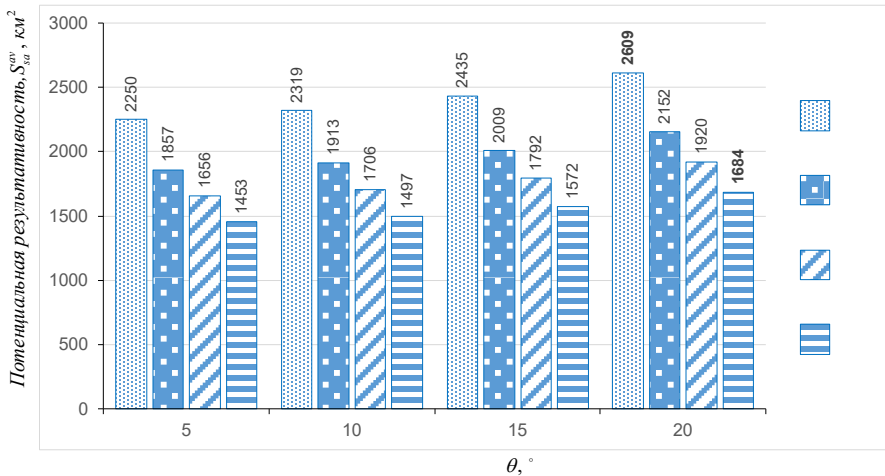


Рис. Результаты расчетов потенциального съемочного ресурса без использования тангажных ускорений

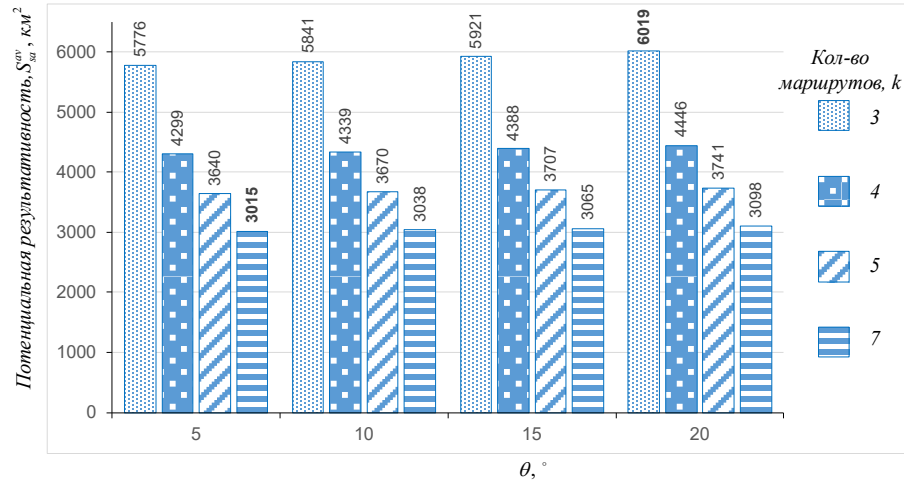


Рис. Результаты расчетов потенциального съемочного ресурса с использованием тангажных ускорений



Полученные в результате расчетов значения потенциальной результативности показывают, что большая потенциальная результативность многомаршрутной съемки обеспечивается при увеличении угловой скорости поворота БСК по тангажу. То есть большая результативность имеет место при большем значении тангажа. При этом с увеличением количества маршрутов отмечается уменьшение потенциальной результативности.

В работе на основе выбранного варианта выполнения многомаршрутной съемки площадного объекта разработана соответствующая математическая модель, учитывающая параметры аппаратуры космического аппарата дистанционного зондирования Земли, пространственные свойства площадного объекта съемки и требования к оптико-электронной многомаршрутной съемке местности. Выполненный вычислительный эксперимент подтвердил реализуемость разработанного математического аппарата и позволил выявить частные зависимости потенциальной результативности многомаршрутной съемки от удлинения объекта и количества маршрутов съемки.

В качестве дальнейшего направления исследований целесообразно рассматривать анализ влияния параметров многомаршрутной съемки с использованием тангажных ускорений на фотоэлектрические характеристики БСК КА.



Литература:

1. Григорьев А.Н., Дмитриков Г.Г., Попович Т.В., Пятицкий А.А., Смирнова О.В. Принципы и примеры использования технологии дистанционного зондирования в информационном обеспечении инфраструктур пространственных данных // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2018, № 664, с. 51–59.
2. Куренков В.И. ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ: учебное пособие. – Самара: Издательство Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2020 – 461 с.
3. Комраков Д.Н., Григорьев А.Н., Дудин Е.А. МОДЕЛЬ МНОГОМАРШРУТНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМКИ ПЛОЩАДНОГО ОБЪЕКТА ИЗ КОСМОСА // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. – 2021. – Вып. 678. – С.68-77.