

В. Горбатий, І.В. Горбатий*

Державне науково-дослідне підприємство “КОНЕКС”, м. Львів

*Національний університет “Львівська політехніка”

кафедра телекомунікацій

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ДІАМЕТРА АНТЕНИ ПРИЙМАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ПРИЙМАННЯ ДАНИХ ІЗ СУПУТНИКІВ ДЗЗ

© Горбатий В., Горбатий І.В., 2008

Виконано комп'ютерне моделювання залежності відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора приймальної станції (ПС) системи дистанційного зондування Землі від діаметра антени ПС, швидкості передавання даних і коефіцієнта шуму малошумного підсилювача (МШП) чи конвертора. За результатами моделювання визначено оптимальний діаметр антени й оптимальний коефіцієнт шуму МШП приймальної станції.

The computer design of dependence of SNR on the input of receiving station (RS) demodulator for system of the remote sensing of Earth from the diameter of the RS antenna, data speed and noise coefficient of low noise amplifier or converter was made. As a result of design the optimum diameter of antenna and optimum noise coefficient of low noise amplifier of the RS was certain.

Вступ

На сучасному етапі активно розвиваються системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Інформація, отримана з космічних апаратів (КА) ДЗЗ, використовується для формування карт місцевості, пошуку природних ресурсів, інженерно-будівельних робіт і сільськогосподарської галузі. Уже розвиваються проекти, пов'язані із плануванням міської забудови, а також забезпеченням пошуково-рятувальних операцій, в екологічних і природоохоронних проектах.

Відповідно до вимог, які зростають, покращуються технічні характеристики супутникових систем ДЗЗ. Збільшується кількість діючих КА, розширяється номенклатура та інформаційні можливості встановлюваної на них апаратури дистанційного зондування, підвищується оперативність доставки інформації до споживача.

Для роботи із сучасними КА ДЗЗ необхідно будувати нові ПС, що забезпечують приймання даних зі швидкостями від 10 до 500 Мбіт/с, проектування яких у літературі висвітлено недостатньо [1–6]. Тому доцільним є розроблення нових математичних моделей радіоканалу КА-ПС для визначення оптимальних параметрів вузлів ПС. Такі моделі необхідно використовувати при проектуванні ПС на сучасному етапі.

Метою цієї роботи є визначення оптимального діаметра антени та оптимального коефіцієнта шуму МШП чи конвертора ПС для приймання даних із супутників ДЗЗ на підставі результатів комп'ютерного моделювання залежності відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора ПС від діаметра антени ПС, швидкості передавання даних і коефіцієнта шуму МШП (конвертора) для КА ДЗЗ, що перебувають на сонячно-синхронній орбіті заввишки від 350 до 900 км.

1. Теоретичні дослідження радіоканалу КА-ПС

Для визначення оптимального діаметра антени ПС необхідно знати основні параметри радіоканалу: вихідну потужність, згасання сигналу в антенно-фідерному тракті (АФТ) і коефіцієнт підсилення антени передавального пристрою КА; згасання сигналу у вільному просторі та атмосфері;

згасання сигналу в АФТ, еквівалентну шумову температуру й чутливість приймального пристрою. Також потрібно знати загальні параметри радіоканалу: діапазон робочих частот, дальність дії ПС, швидкість передавання інформації, структуру використаних сигналів і метод модуляції, достовірність приймання інформації, згасання енергії сигналу через похибку наведення приймальної антени приймального пристрою, а також апаратні втрати. Для оптимізації основних параметрів ПС авторами розроблено математичну модель радіоканалу КА-ПС.

Використовуючи розроблену модель, спочатку обчислюють загальне згасання L_{Σ} в радіоканалі, що дорівнює сумі згасань в усіх складових (дБ):

$$L_{\Sigma} = L_o + L_{атм} + L_{афт} + L_{на}, \quad (1)$$

де L_o – згасання сигналу у вільному просторі, дБ; $L_{атм}$ – згасання за рахунок поглинання енергії сигналу в компонентах атмосфери, дБ; $L_{афт}$ – згасання сигналу в антенно-фідерних трактах, дБ; $L_{на}$ – згасання сигналу за рахунок неточності наведення антени, дБ.

Згасання сигналу у вільному просторі визначається виразом:

$$L_o = (4\pi d / \lambda)^2, \quad (2)$$

де d – відстань до космічного апарата, м, λ – довжина хвилі, м.

Згасання сигналу в атмосфері (дБ):

$$L_{атм} = L_{оно} + L_g, \quad (3)$$

де $L_{оно}$ – згасання енергії сигналу за рахунок поглинання киснем і воднем, L_g – згасання енергії сигналу, викликані дощем.

Згасання за рахунок неточності наведення антени $L_{на}$ визначається за формулою:

$$L_{на} = 1 + \left(\frac{2\Delta}{\Theta_{0,5}} \right)^2, \quad (4)$$

де Δ – помилка наведення приймальної антени, °; $\Theta_{0,5}$ – ширина головного пелюстка діаграми направленості за рівнем половинної потужності, °.

Шумова температура $T_{ш}$ (°К) МШП чи конвертора може бути виражена через коефіцієнт шуму $n_{ш}$ (дБ) МШП чи конвертора так:

$$T_{ш} = T_0 (n_{ш} - 1), \quad (5)$$

де T_0 – абсолютна температура середовища, у якому працює приймач, °К.

Повна ефективна температура T_e приймального пристрою, перерахована на вхід приймача (К):

$$T_e^{6x} = T_A \cdot \eta_{нрм} + T_g + T_{ш}, \quad (6)$$

те саме – до опромінювача приймальної антени:

$$T_e^A = T_A + \frac{T_g}{\eta_{нрм}} + \frac{T_{ш}}{\eta_{нрм}}, \quad (7)$$

де T_A – еквівалентна шумова температура антени в ідеальній атмосфері при певному куті місця, °К; $\eta_{нрм}$ – згасання в опромінювачі й хвилеводі ПС, дБ; T_g – еквівалентна шумова температура фідерного тракту ПС, що працює при абсолютній температурі, К.

Еквівалентна шумова температура антени (°К) залежить від складових:

$$T_A^{3c} = T_k(\beta^0) + T_a(\beta^0) + \alpha T_p + T_{ша}, \quad (8)$$

де $T_k(\beta^0)$ – складова, зумовлена прийманням космічного радіовипромінювання, що залежить від кута місця антени, К; $T_a(\beta^0)$ – складова, зумовлена випромінюванням атмосфери й залежна від кута місця антени, К; α – коефіцієнт, що враховує усереднений рівень бокових і задніх пелюстків діаграми направленості антени; T_p – складова, що враховує випромінювання Землі, К; $T_{ша}$ – шумова температура антени, що враховує власні шуми антени через наявність втрат у її елементах, К;

Якщо відоме згасання V_a (дБ) радіосигналу в атмосфері (з урахуванням опадів), шумова температура атмосфери може бути визначена за такою формулою (К):

$$T_a(\beta^0) = 260^0 \cdot \left(1 - \frac{1}{V_a}\right). \quad (9)$$

Підсилення антени $G_{A \text{ нрм}}$ ПС можна визначити за формулою (дБ):

$$G_{A \text{ нрм}} = 10 \lg \left(\left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda_{zc}} \right)^2 \cdot \gamma_A \right), \quad (10)$$

де D – діаметр параболічної антени (рефлектора), м; λ_{zc} – довжина робочої хвилі на ділянці земля-супутник, м; γ_A – коефіцієнт використання поверхні антени.

Реальна чутливість ПС у режимі передавання цифрових повідомлень методом безпосередньої маніпуляції несучого колювання визначається за формулою (дБВт):

$$P_{нрм} = 10 \lg \left(h^{*2} k T_e^A P_{ш \text{ нрм}} \right) + \Delta P_{техн}, \quad (11)$$

де h^{*2} – відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора приймача для забезпечення заданої ймовірності помилок; k – стала Больцмана, Вт/с/К; $P_{ш \text{ нрм}}$ – шумова смуга пропускання приймального пристрою, що залежить від виду модуляції сигналу та швидкості передавання даних, Гц; $\Delta P_{техн}$ – поправка на технічну реалізацію приймального пристрою, дБ.

Потужність шумів на вході приймального пристрою дорівнює:

$$P_{шн} = k \cdot T_e^{6x} \cdot P_{ш \text{ нрм}}. \quad (12)$$

У такому разі критерієм оптимальності діаметра приймальної антени є виконання такого співвідношення для всіх досліджуваних КА:

$$P_{нрд} + G_{A \text{ нрд}} + G_{A \text{ нрм}} - L_{\Sigma} - P_{нрм} \geq 0, \quad (13)$$

де $P_{нрд}$ – потужність передавача КА, дБВт; $G_{A \text{ нрд}}$ – коефіцієнт підсилення передавальної антени КА, дБ.

2. Результати математичного моделювання

Для отримання залежності відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора ПС від діаметра антени ПС, швидкості передавання даних і коефіцієнта шуму МШП чи конвертора ПС для різних КА використано формули (1)–(13) і значення параметрів КА, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри КА ДЗЗ

Супутник	Вид модуляції	Частота несучої, МГц	Швидкість передавання, Мбіт/с	Потужність передавача, Вт	Висота орбіти, км
Ресурс-ДК1	DPSK, DQPSK	8182, 8338	2x122,88	10	480
TERRA	QPSK	8212,5	150	10	705
Quick Bird-2	OQPSK	8185	320	10	450
Ikonos-2	QPSK	8346	320	10	680

Крім параметрів, наведених у табл. 1, використано також також незмінні параметри:

- коефіцієнт використання площі приймальної антени – 0,7;
- відношення сигнал/шум $P_c / P_{ш}$ на вході демодулятора – 12 дБ;
- коефіцієнт шуму МШП чи конвертора – 0,5 дБ;

- температура навколишнього середовища АФТ ПС – 290 К;
- згасання енергії в АФТ ПС – 0,5 дБ;
- кодування даних не використовується;
- коефіцієнт підсилення передавальної антени КА – 6,3 дБ;
- згасання в АФТ передавальної антени КА – 0,5 дБ;
- згасання енергії сигналу за рахунок поглинання киснем і воднем – 0,44 дБ;
- згасання енергії сигналу за рахунок дощу – 0,6 дБ;
- помилка наведення антени ПС – 5 хвилин;
- кут місця направлення антени ПС – 7°.

Результати математичного моделювання радіоканалу КА-ПС з використанням програми Mathcad для Ресурс-ДК1 (графіки 1), TERRA (графіки 2), Quick Bird-2 (графіки 3) і Ikonos-2 (графіки 4) наведено на рис. 1, рис. 2 і рис. 3.

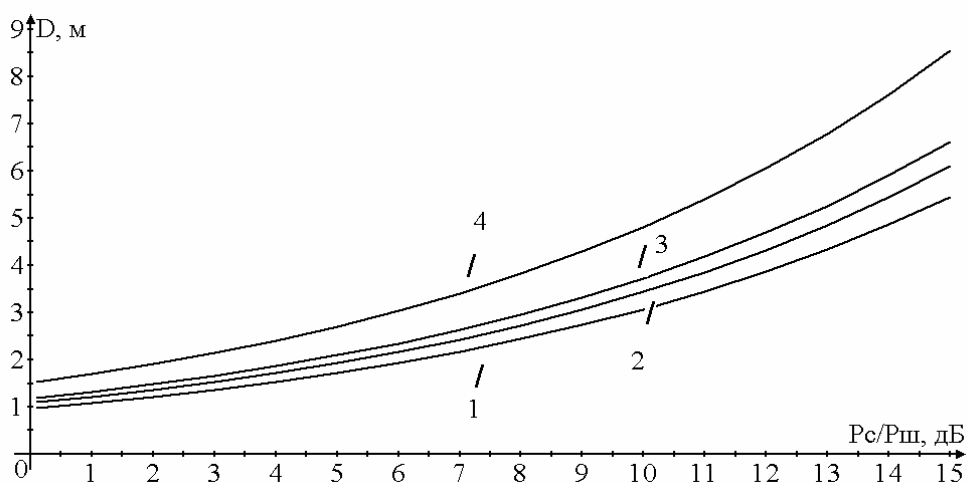


Рис. 1. Оптимізація діаметра антени ПС від відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора ПС

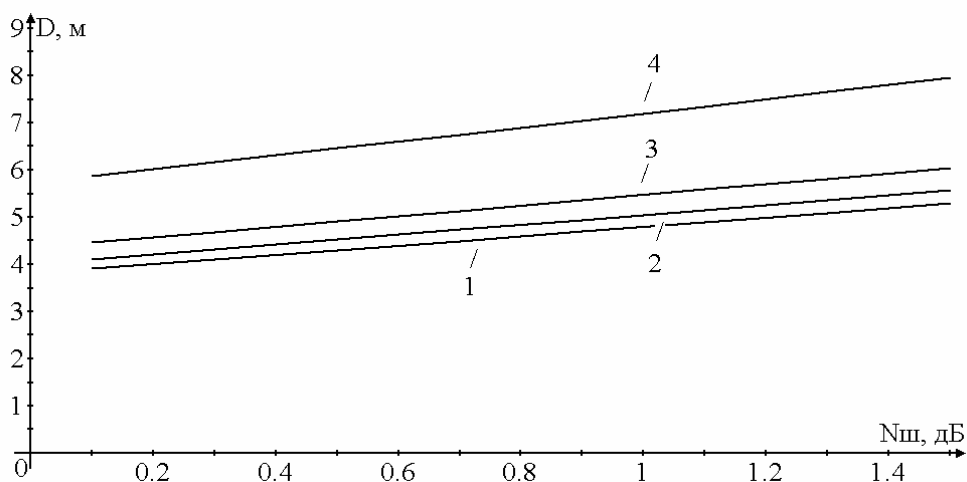


Рис. 2. Оптимізація діаметра антени ПС від коефіцієнта шуму МШП (конвертора)

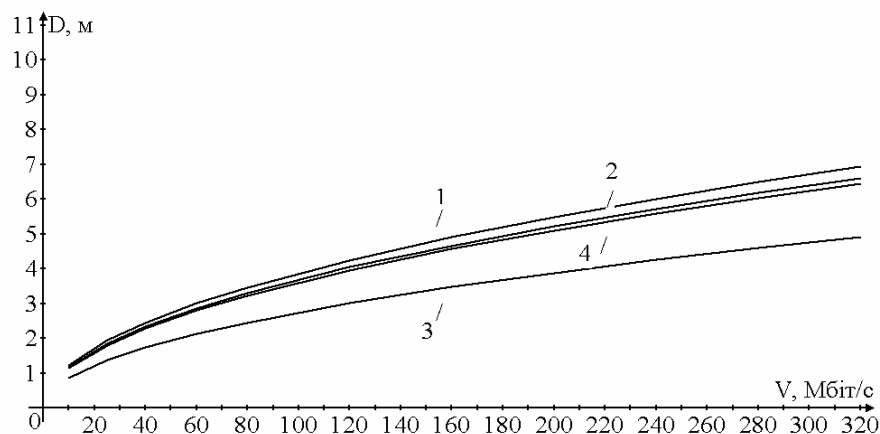


Рис. 3. Оптимізація діаметра антени ПС від швидкості передавання даних

На основі результатів математичного моделювання встановлено, що оптимальний діаметр параболічної антени без використання завадостійкого кодування становить 6 м. При використанні згорткового завадостійкого кодування [1] з ефективністю в межах 3,97...7,78 дБ порівняно з некодованими сигналами діаметр антени може бути зменшений. При середньому значенні ефективності кодування 5,8 дБ діаметр антени може бути зменшений до 3,2 м. Також встановлено, що оптимальний коефіцієнт шуму МШП чи конвертора становить 0,5 дБ, що можна досягти з використанням сучасної елементної бази.

Висновки

У результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

- Використовуючи розроблену авторами математичну модель КА-ПС, можна визначити оптимальний діаметр антени й оптимальний коефіцієнт шуму МШП чи конвертора ПС на підставі результатів комп'ютерного моделювання залежності відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора ПС від діаметра антени ПС, швидкості передавання даних і коефіцієнта шуму МШП (конвертора) для КА ДЗЗ.

- Підтверджено, що запропонована математична модель придатна для розрахунку енергетичного балансу радіоканалу КА-ПС для довільних КА ДЗЗ, що перебувають на робочій сонячно-синхронній орбіті заввишки від 350 до 900 км.

- Результати комп'ютерного моделювання можуть бути використані при проектуванні ПС для приймання даних із сучасних КА ДЗЗ.

Надалі доцільно дослідити вплив параметрів вузлів ПС на ймовірність помилки при прийманні даних із КА ДЗЗ.

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 1104 с. 2. Proakis, John G., Digital Communications, 4th ed., New York, McGraw-Hill, 2000. – 1024 p. 3. Гарбух С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: А и Б, 1997. – 296 с. 4. Anderson, John B., Tor Aulin, and Carl-Erik Sundberg, Digital Phase Modulation, New York, Plenum Press, 1986. 5. Lindsey, William C. and Marvin K. Simon, Telecommunication Systems Engineering, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1973. 6. Прокус Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.