

АЭРОФОТОГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.7

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Н.А. АЗАРЕНОК,
(РУП «Белгеодезия»),
А.А. МИХЕЕВА, В.В. ЯЛТЫХОВ
(Полоцкий государственный университет)

Рассматриваются вопросы расчета скорости движения подспутниковой точки для определения времени формирования условного кадра для сканеров типа HRV, установленных на искусственных спутниках Земли, и определения времени, через которое необходимо считывать информацию с ПЗС-матрицы.

В настоящее время для целей картографирования во всём мире начали применяться оптико-электронные сканирующие системы, которые устанавливаются на борту космических летательных аппаратов (чаще искусственных спутников Земли). Для решения ряда прикладных задач нужно знать скорости движения спутников и подспутниковой точки.

В работе [1] имеется таблица скорости смещения подспутниковой точки по Земле для высот полёта до 600 км (некоторые значения включены в табл. 1).

Однако большое количество спутников функционируют на орбитах выше чем 600 километров, поэтому возникает необходимость в поиске иных путей определения скоростей. Автором [2] предложена следующая формула для вычисления скорости спутника по круговой орбите:

$$V_k = \sqrt{g_0 r_0} \cdot \sqrt{\frac{r_0}{r}}, \tag{1}$$

где r_0 – средний радиус Земли (6371 км); g_0 – ускорение свободного падения на поверхности Земли; r – расстояние от центра Земли до орбиты спутника, км: $r = r_0 + H$; H – высота орбиты, км.

Автор работы [4] рекомендует следующую формулу:

$$V_k = \sqrt{\frac{\mu}{r}}, \tag{2}$$

где μ – произведение гравитационной постоянной на массу притягивающего тела, называемое гравитационным параметром (для Земли $\mu = 3,98602 \cdot 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$).

Мы преобразовали обе формулы применительно к скорости движения подспутниковой точки V_3 .

В соответствии с представленным рисунком мы имеем две подобные фигуры, для которых можно написать отношение

$$\frac{r_0}{r} = \frac{V_3}{V_k},$$

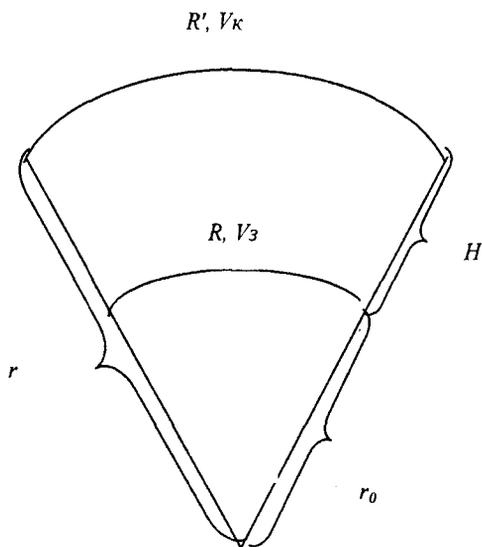
откуда

$$V_3 = V_k \frac{r_0}{r}. \tag{3}$$

Подставив в формулу (3) скорости движения спутников по круговой орбите V_k из формул (1) и (2), получим преобразованные формулы. Соответственно для формулы (1) получили преобразованную формулу (4), а для формулы (2) вид преобразованной формулы (5):

$$V_3 = \sqrt{g_0 r_0} \cdot \sqrt{\frac{r_0}{r}} \cdot \frac{r_0}{r} = \sqrt{g_0 r_0} \left(\frac{r_0}{r}\right)^{3/2}; \tag{4}$$

$$V_3 = \sqrt{\frac{\mu}{r}} \cdot \frac{r_0}{r}. \tag{5}$$



Используя формулы (4), (5) и (1) мы рассчитали скорости как подспутниковой точки, так и самого спутника для высот от 400 до 820 км. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Высота орбиты, H, км | Скорость смещения подспутниковой точки, V_3 , км/с | | | Круговая скорость спутника, V_k , км/с |
|-------------------------|--|--------------------------|-------|--|
| | согласно таблице [1] | рассчитанная по формулам | | |
| | | (4) | (5) | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 400 | 7,210 | 7,219 | 7,219 | 7,673 |
| 500 | 7,053 | 7,062 | 7,062 | 7,617 |
| 600 | 6,903 | 6,911 | 6,911 | 7,562 |
| 650 | – | 6,837 | 6,837 | 7,535 |
| 700 | – | 6,765 | 6,765 | 7,508 |
| 820 | – | 6,596 | 6,596 | 7,445 |

Как видно, значения скорости подспутниковой точки, вычисленные по формулам (4) и (5), идентичны. Расхождения с данными работы [1] не представляется возможным проанализировать, так как в отмеченной работе приведены только скорости движения подспутниковой точки и нет формул, по которым эта скорость вычислялась. Однако расхождение в 9 м/с, что составит 0,1 % от скорости, не окажет практического влияния на определение искомых параметров.

Расчёты также свидетельствуют о том, что с удалением от центра Земли круговая скорость спутника убывает, что не противоречит утверждению, высказанному автором [2].

Рассчитаем время, через которое необходимо считывать информацию и время формирования условного кадра для сканера HRV (спутник SPOT), по формуле:

$$t = \frac{R}{V_3} \quad (6)$$

Для расчёта времени формирования строки и условного кадра t по скорости смещения подспутниковой точки будем использовать следующие исходные данные для спутника IRS [3]: $H = 820$ км; разрешение на местности (R) и захват соответственно равны 10 и 117000 м; скорость смещения подспутниковой точки $V_3 = 6,596$ км/с (см. табл. 1).

Для расчёта времени t' по круговой скорости $V_k = 7,445$ км/с будем использовать вместо R расстояния, соответствующие разрешению на местности 10 м и захвату 117000 м, спроектированным из центра масс Земли на орбиту, которые составят $R' = 11,3$ и 132059 м соответственно. Величину R' (см. рисунок) вычислили на основании соотношения:

$$\frac{R'}{R} = \frac{r_0}{r} \quad (6)$$

Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчёта времени формирования строки и условного кадра

| H, км | R, м | t, с | R', м | t', с |
|-------|--------|-------|--------|-------|
| 820 | 10 | 1/660 | 11,3 | 1/660 |
| 820 | 117000 | 17,74 | 132059 | 17,74 |

Как видно, полученные результаты одинаковы, следовательно, для определения различных параметров можно использовать как скорость подспутниковой точки V_3 , так и круговую скорость V_k .

Однако в первом случае не требуется дополнительных вычислений и достаточно знать расстояние на местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапов С.В. Фотограмметрия сканерных снимков. - М.: Картгеоцентр - Геоиздат, 1996. - 176 с.
2. Балк М.Б. Элементы динамики космического полёта. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
3. Книжников Ю.Ф. Кравцова, В.И. Космическая стереосъёмка на рубеже веков: предыстория и современность // Геодезия и картография. - 2001. - № 9. - С. 31 - 43.
4. Лаврова Н.П. Космическая фотосъёмка: Учеб. пособие для вузов. - М.: Недра, 1983. - 288 с.