

## ОПТИМІЗАЦІЯ РАДІОЛІНІЇ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Антипенко Р. В., к.т.н., доцент; Першин М. О.; Смоков Є. О.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна,

19 червня 2014 р. ракетою-носієм «Днепр» з п'яти пускових контейнерів QuadPack голландської фірми ISIS успішно виведено на кругову орбіту висотою близько 700 км 21 наносупутник класу CubeSat від восьми країн світу. Одним з них є наносупутник PolyItan-1, створений у співдружності науковців, аспірантів, студентів кількох факультетів НТУУ «КПІ».

Розробку радіоліній «Земля – супутник» та «супутник – Земля»

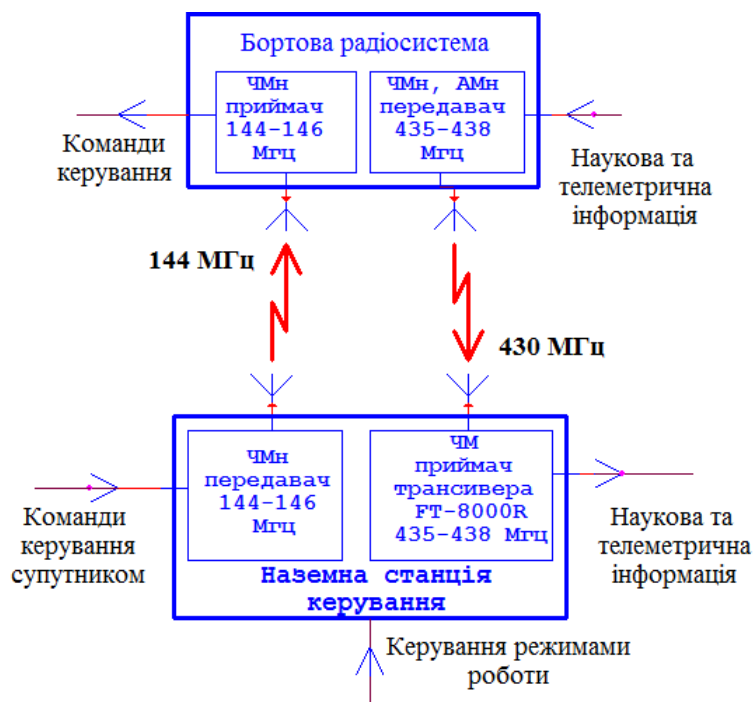


Рис. 1. Склад радіоліній

(рис. 1) [1] забезпечував радіотехнічний факультет. Технічному проектуванню передували етапи: визначення параметрів орбіти згідно договору з пусковою організацією, обсягу телеметричної та наукової інформації, швидкості її передачі; вибір діапазонів робочих частот, видів маніпуляції, параметрів спектрів випромінювання у відповідності з вимогами та рекомендаціями Міжнародного союзу електророзв'язку (ITU) та Міжнародного союзу радіоаматорів (IARU); розрахунок

енергетичного потенціалу радіоліній та оптимізація їх параметрів; координація частотного присвоєння з ITU та IARU. Позитивне рішення узгоджені організації виносять тільки при наявності запасу енергетичного потенціалу обох радіоліній.

Для розрахунку енергетичного потенціалу та його запасу можна використовувати відомі професійні формульні методики, наприклад, [2]. Але при проведенні оптимізації це вимагає багато часу. Оскільки результати розрахунку мають бути представлені в IARU обов'язково в форматі програми «AMSAT-IARU-Link-Model» [3], то оптимізацію проведено в цій програмі. Програма має зручний користувацький інтерфейс і дозволяє визначити запас енергетичного потенціалу (Link Margin на рис. 2) як за співвідношенням сигнал/шум ( $C/N$ ), так і за співвідношенням енергії сигналу

на один біт повідомлення до спектральної щільності шуму ( $E_b / N_0$ ).

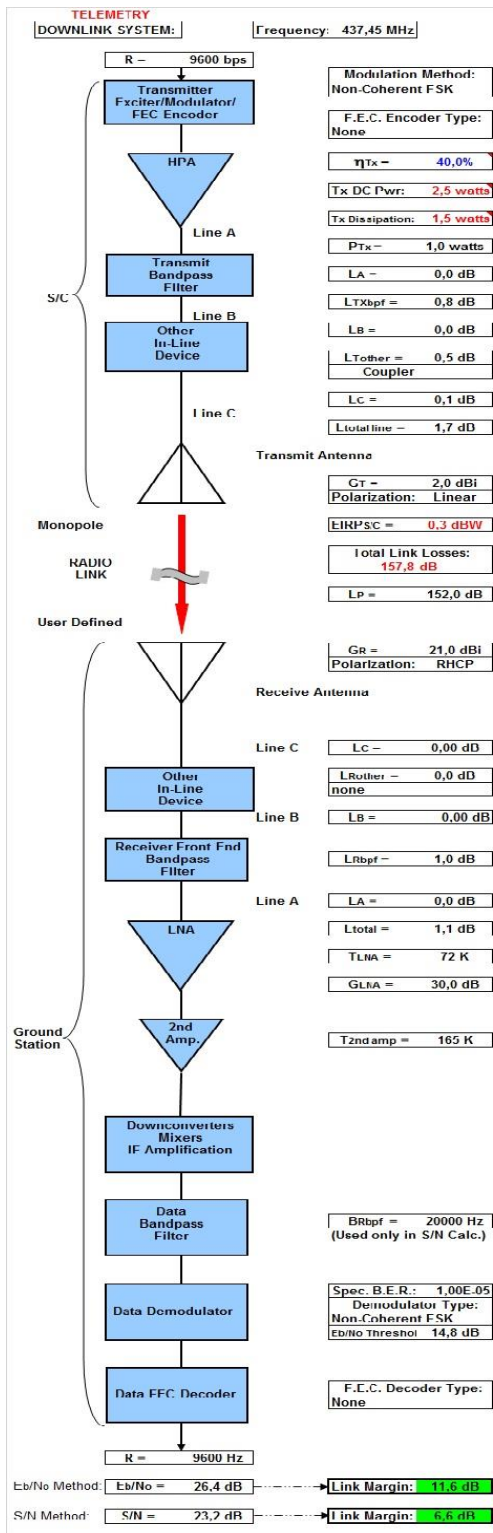


Рис. 2

Вихідні параметри, якими оперує програма при розрахунках: параметри орбіти; вихідна потужність передавача  $P_{\text{вих}}$  (або його потужність споживання  $P_0$  при наявності її обмеження); робоча частота; втрати  $L_{\text{с афт}}$ ,  $L_{\text{з афт}}$  в обох антено-фідерних трактах (фільтр гармонік, відгалужувачі, високочастотні рознімачі, з'єднувальні лінії та ін.); коефіцієнти підсилення  $G_{\text{с}}$ ,  $G_{\text{з}}$  та ширина діаграми спрямованості передавальної та приймальної антен (ДСА), втрати неточності їх наведення  $L_{\text{с нав}}$ ,  $L_{\text{з нав}}$ , поляризація та поляризаційні втрати  $L_{\text{пол}}$ ; наявність та розташування малошумного підсилювача (МШП) або конвертера (безпосередньо на приймальній антені, на антенній щоглі чи біля приймача), загасання з'єднувальних ВЧ кабелів; шумова температура антени, коефіцієнт шуму та підсилення МШП або конвертера;  $C$  – швидкість передачі; тип демодулятора та  $M_{\text{пор}}$  – його порогове значення для  $E_b / N_0$  або  $C / N$ ; наявність корекції помилок; ширина спектра сигналу або смуга пропускання приймача  $\Delta f_{\text{с}}$ . В процесі розрахунку визначаються проміжні параметри (наприклад,  $L_{\text{в п}}$ ,  $L_{\text{атм}}$ ,  $L_{\text{іон}}$ ,  $L_{\text{гідр}}$  – втрати у вільному просторі, атмосфері, іоносфері, гідрометеорах на робочій частоті;  $T_s$  – шумова температура системи та ін.).

Як приклад, для радіолінії «супутник – Земля» для співвідношення  $C / N$  запас енергетичного потенціалу  $P_{\text{зап}}$  (Link Margin) визначається в дБ:

$$P_{\text{зап}} = P_{\text{вих}} - L_{\text{с афт}} + G_{\text{с ант}} - L_{\text{с нав}} - L_{\text{пол}} - L_{\text{в п}} - L_{\text{атм}} - L_{\text{іон}} - L_{\text{гідр}} - L_{\text{з нав}} - k + G_{\text{з ант}} - L_{\text{з афт}} - T_s - \Delta f_{\text{с}} - M_{\text{пор}}$$

де  $k = -228,6$  дБВт/°К/Гц – стала Больцмана.

Аналіз результатів розрахунків показав, що наявне передпускове обладнання наземної станції керування при допустимій потужності  $P_0$  і оптимальному значенні  $G_c$  його штирової антени не забезпечує розрахункове значення  $P_{зап}$ . Як видно з наведеного виразу,  $P_{зап}$  залежить від багатьох параметрів, тому для досягнення мети необхідно мінімізувати втрати наскрізного тракту радіолінії (в першу чергу  $L_{с\ афт}$ ,  $L_{з\ афт}$ , оскільки  $L_{с\ нав}$ ,  $L_{з\ нав}$ , із-за широкої ДСА практично не впливають). Але радикально вирішити проблему вдалося шляхом заміни наявної спіральної антени Helix 70-2 ( $G_3 = 14,5$  дБ) на більш спрямовану антену 436CP42UG ( $G_3 = 19$  дБ), використанням додаткового МШП з коефіцієнтом шуму не більше 1 дБ, встановленого безпосередньо на антені та збільшенням  $P_{вих}$  до 0,7 Вт.

Вже більше 1,5 року після запуску «PolyItan-1» оптимізовані радіолінії бездоганно забезпечують радіозв'язок з ним.

#### **Перелік посилань**

1. Антипенко Р., Козлов А., Першин Н. Использование микросхем CML Microcir-cuits в спутниковой линии радиосвязи "CHIP NEWS Украина / Инженерная микроэлектроника", жовтень 2014, — № 8 (138), — С. 78–81.

2. Спутниковая связь и вещание: Справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. / Г. В. Аскинази и др.; под ред. Л.Я. Кантора. — М. : Радио и связь, 1988. — 345 с.

3. Jan A. King. AMSAT/IARU Annotated Link Model System / Jan A. King. — Режим доступу: [http://www.amsatuk.me.uk/iaru/AMSAT-IARU\\_Link\\_Model\\_Rev2.5.3.xls](http://www.amsatuk.me.uk/iaru/AMSAT-IARU_Link_Model_Rev2.5.3.xls) — Назва з екрану

#### **Анотація**

Представлено результати оптимізації радіоліній наносупутника PolyItan-1 в програмі «AMSAT-IARU-Link-Model», а також передпускової модернізації наземної станції керування супутником, виконаної за результатами оптимізації.

**Ключові слова:** оптимізація, радіолінія, наносупутник, PolyItan-1.

#### **Аннотация**

Представлены результаты оптимизации радиолиний наноспутника PolyItan-1 в программе «AMSAT-IARU-Link-Model», а также предпусковой модернизации наземной станции управления спутником, выполненной по результатам оптимизации.

**Ключевые слова:** оптимизация, радиолиния, наноспутник, PolyItan-1.

#### **Abstract**

The results of the optimization of nanosatellite PolyItan-1 radiolinks by the program «AM-SAT-IARU-Link-Model» are presented. The pre-launch modernization of the satellite ground control station, constructed in accordance with the results of the optimization, is shown.

**Keywords:** optimization, radiolink, nanosatellite, PolyItan-1.