

УДК 623.396

В.А. Шуренок¹, В.Ю. Бовсуновський¹, В.І. Коріненко¹, І.І. Опанасюк²¹ Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова НАУ, Житомир² Академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ СЕАНСІВ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУРИ “ЕЛЕКТРОННА ПОШТА” ВІТЧИЗНЯНИХ НИЗЬКООРБІТАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

У статті розглядається методика підвищення оперативності зв'язку з використанням бортової апаратури “електронна пошта” перспективних вітчизняних низькоорбітальних космічних апаратів. Запропонована методика дозволяє планувати зв'язок з урахуванням динаміки орбітального руху низькоорбітальних космічних апаратів, обсягу повідомлень та їх терміновості і базується на використанні додаткових пунктів прийому-передачі інформації, які функціонують у масштабі часу, близькому до реального.

Ключові слова: низькоорбітальний космічний апарат, апаратура “електронна пошта”, план зв'язку, метод динамічного програмування.

Вступ

Досвід організації радіозв'язку з використанням іноземних систем та засобів свідчить про ризик зниження їх стійкості в умовах виникнення збройних конфліктів та загострення воєнно-політичної обстановки у світі. Для підвищення стійкості системи зв'язку у [1] пропонується розгортання системи зв'язку, яка функціонує у режимі “електронна пошта”, на базі вітчизняних низькоорбітальних космічних апаратів (НКА).

Постановка проблеми. Якість зв'язку з використанням низькоорбітальних систем супутникового зв'язку (ССЗ) залежить від кількості космічних апаратів [2]. Для орбітальних угруповань, кількість яких не перевищує десяти, якість зв'язку характеризується низькою оперативністю [3].

Для підвищення оперативності зв'язку та мінімізації затрат на створення низькоорбітальної ССЗ у [4] запропоновано підхід, який передбачає комплексне застосування сил і засобів зв'язку за умов відсутності угруповання НКА та міжсупутникових ліній зв'язку в їх складі. Він полягає у створенні додаткових пунктів прийому-передачі інформації з НКА на базі віддалених вузлів зв'язку, які функціонують у масштабі часу, близькому до реального. Відсутність методик та моделей планування зв'язку з використанням апаратури “електронна пошта” (АЕП) вітчизняних НКА, які повною мірою реалізують зазначений підхід, відповідають вимогам зв'язку та принципам його організації, зумовлюють необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті проведення аналізу функціонування АЕП НКА виявлено низку протиріч між існуючими методами, які лежать в основі програмно-апаратних засобів планування зв'язку, та принципами його організації:

планування процесу доставки повідомлень оператором наземної станції управління та бортовою АЕП здійснюється без урахування динаміки орбітального руху у мережі зв'язку;

відсутність процедури маршрутизації у складі алгоритмів планування бортової АЕП, а також наземної станції управління не дозволяє здійснювати автоматичний пошук найкоротших шляхів доставки повідомлень за умов використання додаткових каналів зв'язку;

планування процесу доставки повідомлень здійснюється відповідно до черговості їх появи без урахування важливості.

Зазначені недоліки призводять до неефективного використання обмеженого ресурсу АЕП через невідповідність існуючого способу управління мережею основним принципам організації зв'язку;

комплексного використання сил і засобів зв'язку, який передбачає можливість одночасного застосування на кожному напрямку супутникових засобів різного базування;

єдності системи зв'язку, який передбачає об'єднання сил і засобів зв'язку для створення системи супутникового зв'язку в інтересах системи управління;

раціонального поєднання прямих зв'язків і зв'язків через допоміжні вузли для забезпечення зв'язку необхідної якості в даних умовах обстановки.

Таким чином, для підвищення оперативності зв'язку та ефективного використання обмеженого ресурсу АЕП НКА необхідно розробити методику планування зв'язку з урахування зазначених вимог та принципів його організації.

Запропонована у [4] методика дозволяє забезпечити максимальну якість зв'язку в умовах низької інтенсивності інформаційного обміну у мережі зв'язку з використанням АЕП НКА за рахунок по-

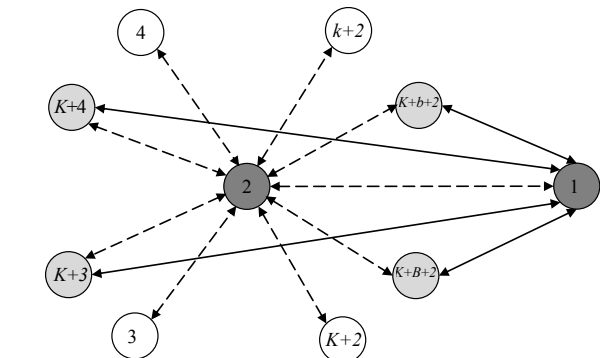
шуку найкоротших шляхів доставки повідомлень. Тому галузь її застосування обмежена лише умовами мирного часу.

В умовах загрозового періоду, що характеризується стрімким зростанням інтенсивності інформаційного обміну, зазначена методика призводить до неефективного використання обмежених комунікаційних ресурсів АЕП вітчизняних НКА. Це пов'язано із тим, що існуючий процес планування не враховує терміновості повідомлень та кількості інформації, яка міститься у них.

Метою статті є розробка методики планування зв'язку у мережі зв'язку із використанням АЕП вітчизняних НКА у різних умовах обстановки з урахуванням особливостей орбітального руху вітчизняних НКА та важливості повідомлень.

Викладення основного матеріалу

З урахуванням принципів організації зв'язку ССЗ з використанням АЕП матиме вузлову або зіркоподібну структуру топології мережі (рис. 1). В її основі буде: наземна станція управління радіомережею ($v = 1$), бортова АЕП НКА ($v = 2$), кореспондентські термінали $k = \overline{1, K}$ і вузли-ретранслятори $b = \overline{1, B}$, які реалізують функції додаткових пунктів прийому-передачі інформації.



- – комутаційні вузли (бортова АЕП та наземна станція управління);
- – вузли-ретранслятори, підключені до геостационарних ССЗ;
- – кореспонденти.

Рис. 1. Топологія мережі супутникового зв'язку з використанням АЕП НКА

У складі процесу планування сеансів зв'язку можна виділити два основні задачі: пошук найкоротших шляхів між заданими вузлами мережі зв'язку та формування плану розподілу повідомлень за найкоротшими шляхами.

Першу задачу відносять до класу задач маршрутизації повідомлень, другу – до формування оптимального плану зв'язку.

Результатом розв'язання задачі маршрутизації для наземної станції управління радіомережею є формування масиву найкоротших шляхів доставки повідомлень [4]:

$$|\delta_{i,j}|_t = (\delta_{i,j}^1(t), \delta_{i,j}^2(t), \dots, \delta_{i,j}^b(t), \dots, \delta_{i,j}^{(B+1)}(t)); \quad (1)$$

$$i = 1; j = \overline{3, (K+2)}; b = \overline{1, (B+1)}; i \neq j,$$

де $\delta_{i,j}^b$ – порядковий номер вихідного b радіонапрямку між парою вузлів i та j .

Враховуючи відсутність існуючих методик планування зв'язку з використанням АЕП вітчизняних НКА, необхідно здійснити постановку завдання досліджень.

Вихідними даними для здійснення планування є масив повідомлень, які адресовані відповідним кореспондентам, що пронумеровані відповідно до прийнятої топології мережі зв'язку:

$$|N^{Op}|_t = \{N_{(1,3)}, N_{(1,4)}, \dots, N_{(1,k)}, \dots, N_{(1,K)}\}, \quad (2)$$

$$N_{(1,k)} = (v_{N_{(1,k)}}, s_{N_{(1,k)}}),$$

де $|N^{Op}|_t$ – масив повідомлень в оператора наземної станції управління мережею на момент часу t ;

$v_{N_{(1,k)}}$ – кількість інформації у повідомленні;

$s_{N_{(1,k)}}$ – серійність (категорія терміновості) повідомлення.

З урахуванням доступних каналів мережі план зв'язку із кореспондентами матиме такий вигляд:

$$X^{Op} = \{\alpha^1, \delta_{ij}^1; \alpha^2, \delta_{ij}^2; \dots; \alpha^{(B+1)}, \delta_{ij}^{(B+1)}\}, b = \overline{1, B}, \quad (3)$$

де α^b – масив повідомлень, який призначено для доставки b -м маршрутом.

Враховуючи велику кількість варіантів розподілу повідомлень, актуальним завданням є пошук такого плану розподілу повідомлень, який забезпечить максимальну оперативність зв'язку в умовах загрозового періоду:

$$\{X^{Op}\} \rightarrow X^{Op*} | \min \tilde{T}_d^s(\lambda_{ЗП}), \quad (4)$$

де $\lambda_{ЗП}$ – інтенсивність появи повідомлень в умовах загрозового періоду.

Таким чином, завданням досліджень є формування варіантів плану зв'язку та пошук оптимального. Критерієм оптимальності плану зв'язку є забезпечення максимальної оперативності зв'язку з використанням АЕП вітчизняних НКА.

Задачі формування оптимального плану не розв'язуються аналітичними методами. Для їх розв'язання у [5] пропонується застосувати метод динамічного програмування з використанням алгоритму Сахні-Горвіца, штрафна функція якого описується функцією мінімуму, а сам алгоритм володіє найменшою обчислювальною складністю.

Методика планування зв'язку складається із основних етапів, які наведено нижче:

1. Розрахунок коефіцієнтів важливості повідомлень з урахуванням серійності.

2. Формування варіантів перестановок повідомлень за 1-м, 2-м та В+1 найкоротшим шляхом та їх оцінювання.

3. Пошук оптимального варіанту та його запис у план розподілу інформації за 1-м, 2-м та В+1 найкоротшим шляхом.

Виконання другого і третього етапів здійснюється циклічно, доки повідомлення не будуть розподілені за всіма можливими шляхами.

На першому етапі оператор наземної станції управління здійснює розрахунок коефіцієнтів важливості повідомлень з урахуванням їх терміновості. Через відсутність чітких вимог до оперативності зв'язку з використанням НКА коефіцієнт важливості повідомлення може бути визначений методом парних порівнянь.

Для розрахунку коефіцієнтів важливості повідомлень складається матриця розміром $g \times q$, де g, q – порядкові номери категорії важливості (серійності) повідомлень. Елементи матриці a_{gq} заповнюються з урахуванням результатів порівняння категорій терміновості або серійності повідомлень:

$$a_{gq} = \begin{cases} 2, & \text{якщо } g > q; \\ 1, & \text{якщо } g = q; \\ 0, & \text{якщо } g < q. \end{cases} \quad (5)$$

Коефіцієнт важливості повідомлення визначається за допомогою виразу, який наведено нижче:

$$C_{N(1,k)} = \frac{\sum_{q=1}^{q=Q} a_{gq}}{\sum_{g=1}^{g=Q} \sum_{q=1}^{q=Q} a_{gq}}, \quad (6)$$

де $Q = G$ – максимальна кількість категорій терміновості (серійності) повідомлень.

На другому етапі здійснюється формування можливих варіантів плану зв'язку та їх оцінювання для визначеного найкоротшого шляху.

Для цього формуються варіанти перестановок повідомлень у середині масиву (2):

$$N_{(1,k)} = N_{\bar{i}}, \quad (7)$$

$$\alpha_w^b = \{N_1, N_2, \dots, N_{\bar{i}}, \dots, N_K\}, \quad n = \overline{1, K}.$$

Для α_w^b варіанту перестановок (7) здійснюється розподіл повідомлень на дві підмножини U та \bar{U} , які можуть та, відповідно, не можуть бути доставлені за сеанс зв'язку з АЕП НКА найкоротшим шляхом (1):

$$\alpha_w^b = \begin{cases} U = U \cup \{N_{\bar{i}}\}, \text{ якщо } \tau + \tau_{\bar{i}} \leq T_V^{\xi}; \\ \bar{U} = \bar{U} \cup \{N_{\bar{i}}\}, \text{ якщо } \tau + \tau_{\bar{i}} > T_V^{\xi}; \end{cases} \quad (8)$$

$$\alpha_w^b \in \delta_{ij}^b,$$

де τ – сумарний час доставлення повідомлень відповідним маршрутом;

τ_n – середній час доставлення n -го повідомлення;

T_V^{ξ} – тривалість ξ -го сеансу зв'язку АЕП НКА з v -м вузлом.

Час, необхідний на доставку повідомлення, обчислюється на основі виразу

$$\tau_n = \frac{v N_{(1,k)}}{\vartheta_{\text{АЕП}}}, \quad (9)$$

де $\vartheta_{\text{АЕП}}$ – середня швидкість передачі інформації радіолінії АЕП.

Усі можливі варіанти доставлення повідомлень відповідним найкоротшим шляхом можна зобразити у вигляді гілок і вершин α_w^b двійкового повного дерева, кожній з яких ставиться у відповідність пара (η, τ) , компоненти якої відповідають сумарному штрафу η та часу, необхідному на доставлення повідомлень τ у ході сеансу зв'язку із бортовою АЕП НКА:

$$\alpha_w^b \in S_w^b = \begin{cases} U = U \cup \{\eta, \tau + \tau_n\}, & \text{якщо } U \cup N_n; \\ \bar{U} = \bar{U} \cup \{\eta + \eta_n, \tau\}, & \text{якщо } \bar{U} \cup N_n; \end{cases} \quad (10)$$

$$S_w^b = U \cup \bar{U}.$$

Значення штрафу визначається за допомогою такої функції:

$$\eta_n = \begin{cases} C_{N(1,k)}, & \text{якщо } \tau_n > T_V^{\xi}; \\ 0, & \text{якщо } \tau_n \leq T_V^{\xi}. \end{cases} \quad (11)$$

Отримані варіанти доставлення повідомлень зображено у вигляді гілок двійкового дерева (рис. 2).

На останньому етапі здійснюється пошук елементів оптимального плану для визначеного найкоротшого шляху із сукупності варіантів рішень, зображених на рис. 2:

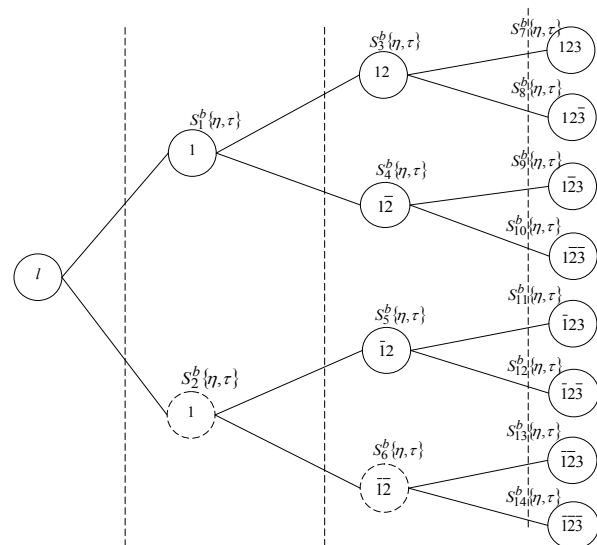


Рис. 2. Двійкове дерево часткового рішення для трьох повідомлень

$$\alpha^{b*} = \alpha_{\omega}^b | S_w^b(\eta \rightarrow \min),$$

$$\alpha^{(b+1)*} = \alpha_{\omega}^{(b+1)} | S_w^{(b+1)}(\eta \rightarrow \min), \quad (12)$$

$$\forall N_{(l,k)} \notin \alpha^{b*}.$$

На основі результатів, отриманих у ході циклічного застосування етапів методики (7–12), здійснюється формування оптимального плану зв'язку таким чином:

$$X^{Op} = \left\{ \alpha^{1*}, \delta_{i,j}^1(t), \alpha^{2*}, \delta_{i,j}^2(t), \dots, \alpha^{(B+1)*}, \delta_{i,j}^{B+1}(t) \right\}. \quad (13)$$

Він являє собою рекомендації оператору наземної станції управління радіомережею щодо розподілу повідомлень за найкоротшими шляхами з урахуванням динаміки орбітального руху НКА, терміновості повідомлень, а також кількості інформації, яка міститься у них.

Висновки

Застосування запропонованої методики дозволить автоматизувати процес планування зв'язку оператором наземної станції управління з урахуванням динаміки орбітального руху НКА, обсягу повідомлень та їх терміновості.

Методику розроблено із використанням методу динамічного програмування й алгоритму Сахні-Горвіца. Її застосування є актуальним у моменти зростання інтенсивності інформаційного обміну в умовах загрозового періоду. Розроблена методика дозволяє підвищити оперативність зв'язку із використанням АЕП вітчизняних НКА за наявності додаткових пунктів прийому-передачі інформації.

Методику реалізовано у вигляді програмно-алгоритмічного забезпечення, яке дозволяє автоматизувати процес планування радіозв'язку із АЕП вітчизняних НКА.

Список літератури

1. Обґрунтування підходу до забезпечення радіозв'язку військового призначення на великі відстані / [В.А. Шуренок, І.І. Опанасюк, В.І. Кориненко, В.Ю. Бовсунівський] // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – Вип. 4. – С. 72–77.
2. Камнев В.Е. Спутниковые сети связи / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М. : Альпина Паблшер, 2004. – 536 с.
3. Мальцев Г.Н. Сетевые информационные технологии в современных спутниковых системах связи / Г.Н. Мальцев // Информационно-управляющие системы : научно-практ. журн. – СПб. : ВКА, 2007. – Вип. 1. – С. 33–39.
4. Методика забезпечення процесу маршрутизації у режимі "електронна пошта" / [В.А. Шуренок, О.Р. Рихальський, В.Ю. Бовсунівський, В.М. Юркевич] // Системи управління навігації та зв'язку : зб. наук. праць. – К. : ЦНДІНУ, 2011. – Вип. 4. – С. 259–263.
5. Герасимов Б. М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев. – К. : Наукова думка, 1993. – 183 с.

Надійшла до редколегії 18.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ СЕАНСОВ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТУРЫ "ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА" ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В. А. Шуренок, В. Ю. Бовсунівський, В. И. Кориненко, И.И. Опанасюк

В статье рассматривается методика повышения оперативности связи с использованием бортовой аппаратуры "электронная почта" перспективных отечественных низкоорбитальных космических аппаратов. Предложенная методика позволяет планировать связь с учетом динамики орбитального движения низкоорбитальных космических аппаратов, объема сообщений и их срочности и базируется на использовании дополнительных пунктов приема-передачи информации, которые функционируют в масштабе времени, близком к реальному.

Ключевые слова: низкоорбитальный космический аппарат, аппаратура "электронная почта", план связи, метод динамического программирования.

METHOD OF PLANNING COMMUNICATION SESSION OF THE USE OF EQUIPMENT "E-MAIL" DOMESTIC LOW-ORBITING SATELLITE

V.A. Shurenok, V.Y. Bovsunovskiy, V.I. Korinenko, I.I. Opanacuk

The article discusses the method of improvement the use of on-board equipment, "e-mail" promising domestic low-orbit satellites. The proposed methodology allows us to plan communications to the dynamics of the orbital motion of low-orbit satellites, the volume of messages and their terms and based on the use of additional points of reception and transmission of information, which operate on a time scale near to real.

Keywords: low-orbit satellites, equipment "e-mail", communication plan, the method of dynam.