

O.V. Kalvatynsky

Center of the special information receiving and processing and the navigating field control

STUDY OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF DIFFERENT ANTENNAS FOR THE RECEIVING OF SPECIAL INFORMATION FROM THE SATELLITES TYPE OF CUBESAT FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH

The **subject matter** of the article is the radio links of the target information of the space remote sensing systems (Earth remote sensing) from spacecraft of the CUBESAT type. The aim is to study the effectiveness of receiving antennas of different diameters (5 and 12 m), namely, changing the information receiving zone. The **goal**: to develop a mathematical model for determining the minimum reception angles of the target information, taking into account the directional pattern and the flaps of the maximum of the diagram from the direction to the receiving station. Determine the minimum angles of the receiving location of the target information with a given error probability per bit of information ($< 10^{-7}$) under the condition of different types of on-board transmitting antennas and receive antennas of different diameters. The **methods** used are: synthesis, mathematical modeling and graphical analysis of the results obtained. The following **results** are obtained. When using a transmitting helical antenna, the minimum reception angles with a given error probability per bit of information $< 10^{-7}$ are less by 10^0 than using a patch antenna. But the value of signal to noise ratio (S/N) when using a helical antenna is dominated by a patch antenna at elevation angles greater than 64^0 , subject to rotation in the direction of the receiving station. When using reflectors with a diameter of 5 m, it is possible to receive information with a specified error probability only for elevation angles greater than 23.5^0 . Thus, the use of reflectors with a diameter of 12 m will significantly increase the possibilities for surveying the Earth's surface due to a longer session of receiving special information. **Conclusions.** Analysis of the technical characteristics of modern on-board components of spacecraft like CUBESAT has demonstrated the promise of using such spacecraft for environmental monitoring. The study of the CUBESAT satellite radio link was carried out taking into account the directional pattern of the on-board transmitting antenna of the target radio link, using a mathematical model created by the author. Using a patch antenna in comparison with a helix antenna makes it possible to extend the information receiving area with specified quality indicators by 10^0 by the elevation angle. Comparison of receiving stations with an antenna diameter of 5 and 12 m indicates the prospects of using reflectors of antenna systems with a diameter of 12 m, which are in Ukraine. The use of ground antennas with a reflector diameter of 12 m will allow receiving special information at minimum elevation angles of 12^0 under the conditions of the calculations (orbit height, on-board transmitter power, data transfer speed).

Keywords: spacecraft, CUBESAT, remote sensing of the Earth, onboard transmitter, receiving station, minimum angles of the information receiving area.

Introduction

Modern trends in the development of space systems aimed at reducing the weight of spacecraft. According to NASA reports [1, 2], operators of space systems are interested in operating low-orbit spacecrafts devices with a mass of less than 180 kg. But a great interest in commercial operators of space systems arises in the use of devices created using CUBESAT technology. This is due to the low cost of developing, creating, launching and operating such on-board devices. At the same time, the low mass of the CUBESAT (up to 10-12 kg) induces the use of radio circuits with a lower power of the on-board transmitter at a high data rate (more than 200 Mbit / s) and a given error probability of the received information $BER = 10^{-7}$. Therefore, it is expedient to study the efficiency of using the most common receiving antennas with different reflector diameters from 5 to 12 m in order to estimate the minimum angles of the information receiving site with a given error probability $BER < 10^{-7}$. An important factor for estimating the minimum angles of the receiving area is the form of the beam antenna transmission pattern (shape, maximum gain, etc.). The directivity pattern of the on-board transmit antenna affects the minimum an-

gles of the receiving position of information from the space system, therefore, accordingly affects the amount of information received from on-board devices.

In [3], the radio link budget is calculated to assess the possibility of receiving information from a CUBESAT type of developed and created by PLANET LAB, but there is no analysis of the minimum angles of the place where information is received from the spacecraft. In [4] different types of transmitting antennas are proposed, but there are no studies of the effectiveness of there are. In the PLANET LAB radio link, the DVB-S2 standard is used, but there is no information on the efficiency of using different types of modulation and coding for these systems [5].

The purpose of the article is to investigate the effectiveness of using ground antenna systems with different reflector diameters for receiving target information from the PLANET LAB in various modulations and data rates. The studies take into account the characteristics of the radiation pattern of the transmitting onboard antenna. The research is based on the technical characteristics of the X - band transmitters, which are designed for a CUBESAT type satellite, provided that the DVB - S2 standard is used and the technical characteristics of existing receiving stations.

The main part

According to [3], since 2013 more than 200 satellites "CUBESAT" type, most of which are commercial, have been put into orbit. The operators of space systems have a serious problem in implementing the reception of information from these spacecraft, the reason of which is the lack of the necessary number of ground receiving stations. In particular, in [7] it is indicated that for a high-quality information reception, stations with a reflector diameter of 5 m are needed. But it is interesting that there are no theoretical studies on the feasibility of using receiving antennas with a large diameter and efficiency of use.

For these studies, knowledge of the technical characteristics of the onboard transmission equipment is necessary. It is known that the French company SYR-LINKS [1] has developed and created a number of transmitters for high-speed data transmission in the X-band for microsattellites and nanosatellites. According to [6], the transmitter PLANETLAB has the characteristics given in Table. 1:

Table 1
Characteristics
of the on-board transmitter of the X-band

The name of the characteristic	Value
Transmitter power, W	2
Carrier frequency, MHz	8133; 8200
Width of the spectrum of the signal, MHz	66,84
Data transfer standard	DVB-S2

It is known [7] that on-board transmitting antennas can be used both with a path microstrip (Fig. 1, a) and helix (Fig. 1, b).

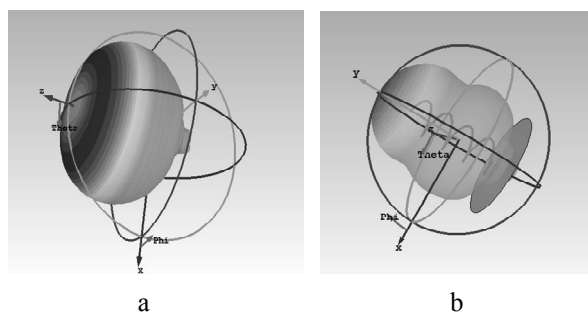


Fig. 1. 3D models of directional diagrams of X-band onboard antenna transmitters: a – with a path microstrip, b – with a helix

Figure 1 shows the directional diagrams of on-board transmitting antenna systems created by simulation in the CST Studio software for CUBESAT in the X-band. Figure 1a shows a patch stripline antenna. Figure 1b shows a helix antenna. The simulation was performed to obtain the dependence of the gain from the angles of rotation (*Theta* and *Phi*) to take into account the outlet of the transmission antenna from the direction to the sampling station. Then the equivalent isotropically radiated power can be written as [5]:

$$\text{EIRP}(\text{Theta}, \text{Phi}) = P_t + G_t(\text{Theta}, \text{Phi}) - L_{\text{fid}}, \quad (1)$$

where P_t – power of the on-board transmitter; $G_t(\text{Theta}, \text{Phi})$ – gain of the on-board antenna system in the direction of the receiving station; L_{fid} – damping of the feeder of the transmission line.

The signal strength at the input of the receiving system in a logarithmic form taking into account the angles of rotation is determined as [6]:

$$C_p(\text{Theta}, \text{Phi}) = \text{EIRP}(\text{Theta}, \text{Phi}) - L_0 - L_{\text{atm}} - L_{\text{pol}}, \quad (2)$$

where L_0 – fading in free space; L_{atm} – Attenuation associated with atmospheric precipitation (snow, rain, etc.); L_{pol} – Polarization losses, which depend on the type of polarization (in circular polarization in low-orbit space systems, with losses of 2 dB [8]).

We will write the equation of radio communication in logarithmic form as [9]:

$$E_s/N_0(\text{dB}) = C_p(\text{Theta}, \text{Phi}) + G_{\text{st}} - 10 \cdot \log(k \cdot T_{\text{sys}} \cdot \Pi), \quad (3)$$

where C_p – the signal strength at the input of the receiving system; G_{st} – Gain of the receiving antenna; k – Boltzmann constant; T_{sys} – Noise temperature of the receiving system; Π – the frequency band in which the transmission of information is carried out;

For mirror antenna systems, the coefficient is defined as [7]:

$$G_{\text{st}} = \eta \cdot (\pi \cdot D/\lambda)^2, \quad (4)$$

where η – the coefficient of the used area, which usually has a value of 0.5-0.65; D – Diameter of the reflector of the antenna system; λ – Wavelength.

Define attenuation in a free space, by the [7]:

$$L_0 = 20 \times \log(4\pi \cdot d/\lambda), \quad (5)$$

where d – the distance to the spacecraft;

Define the distance to the spacecraft using the expression [5]:

$$d = R_e \left(\left((R_e + h)^2 / R_e^2 - \cos^2(\beta) \right)^{1/2} - \sin(\beta) \right), \quad (6)$$

where R_e – the radius of the Earth; h – Orbit height; β – The angle of the receiving station;

Using expressions (1-6) it is possible to determine the dependence of the E_s/N_0 on the angle of the site, with known characteristics of the on-board transmitting equipment, receiving station and the orbital altitude of the spacecraft. For information transfer, the DVB-S2 [4] standard is used. The calculated dependences of the E_s/N_0 from the elevation angle of the receiving of the spacecraft with different types of antennas are shown in Fig. 2.

That is, when using the transmitting helical antenna [1], the minimum reception angles with a given probability $\text{BER} < 10^{-7}$ are less by 10^0 than using a patch antenna, it decreases the information reception zone. But the value of the E_s/N_0 when using a helical antenna is dominated by the patch antenna at elevation angles of greater than 34^0 , subject to rotation towards the receiving station.

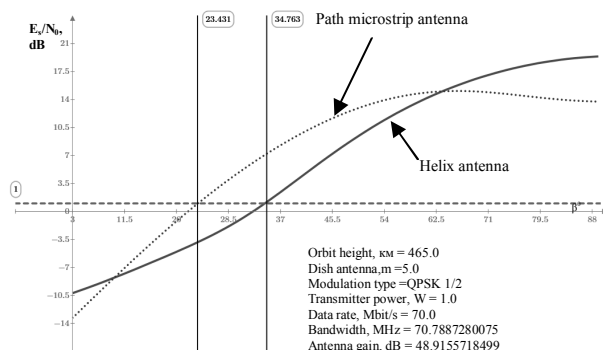


Fig. 2. Dependencies of the ratio E_s/N_0 on the elevation angle for the two types of on-board transmit antennas

Let us compare the dependence of the ratio E_s/N_0 on the elevation angle of the spacecraft with the reflector diameters of the receiving antenna of 5 m and 12 m and on-board path mikrostrip antenna. For this we carried out a simulation, the results of which are shown in Fig. 3.

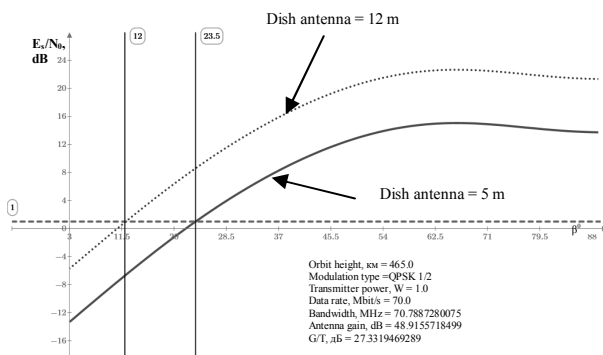


Fig. 3. Dependencies of E_s/N_0 on the elevation angle for two types of reflectors of receiving antennas with on-board path mikrostrip antenna

Analysis of simulation results shows that when using reflectors with a diameter of 12 m, special information with a specified value of $BER < 10^{-7}$ can be received from the 12° minimum angles, and when using reflectors with a diameter of 5 m - only for elevation angles greater than 23.5. Thus, the use of reflectors with a diameter of 12 m will significantly increase the possibilities for surveying the Earth's surface due to a longer session of receiving special information.

Let us compare the dependence of the ratio E_s/N_0 on the elevation angle of the spacecraft with the reflector diameters of the receiving antenna of 5 m and 12 m and on-board helix antenna. For this we carried out a simulation, the results of which are shown in Fig. 4.

Analysis of simulation results shows that when using reflectors with a diameter of 12 m, special information with a specified value of $BER < 10^{-7}$ can be received from the 15.7° minimum elevation angles, and when using reflectors with a diameter of 5 m - only for elevation angles greater than 34.6° . Thus, the use of reflectors with a diameter of 12 m will significantly increase the possibilities for surveying the Earth's surface due to a longer session of receiving special information.

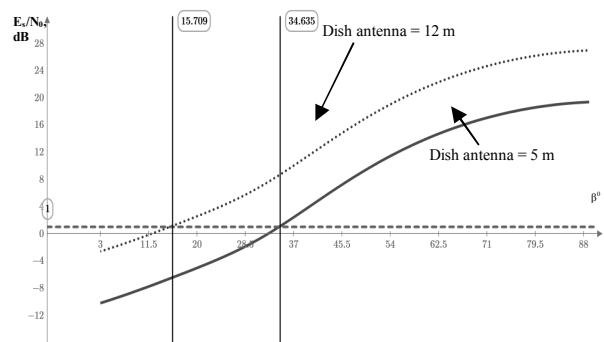


Fig. 4. Dependencies of E_s/N_0 on the elevation angle for two types of reflectors of receiving antennas with on-board helix antenna

Conclusions

1. Analysis of the technical characteristics of modern on-board components of spacecraft like CUBESAT has shown the promise of using such spacecraft for environmental monitoring.
2. Investigation of the CUBESAT satellite radio was carried out taking into account the directional pattern of the on-board transmitting antenna of the target radio link using a mathematical model created by the author.
3. Using a patch antenna in comparison with a helix antenna allows to expand the zone of reception of information with the given quality indicators by 10^0 by the elevation angle.
4. Comparison of receiving stations with an antenna diameter of 5 m and 12 m indicates the prospects of using reflectors with a diameter of 12 m, which are on the domestic territory and are operated in Ukraine.
5. The use of ground station with a reflector diameter of 12 m will allow receiving special information at minimum elevation angles of 12° under the conditions of the calculations (orbit height, on-board transmitter power, data transfer speed).

References

1. *Small spacecraft technology. State of the art. Mission design division staff Ames research center, Moffett Field. California: July 2014.*
2. *TM space data link protocol. Recommendation for space data system standards. CCSDS. 130.1-G-2. Green book. Washington, D.C.: CCSDS, November 2012.*
3. *Cubesat communications system table. Mode of access: World Wide Web <https://www.klofas.com/comm-table/>*
4. *Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), ETSI EN 302 307 V1.2.1: European Telecommunications Standards Institute, Mart 2009.*
5. *Louis J. Satellite Communications Systems Engineering Atmospheric Effects, Satellite Link Design and System Performance / Louis J. Ippolito Jr. California: A JOHN WILEY & SONS, INC., 2008. – 396 p.*
6. *Planet Labs Specifications: Spacecraft Operations & Ground Systems. Mode of access: World Wide Web <http://>*

//www.rsgis.ait.ac.th/main/wpcontent/uploads/Planet-Labs-Spacecraft-Ops.pdf

7. Ziemer, Rodger E. Principles of communication : systems, modulation, and noise / Rodger E. Ziemer, William H. Tranter. – Seventh edition, California: A JOHN WILEY & SONS, INC., 2014. – 746 p.

8. Nguyen H. A first course in digital communication. / Nguyen H., Shwedik // UK Cambridge university press – 2009. 564 p.

9. Roddy. D. Satellite communication. Fourth edition. / Roddy D. // New York: McGraw-Hill – 2006. 656 p.

Надійшла до редколегії 5.02.2018

Рецензент: доктор технічних наук, доцент Фриз Сергій Петрович, начальник кафедри Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ АНТЕНН ДЛЯ ОТРИМАННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТИПУ CUBESAT ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

О.В. Кальватинський

Предметом вивчення в статті є радіолінії цільової інформації космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космічних апаратів (КА) типу CUBESAT. **Метою** є дослідження ефективності застосування приймальних антен різного діаметру (5 та 12 м), а саме зміни зони прийому інформації. **Завдання:** розробити математичний апарат визначення мінімальних кутів приймання цільової інформації з врахуванням діаграми спрямованості та відвороту максимуму діаграми від напрямку на приймальну станцію. Визначити мінімальні кути місця приймання цільової інформації з заданою ймовірністю похибки на біт інформації ($<10^{-7}$) при умові різних типів бортових передавальних антен та приймальних антен з різним діаметром рефлектора. Основними застосовуваними **методами** є: синтез, математичного моделювання та графічного аналізу отриманих результатів. Отримані такі **результати**. При використанні передавальної спіральної антени, мінімальні кути місця прийому із заданою ймовірністю похибок на біт інформації $<10^{-7}$ на 10° менші ніж при використанні патч - антени, що зменшує зону прийому інформації. Але значення С/Ш при використанні спіральної антени при кутах місця більших 64° переважає патч - антenu, при умові повороту в напрямку на приймальну станцію. При використанні рефлекторів з діаметром 5 м можливе приймання інформації тільки при кутах місця більше $23,5^\circ$. Таким чином використання рефлекторів з діаметром 12 м значно збільшить можливості по зйомці Земної поверхні за рахунок більш тривалого сеансу прийому спеціальної інформації. **Висновки.** Аналіз технічних характеристик сучасних бортових складових елементів КА типу CUBESAT показав перспективність використання таких КА для моніторингу навколишнього середовища. Дослідження радіолінії КА CUBESAT проводилися з врахуванням діаграми спрямованості бортової передавальної антени цільової радіолінії за допомогою математичної моделі створеної автором. Використання патч - антени порівняно зі спіральною антеною дозволяє розширити зону прийому інформації з заданими показниками якості на 10^0 по куту місця. Порівняння приймальних станцій з діаметром антени 5 та 12 м вказує на перспективність використання рефлекторів з діаметром 12 м, які знаходяться на території України. Використання наземних антен з діаметром рефлектора 12 м дозволить здійснювати прийом спеціальної інформації при мінімальних кутах місця 12° при умовах взятих до розрахунків (висота орбіти, потужність бортового передавача, швидкість передачі даних).

Ключові слова: космічний апарат, CUBESAT, дистанційне зондування Землі, бортовий передавач, приймальна станція, мінімальні кути місця прийому інформації.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С КА ТИПА CUBESAT ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.В. Кальватинський

Предметом изучения в статье являются радиолинии целевой информации космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с космических аппаратов (КА) типа CUBESAT. **Целью** является исследование эффективности применения приемных антенн различного диаметра (5 и 12 м), а именно изменения зоны приема информации. **Задача:** разработать математический аппарат определения минимальных углов приема целевой информации с учетом диаграммы направленности и отворотов максимума диаграммы от направления на приемную станцию. Определить минимальные углы места приема целевой информации с заданной вероятностью ошибки на бит информации ($<10^{-7}$) при условии различных типов бортовых передающих антенн и приемных антенн с различным диаметром. Основными применяемыми **методами** являются: синтез, математического моделирования и графического анализа полученных результатов. Получены следующие **результаты**. При использовании передающей спиральной антенны минимальные углы места приема с заданной вероятностью ошибок на бит информации $<10^{-7}$ на 10° меньше, чем при использовании патч - антенны. Но значение С/Ш при использовании спиральной антенны преобладает патч - антенну при углах места больше 64° , при условии поворота в направлении на приемную станцию. При использовании рефлекторов диаметром 5 м возможно принимать информацию с заданной вероятностью ошибок только при углах места больше $23,5^\circ$. Таким образом, использование рефлекторов диаметром 12 м значительно увеличит возможности по съемке Земной поверхности за счет более длительного сеанса приема специальной информации. **Выводы.** Анализ технических характеристик современных бортовых составляющих элементов КА типа CUBESAT показал перспективность использования таких КА для мониторинга окружающей среды. Исследование радиолинии КА CUBESAT проводилось с учетом диаграммы направленности бортовой передающей антенны целевой радиолинии, с помощью математической модели созданной автором. Использование патч - антенны по сравнению со спиральной антенной позволяет расширить зону приема информации с заданными показателями качества на 10^0 по углу места. Сравнение приемных станций с диаметром антенны 5 и 12 м указывает на перспективность использования рефлекторов антенных систем диаметром 12 м, которые находятся в Украине. Использование наземных антенн с диаметром рефлектора 12 м позволит осуществлять прием специальной информации при минимальных углах места 12° при условиях взятых расчетах (высота орбиты, мощность бортового передатчика, скорость передачи данных).

Ключевые слова: космический апарат, CUBESAT, дистанционное зондирование Земли, бортовой передатчик, приемная станция, минимальные углы места приема информации.