

Для численного расчета величины разброса скоростного напора  $\Delta q$  можно использовать также формулу полной производной от выражения для величины  $q$ , если известны разбросы плотности  $\Delta \rho$  атмосферы и скорости  $\Delta V$  ракеты-носителя в момент разделения ступеней:

$$\Delta q = \frac{1}{2} (\Delta \rho V^2 + 2\rho V \Delta V). \quad (5)$$

**Выводы.** Из результатов, приведенных в табл. 3, следует, что:

1) формирование программы угла тангажа как функции высоты полета РН  $\varphi = \varphi_{np}(H)$  или как функции скорости РН  $\varphi = \varphi_{np}(V)$  дает лучший результат по разбросу высоты и скоростного напора и худший результат по разбросу скорости РН на момент разделения ступеней по сравнению со случаем задания программы угла тангажа как функции времени  $\varphi = \varphi_{np}(t)$ ;

2) задание программы угла тангажа как функции скорости РН  $\varphi = \varphi_{np}(V)$  обеспечивает наименьший по величине разброс скоростного напора на момент разделения ступеней РН по сравнению со случаем задания программы угла тангажа как функции времени  $\varphi = \varphi_{np}(t)$  или как функции высоты полета  $\varphi = \varphi_{np}(H)$ .

1. **Аппазов Р. Ф.** Баллистика управляемых ракет дальнего действия / Р. Ф. Аппазов, С. С. Лавров, В. П. Мишин. – М. : Наука, 1966. – 308 с.

*Надійшла до редколегії 20.03.2014 р.*

УДК 629.78

**М. П. Олейник**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ СПУТНИКОВ ДЗЗ

**Розглянуто питання оптимального розміщення наземної станції з огляду на максимальну тривалість часу видимості супутника ДЗЗ залежно від нахилу орбіти супутника.**

*Ключові слова:* дистанційне зондування Землі, наземні станції прийому інформації, зони видимості.

**Рассматривается задача оптимального размещения наземной станции с точки зрения максимальной длительности времени видимости спутника ДЗЗ в зависимости от наклона орбиты спутника.**

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование Земли, наземные станции приема информации, зоны видимости.

**The optimal placement problem of the ground station in the maximum time terms in view of the satellite Earth remote sensing, depending on the orbit inclination of the satellite.**

*Key words:* earth remote sensing, ground stations receiving the information, visibility zones.

**Введение.** Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) является в настоящее время одним из важнейших направлений применения космической техники для решения различных народнохозяйственных задач, в том числе в области информационных технологий. Космические снимки ДЗЗ дают оперативную информа-

цию, используемую в таких сферах, как картографирование, мониторинг чрезвычайных ситуаций, гидрология, лесное и сельское хозяйство, рыбное хозяйство, экологический мониторинг, учет земельного кадастра, и ряде других [1].

Организация радиосвязи со спутниками ДЗЗ наталкивается на проблему передачи большого объема информации в короткие промежутки радиовидимости, что часто приводит к созданию большого количества наземных станций приема информации.

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу определения зависимости времени видимости спутника с наземной станцией (НС) от её расположения и оптимизации выбора координат наземной станции в зависимости от выбора параметров орбиты спутника ДЗЗ при определенных ограничениях: Кеплерово движение спутника, орбита спутника околосферическая, спутник виден под заданным углом  $h_{\min}$  относительно горизонта.

**Решение задачи.** Зона видимости спутника с НС представлена на рис. 1:

$t_{\text{вх}}$  – время входа спутника ДЗЗ в зону видимости;

$t_{\text{вых}}$  – время выхода спутника ДЗЗ из зоны видимости;

$B$  – положение НС;

$O$  – центр Земли;

$\vec{r}_c$  и  $\vec{r}_{nc}$  – радиус вектора спутника ДЗЗ и НС соответственно.

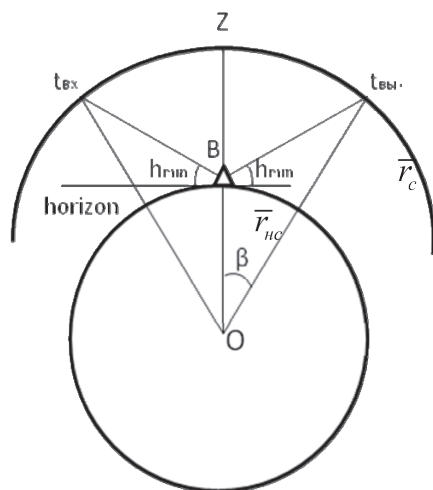


Рис. 1. Зона видимости спутника ДЗЗ с наземной станции

Угол  $\beta$  – угол, при котором спутник ДЗЗ будет виден с наземной станции:

$$\beta = \arccos \frac{R \cdot \cos h_{\min}}{a} - h_{\min}.$$

Угол  $\gamma$  – угол между векторами  $\vec{r}_c$  и  $\vec{r}_{nc}$ , определяется из свойства скалярного произведения векторов:

$$\gamma = \arccos \frac{\vec{r}_c \cdot \vec{r}_{nc}}{|\vec{r}_c| \cdot |\vec{r}_{nc}|}.$$

Условие попадания спутника в зону видимости наземной станции:

$$\gamma < \beta.$$

Определим координаты наземной станции в геоцентрической инерциальной системе координат [3] (Ось  $z$  направлена вдоль оси вращения Земли и указывает на север; ось  $x$  направлена в точку весеннего равноденствия; ось  $y$  дополняет две предыдущие до правосторонней ортогональной системы).

$$\begin{aligned}z &= R \cdot \sin \varphi; \\x(\tau) &= R \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta(\tau); \\y(\tau) &= R \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta(\tau); \\\theta(\tau) &= \theta_g(\tau) + \lambda_E,\end{aligned}$$

где функция  $\theta(\tau)$  – местное сидерическое время. Местное сидерическое время может быть вычислено добавлением восточной долготы наземной станции  $\lambda_E$  к гринвичскому сидерическому  $\theta_g(\tau)$  времени для заданной даты.

$$\theta_g(\tau) = \theta_g(0) + \omega_e \cdot \tau,$$

где  $\tau$  – время UTC;  $\omega_e = 7,29211510 \cdot 10^{-5}$  рад/с – скорость вращения Земли. Гринвичское сидерическое время:

$$\theta_g(\tau) = 24110,54841 + 8640184,812866 \cdot T_u + 0,093104 \cdot T_u^2 - 6,2 \cdot 10^{-6} \cdot T_u^3,$$

$$T_u = \frac{JD - 51544,5}{36525},$$

где JD – юлианская дата, количество суток, прошедших с JD 2451545.0 (1 января 2000, 12h UT1).

Для Земли в системе WGS-72 (Всемирная геодезическая система, 1972) координаты наземной станции будут определяться по формулам [3]:

$$\begin{aligned}x &= a \cdot C \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta; \\y &= a \cdot C \cdot \cos \varphi \cdot \sin \theta; \\z &= a \cdot S \cdot \sin \varphi,\end{aligned}$$

где величины C и S определяются по формулам

$$\begin{aligned}C &= \frac{1}{\sqrt{1 + f \cdot (f - 2) \cdot \sin^2(\varphi)}}; \\S &= (1 - f)^2 \cdot C,\end{aligned}$$

где  $f$  – сжатие, определенное в WGS-72, равное  $1/298,26$  – очень малое отклонение из совершенной сферы.

Определим координаты спутника ДЗЗ. Параметры орбиты берутся из TLE файла:  $i$  – наклонение орбиты;  $\upsilon$  – долгота восходящего узла;  $W$  – аргумент перигея;  $M_0$  – начальное значение средней аномалии;  $n$  – среднее движение. Для этого определим среднюю аномалию [2]:

$$M = M_0 + n \cdot (t - t_0).$$

Эксцентрискую аномалию находим из уравнения Кеплера:

$$E - e \cdot \sin E = M.$$

Решение уравнения Кеплера находим итерационным путем:

$$\begin{aligned}E_1 &= M + e \cdot \sin M \cdot (1 + e \cdot \cos M); \\E_{k+1} &= E_k - \frac{E_k - e \cdot \sin E_k - M}{1 - e \cdot \cos E_k}; \\|E_{k+1} - E_k| &< 10^{-16}.\end{aligned}$$

Истинную аномалию определяем по формуле

$$\theta = 2 \cdot \arctan\left(\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \frac{E}{2}\right).$$

Аргумент широты будет равен

$$U = W + \theta.$$

Расстояние от спутника до центра Земли вычисляем по формуле

$$r = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos \theta}$$

Координаты спутника ДЗЗ в абсолютной системе координат будут равны:

$$\begin{aligned}x &= r \cdot (\cos U \cdot \cos \vartheta - \sin U \cdot \sin \vartheta \cdot \cos i); \\y &= r \cdot (\cos U \cdot \cos \vartheta + \sin U \cdot \sin \vartheta \cdot \cos i); \\z &= r \cdot \sin U \cdot \sin i.\end{aligned}$$

При подстановке  $\bar{r}_c$  и  $\bar{r}_{нс}$  в условие видимости можно определять время сеанса видимости.

При расчете не учитывается влияние аэродинамического сопротивления и других возмущающих факторов.

Используя эту математическую модель, можно узнать положение спутника ДЗЗ относительно НС в любой момент времени.

В среде разработки LabVIEW было создано программное обеспечение для моделирования длительности сеансов связи спутника ДЗЗ с наземной станцией.

#### Исходные данные для моделирования:

Файл TLE:

```
1 27844U 03031E 14201.51600531 .00000286 00000-0 15057-3 0 9267
2 27844 30.0000 147.7174 0000002 0.4550 51.4550 14.21195983564365
```

Минимальный угол наблюдения  $h_{\min} = 15^\circ$ .

Моделирование сеанса связи в течение суток.

Для определения оптимального положения наземной станции были построены графики зависимости времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции для спутников, имеющих наклонение орбиты  $30, 40, 50, 60, 70, 80^\circ$

### Наклонение орбиты $30^\circ$

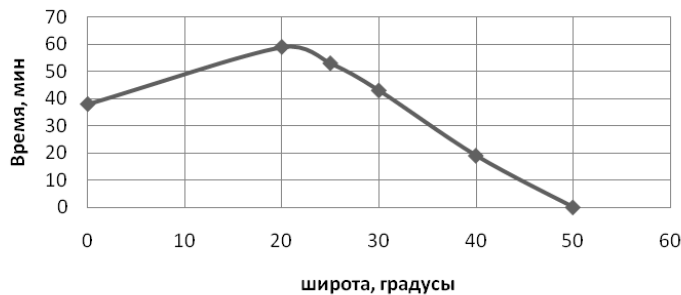


Рис. 2. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника  $30^\circ$

### Наклонение орбиты $40^\circ$

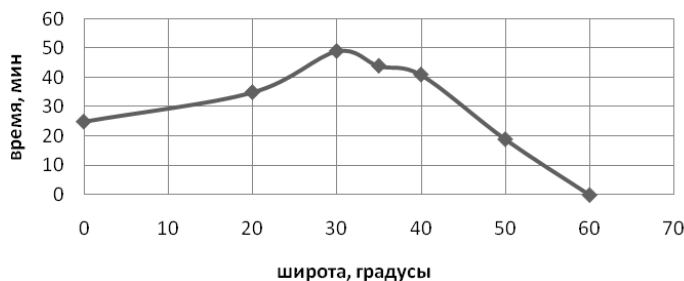


Рис. 3. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника  $40^\circ$

### Наклонение орбиты 50°

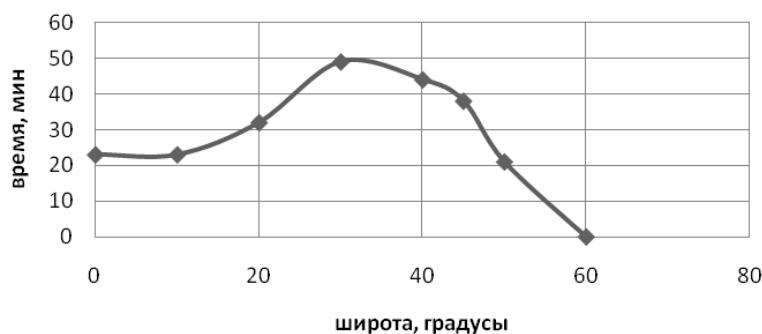


Рис. 4. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника 50°

### Наклонение орбиты 60°

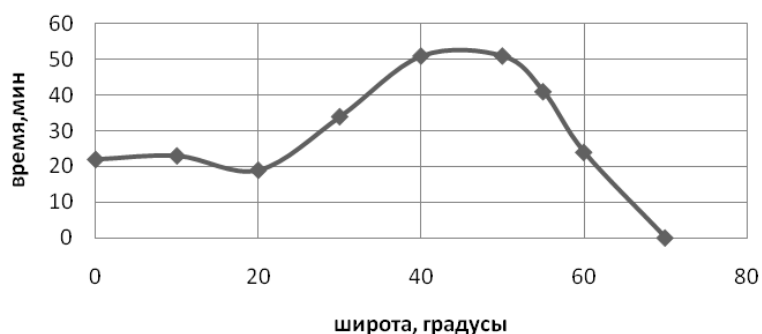


Рис. 5. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника 60°

### Наклонение орбиты 70°

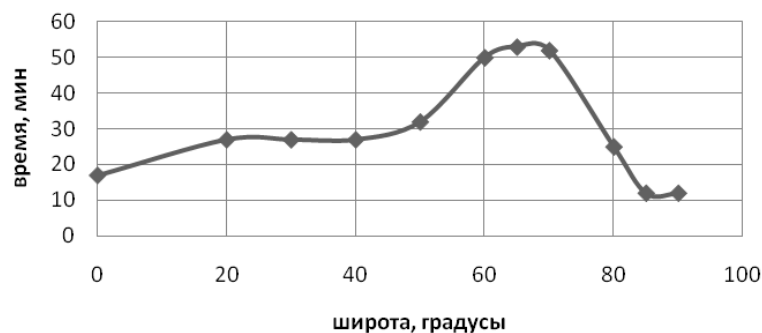


Рис. 6. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника 70°

### Наклонение орбиты 80°

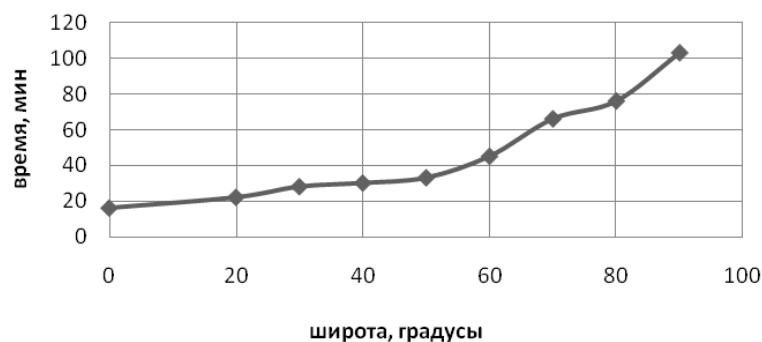
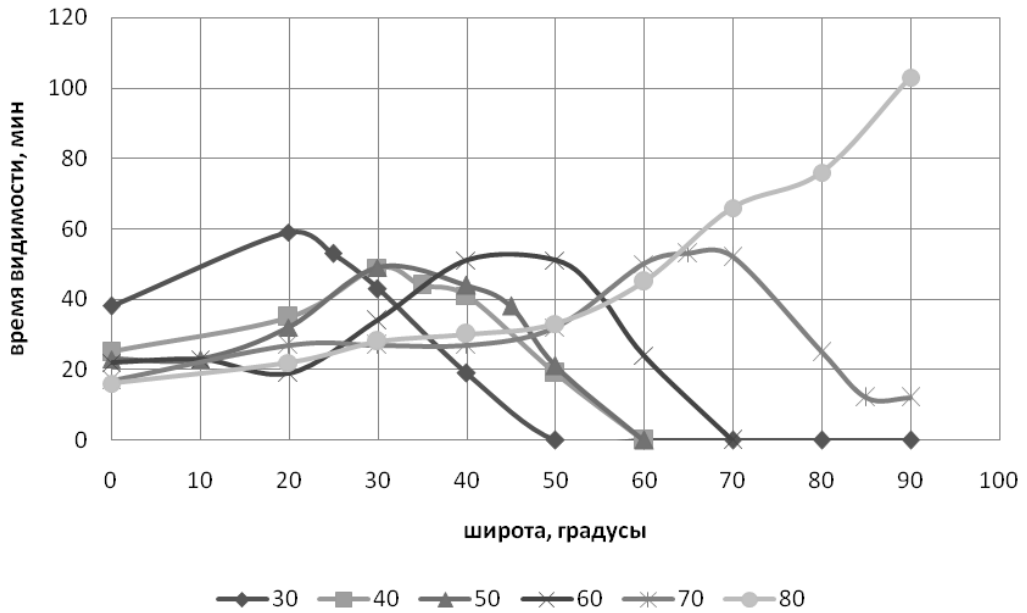
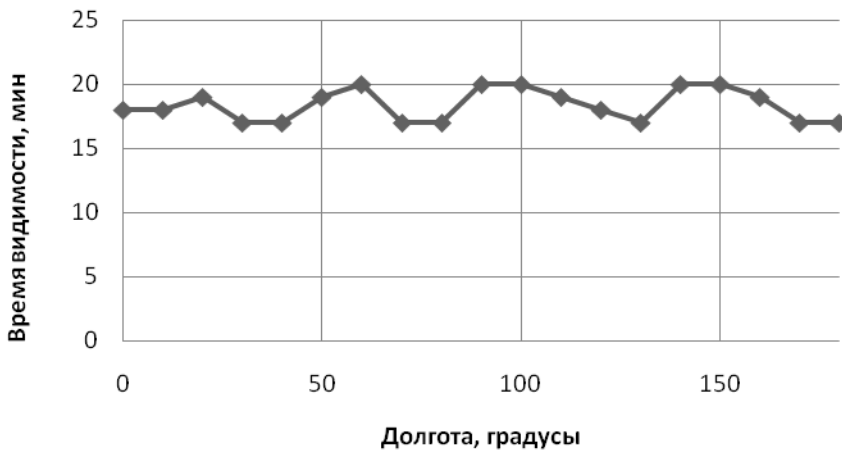


Рис. 7. Зависимость времени видимости спутника ДЗЗ от широты наземной станции при наклонении орбиты спутника 80°



**Рис. 8.** Графік залежності часу видимості супутника ДЗЗ від широти наземної станції при нахленнях орбіти супутника, рівних 30,40,50,60,70,80°

По результатам моделювання був побудований графік залежності часу видимості супутника ДЗЗ від довготи наземної станції (рис. 9) при нахленні орбіти 30°. Из графика видно, что длительность времени видимости супутника ДЗЗ находится в пределах 17–20 минут, что составляет незначительную разницу. Можно сделать вывод, что долгота наземной станции не влияет на время видимости супутника.



**Рис. 9.** Залежність часу видимості супутника ДЗЗ від довготи наземної станції при нахленні орбіти супутника 30°

Результаты моделирования приведены в таблице, в которой для орбит спутников с разным нахлением предлагаются оптимальные широты размещения наземных станций с точки зрения максимальной длительности видимости супутника ДЗЗ.

## Оптимальные широты размещения наземных станций

Наклонение орбиты спутника ДЗЗ, град.	Оптимальные широты размещения наземной станции, град.	Максимальное время видимости, мин.
30	20	59
40	30	49
50	30	49
60	40–50	51
70	65–70	53
80	90	103

**Выводы**

1. Разработан алгоритм определения времени сеансов видимости спутника ДЗЗ с наземной станции. Разработано программное обеспечение для расчета времени видимости спутника ДЗЗ по заданным параметрам TLE файла и координат наземной станции.

2. В результате моделирования получены графики зависимостей времени видимости спутника ДЗЗ от координат наземной станции для разных значений наклона орбиты спутника. Результаты показали, что долгота наземной станции практически не влияет на длительность времени видимости спутника ДЗЗ.

3. Получены рекомендации для определения оптимальной широты наземной станции в зависимости от наклона орбиты спутника ДЗЗ.

4. Результаты могут быть использованы при проектировании систем передачи данных ДЗЗ, определении места расположения наземных станций приема информации.

**Библиографические ссылки**

1. **Гарбук С. В.** Космические системы дистанционного зондирования Земли / С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон. – М. : Изд-во А и Б, 1997. – 296 с.
2. **Охоцимский Д. Е.** Основы механики космического полета / Д. Е. Охоцимский, Ю. Г. Сихарулидзе. – М. : Наука, 1990. – 448 с.
3. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.celestrak.com>.

*Надійшла до редколегії 12.09.2014 р.*

УДК 532.51

**Л. Е. Пицьк**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

**РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ШЕРОХОВАТОСТИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ**

Запропоновано аналітичний метод розрахунку коефіцієнта опору пластини з окремими елементами шорсткості різної геометричної форми при дозвуковому турбулентному режимі обтікання.

*Ключові слова:* пластина, елементи шорсткості, сходинок, уступ, квадратний виступ, дозвуковий турбулентний режим обтікання, коефіцієнт опору, аналітичні вирази.

Предложен аналитический метод расчета коэффициента сопротивления пластины с отдельными элементами шероховатости различной геометрической формы при дозвуковом турбулентном режиме обтекания.

© Л. Е. Пицьк, 2014