

МОДЕЛЬ РАДІОЛІНІЇ З ПІДВИЩЕНОЮ ІНФОРМАТИВНІСТЮ ДЛЯ НИЗЬКООРБІТАЛЬНОГО СУПУТНИКА

І. Д. Савченко, А.М. Кулабухов, В.О. Масальський, А.В. Тищенко
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна 72, м. Дніпро,
49010, Україна

Анотація. Запропонована модель радіолінії «космос-Земля» на базі фазованої антенної решітки з можливістю керування напрямком випромінювання антени, яка дозволяє в умовах обмеженої енергетики і габаритів підвищити інформативність радіоканалу з низькоорбітального університетського наносупутника

Ключові слова: НАНОСУПУТНИК, СУПУТНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС, ФАЗОВА АНТЕНА РЕШІТКА S-ДІАПАЗОНУ.

Аннотация. Предложена модель радиолинии «космос-Земля» с повышенной информативностью для низкоорбитального университетского наноспутника. Радиолиния моделируется на базе бортовой антенны высокочастотного S-диапазона. В настоящее время задача создания радиолиний «космос-Земля» в условиях ограниченной энергии спутников с повышенной информативностью постоянно требуют совершенствования своих возможностей. Для реализации такого решения разрабатываются различные варианты, начиная от увеличения времени передачи данных за счет ретрансляторов, разработки новых методов кодирования и увеличение пропускной способности радиолиний. Одно из решений - использование антенны среднего или высокого коэффициента усиления.

Расчеты проводились в соответствии с программой международного формата AMSAT-IARU-Link-Model. Расчет предложенной модели состоит из трех основных условий: наибольшие потери энергии радиосигнала в свободном пространстве, эквивалентной изотропно-излучаемой мощности и добротности приемной станции. Коэффициент усиления фазированной антенной решетки, установленной на спутнике, составляет 12 дБи, коэффициент усиления приемной антенны составляет 35 дБи. Результаты расчета показали способность передавать до 50 изображений поверхности Земли в день на наземную станцию в средних широтах. Использование фазированной антенной решетки и переход к S-диапазону позволяют с меньшими габаритами увеличить усиления антенны и скорость передачи в сеансах связи
Ключевые слова: НАНОСПУТНИК, СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС, ФАЗОВАЯ АНТЕННА РЕШЕТКА S-ДИАПАЗОНА.

Abstract. A proposed the model of a radioline “space-to-Earth” with more informative for a low orbit university nanosatellite. The radioline is modeled on a antenna of the high-frequency S-band. At present time, the tasks of creating radiolines “space-to-Earth” in the conditions of limited energy of satellites with more informativeness (for telemetry radiolines and information radiolines) constantly require increasing their capabilities. Various options are being developed to implement such a solution, ranging from increasing the data transmission time due to repeaters and developing new encoding methods and increasing the bandwidth of radio lines. One solution is to use middle or high gain antennas.

The model of a radioline is designed on the basis of the high-frequency (S-band) antenna. The calculations were carried out according to the international format of the AMSAT-IARU-Link-Model program. The calculation of the proposed the model consists of three basic conditions: the greatest loss of energy of the radio signal in free space, equivalent to isotropic radiating power and quality factor of the receiving station. The proposed model is built on the basis of a phased antenna array with a gain of 12 dBi for transmit from nanosatellite, the gain of the receiving antenna is 35 dBi. The results showed the ability to transmit up to 50 images of the Earth's surface per day. The use of a phased array antenna and the transition to the S-band allowed with smaller dimensions to increase the antenna gain and the rate of information transmission in communication sessions.

Keywords: NANOSATELLITE, SATELLITE COMMUNICATION, RADIO ENERGY BALANCE, PHASED ARRAY ANTENNA S-BAND.

Вступ

Основна тенденція розвитку супутників – це збільшення обсягу інформації, що передається на приймальні станції при обмежених габаритах

супутників і їх енергетиці. Особливо це питання важливе для супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та супутників зв'язку. Основні складності при проектуванні надійних високошвидкісних

радіоліній для низькоорбітальних мікросупутників є суттєві енергетичні обмеження, пов'язані у першу чергу обмеженням на габарити антен і самого супутника. Наприклад, на університетський супутник PolyITAN національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» була розроблена радіолінія “космос-Земля” з монопольною антеною частотного діапазону 437 МГц з коефіцієнтом підсилення 2 дБі та з вихідною потужністю передавача 1 Вт. Значення еквівалентно ізотропно-випромінюючої потужності (EIBП) становить 0.3 дБВт [1]. Основним завданням цього супутника була апробація у космічному просторі розробок студентів.

Більшість проектів університетських супутників мають цільове призначення для отримання інформації із космосу, в завдання яких входить, наприклад, зйомка земної поверхні (фото- відеозапис) та передача цієї інформації за короткий час в сеансах зв'язку з приймальними станціями (на широті м. Дніпро це становить в середньому не більше 4,2 сеансів на добу кожний з яких не більше 15 хвилин [3]). Зазначена вище радіолінія “космос-Земля” супутника PolyITAN суттєво обмежує функціональні можливості супутника.

Постановка задачі

Розглядається задача створення радіолінії «космос-Земля» в умовах обмеженої енергетики університетського супутника з підвищеною інформативністю (зі швидкістю передачі до 1000 кбит/с).

Рішення завдання

Пропонується радіолінія з використанням фазованої антенної решітки частотного діапазону 2400-2402 МГц та коефіцієнтом підсилення 12 дБі. З можливістю керувати напрямком випромінювання антени на приймальну станцію. Розглянемо задачу розрахунку характеристик радіолінії для низьких орбіт (до 500 км) з урахуванням надійного прийому інформації з наносупутника на кутах місця від 5 град. (радіальна дальність до 2078 км), приймальною антеною з

коефіцієнтом підсилення до 35 дБ та з використанням BPSK модуляції.

Енергетичний баланс розраховується з наступних умов:

- найбільші втрати енергії радіосигналу знаходяться в вільному просторі на шляху розповсюдження радіохвилі (залежить від максимальної радіальної дальності);

- еквівалентна ізотропно-випромінююча потужність випромінюючої системи залежить від коефіцієнту підсилення антени, потужності передавача та втрат в антенно-фідерному тракті;

- добротність приймальної станції залежить від коефіцієнту підсилення приймальної антени, втрат в антенно-фідерному тракті, загальної шумової температури всієї системи та підсилювача.

Рішення про схвалення або доопрацювання розрахованого енергетичного балансу залежить від необхідної якості та параметрів радіолінії. При недостатньому балансі доводиться шукати компроміси або покращувати по можливості перелічені вище параметри в залежності від умов та середовища.

Еквівалентна ізотропно-випромінююча потужність розраховується наступною формулою [2]

$$EIBП = 10 * \log P_n + G_a - La\phi, \quad (1)$$

де P_n – потужність передавача;

G_a – коефіцієнт підсилення антени;

$La\phi$ – втрати в антенно-фідерному тракті.

Втрати у вільному просторі розраховується за наступною формулою [2]:

$$L_{\text{вп}} = 22.0 + 20 * \log \left(\frac{S}{\lambda} \right), \quad (2)$$

де S – радіальна дальність;

λ – довжина радіохвилі в конкретному середовищі.

Добротність приймальної станції [2]:

$$G/T = G_{\text{пра}} - La\phi - 10 * \log T, \quad (3)$$

де $G_{\text{пра}}$ – коефіцієнт підсилення приймальної антени;

$La\phi$ – втрати в антенно-фідерному тракці;

T – шумова температура всієї системи.

Крім втрат у вільному просторі, ще потрібно також враховувати додаткові втрати: поляризаційні, іоносферні, втрати з урахуванням похибки наведення антен та втрати в атмосферних опадах.

Після розрахунку G_a , $EIBП$, G/T наступним етапом розраховується найголовніший параметр системи - це співвідношення “сигнал/шум” [2]:

$$S/N = G/T + EIBП - \sum L - k \quad (4)$$

$$\sum L = La\phi - L_n - L_i - L_n - L_o \quad (5)$$

де L_n – поляризаційні втрати;

L_i – іоносферні втрати;

L_n – похибка наведення антен;

L_o – втрати в опадах;

k – стала Больцмана (-228.6 дБВт/К/Гц).

Рівень енергії на біт інформації розраховується за формулою [2]:

$$Eb/No = S/N - 10 * \log R \quad (6)$$

де R – швидкість передачі (біт/с).

Результат порівнюється з мінімально необхідним в залежності від швидкості передачі.

Забезпечення необхідного співвідношення “сигнал/шум” в першу чергу залежить від таких параметрів, як: смуга радіочастот; потужність випромінювання; тип модуляції; метод кодування та інше.

Із зазначених вище етапів розрахунку радіолінії “космос-Земля” та запропонованої моделі отримуємо наступні результати:

1) $EIBП = 11,5$ дБВт;

2) $L_{en} = -166,4$ дБ;

3) $G/T = 6,7$ дБ/К;

4) $S/N = 72,9$ дБГц

5) $Eb/No = 12,8$ дБ

Отриманий рівень енергії на біт інформації 12,8 дБ (зі швидкістю передачі

1000 Кбіт/с) є достатнім при необхідному 10,5 дБ (для модуляції BPSK).

В університеті розробляється університетський супутник з оптичною системою з керованим оптичним збільшенням для зйомок земної поверхні. Розрахований розмір одного знімка 5 Мбайт. Середньомісячний час зв'язку за добу для наземної станції, розташованої у середніх широтах (м. Дніпро), розрахований у програмі Орбітрон та складає 35 хвилин [3], тоді зі швидкістю 1000 Кбіт/с можливо передавати до 50 знімків за добу.

Висновки

Запропонована модель радіолінії “космос-Земля” на базі фазованої антенної решітки з можливістю керування напрямком випромінювання антени, яка дозволяє в умовах обмеженої енергетики і габаритів підвищити інформативність радіоканалу з низькоорбітального університетського наносупутника.

Використання фазованої антенної решітки і перехід в S-діапазон дозволило за меншими габаритами дозволило підвищити коефіцієнт підсилення антени і швидкість передачі інформації у сеансах зв'язку.

Проведені розрахунки показали можливість передачі до 50 знімків земної поверхні за добу при встановленні запропонованої радіолінії “космос-Земля” на університетському наносупутнику.

Бібліографічні посилання

1. Антипенко Р. В., Першин М. О., Смоков Є. О. Оптимізація радіолінії супутникового зв'язку. *Міжнародна науково-технічна конференція “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи”, розділ “Телекомунікація, радіолокація, навігація”*. Київ. 2016 р. – С. 165–167. URL: http://www.kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/rtpsas_2016/RTPSA_S_2016_s5_t13.pdf.
2. AMSAT/IARU Annotated Link Model System. Jan A. King. URL: http://www.amsatuk.me.uk/iaru/AMSAT-IARU_Link_Model_Rev2.5.3.xls.

3. Себастьян Стофф, програма
«Орбітрон» версія 3.71 - 2005.09.08 р.
URL: <http://www.stoff.pl/>

Надійшла до редколегії 20.11.2019 р.

Відомості про авторів



Савченко Ігор Дмитрович,
Україна. Дніпровський
національний університет
ім. Олесь Гончара.
Старший викладач.
Сфера інтересів – системи
телекомунікацій



Кулабухов Анатолій
Михайлович, Україна.
Дніпровський національний
університет ім. Олесь
Гончара. Завідувач кафедри
систем автоматизованого
управління, кандидат
технічних наук, доцент.
Сфера інтересів - системи
керування і телекомунікації



Масальський Віктор
Олександрович,
Україна. Дніпровський
національний університет ім.
Олесь Гончара.
Аспірант.
Сфера інтересів –
супутниковий зв'язок



Тищенко Арамаїс
Вікторович,
Україна. Дніпровський
національний університет ім.
Олесь Гончара.
Аспірант.
Сфера інтересів - системи
керування і телекомунікації