

## ОЦІНКА НЕОБХІДНОЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ УНІФІКОВАНОГО РАДІОКАНАЛУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Василенко С. В., аспірант; Рома О. М., д.т.н., с.н.с.;

Белас О. М., д.т.н., с.н.с.

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Основні завдання, які повинен вирішувати штатний радіоканал управління БПЛА:

1. Надходження разових команд, що визначають суть запитуваної до виконання дії і її параметри. Для передачі разових команд необхідні механізми, що гарантують доставку команди.

2. Прийом команд ручного управління, що є кодованими сигналами (безпосередньо положення рулів — «ручне управління», або необхідний крен, тангаж, висота, курс — «напівавтоматичне управління»). Ручне управління здійснюється в реальному часі за відеоінформацією з бортової відеокамери (від 1-ої особи) або з боку наземного спостерігача (від 3-ої особи).

3. Передача телеметричної інформації (ключові показники функціонування апарату: положення в просторі, швидкість, параметри життєзабезпечення, режими роботи).

Необхідна пропускна спроможність радіоканалу визначається максимальним потоком інформації, що забезпечує штатне функціонування БПЛА [1]. Найбільш завантаженим режимом є радіокерований політ з трансляцією телеметричної інформації (рис 1).

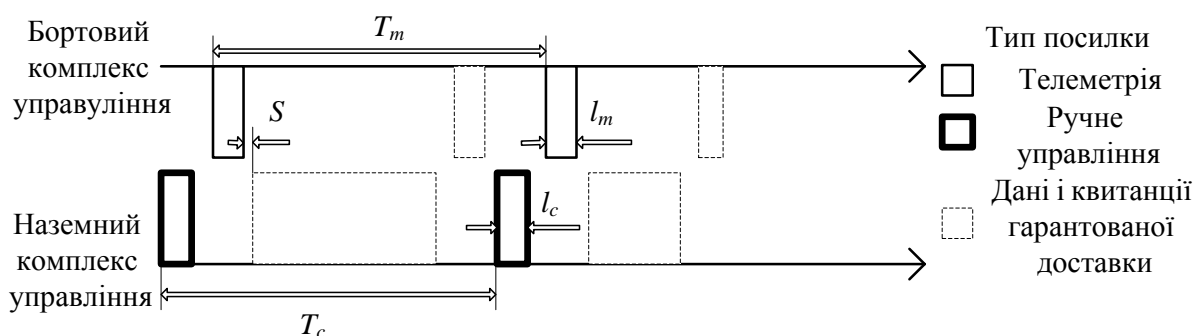


Рис. 1. Діаграма прийому-передачі даних в радіоканалі «борт-земля»

Пропускна спроможність радіоканалу в режимі радіоуправління:

$$V = v_c + v_m + I,$$

де  $v_c$  — потік даних команд ручного управління;  $v_m$  — потік даних телеметрії;  $I$  — простій радіоканалу, який є параметром для оптимізації.

Для передачі команд ручного управління:

$$v_c = (l_c + s) \frac{1}{T_c},$$

де  $s$  — затримка переключення режиму прийомо-передавача;  $T_c$  — період видачі команд;  $l_c$  — довжини посилки з командами.

Аналогічно для телеметрії:

$$v_m = (l_m + s) \frac{1}{T_m},$$

де  $l_m$  — довжини посилки телеметрії;  $T_m$  — період видачі телеметрії.

Першочерговою задачею є досягнення стабільного значення періодів  $T_c$  і  $T_m$ . Для простоти оцінки використовують рівність періодів:

$$T_c = T_m = T.$$

Отримуємо:

$$V = \frac{\mu}{T} + I,$$

де  $\mu$  — сукупна довжина даних, які пересилаються для життєзабезпечення БПЛА і визначається як:

$$\gamma = \frac{d}{h+d} = \frac{l_d - h}{l_d}.$$

Також необхідна гарантована доставка інформації (разових команд) [2]. Вважається, що час передачі потрібного об'єму інформації набагато більший, ніж період забезпечення обміну сигналами ручного управління. Необхідно забезпечити розділення вихідних даних на посилки, довжина яких  $l_d$  задовольняє нерівності:

$$l_d < \tau,$$

де  $l_d$  — довжина посилки вихідних даних, а  $\tau$  визначається як:

$$\tau = VT - \mu.$$

Вираз для оптимального розподілу ресурсів радіоканалу між обміном для життєзабезпечення і передачею вихідних даних формується як:

$$l_d = VT - \mu.$$

Звідси потрібна пропускна спроможність розраховується як:

$$V = (l_d \lambda + \mu) \frac{1}{T},$$

де  $\lambda$  — параметр, який характеризує накладні витрати передачі і визначається як:

$$\lambda = \frac{n_d + n_a}{n_d},$$

де  $n_d$  — число посилок вихідних даних,  $n_a$  — число квитанцій.

Потрібна довжина посилки вихідних даних, виходячи з часу  $t_d$ , потрібного для доставки загального об'єму даних  $L_d$ , оцінюється як:

$$l_d = L_d \frac{T}{t_d}.$$

Довжина посилки вихідних даних – це сукупність технологічного заголовку ( $h$ ) і безпосередньо складу посилки ( $d$ ):

$$l_d = h + d.$$

Ефективність передачі вихідних даних  $\gamma$  визначається як:

$$\gamma = \frac{d}{h + d} = \frac{l_d - h}{l_d}.$$

Даний метод забезпечує оптимальний штатний режим роботи БПЛА, не враховуючи засобів захисту. Розглядаючи вплив зловмисника, ми стикаємося з різними умовами придушення низхідного (канал передачі даних) і висхідного (канал передачі команд управління) каналів. Канал управління піддається найсильнішому впливу і може бути придушений наземними засобами противника. Доцільно розділити канали передачі даних та управління, а в цілях протидії заглушенню каналу управління використовувати ширококутовий сигнал, отриманий за однією з технологій: ФМ-ПВП (фазо-маніпулювана псевдовипадкова послідовність), ППРЧ (псевдовипадкова перебудова робочої частоти) чи *OFDM* (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*).

#### **Перелік посилань**

1. Канащенкова А.И. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения. / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова — М.: «Радиотехника», 2004 — 320с.:ил.

2. Barnard J. Small UAV command-control and communication issues // IEEE on communicating with UAV's, 2007. — P. 75-85.

#### **Анотація**

У роботі наводиться методика оцінки необхідної пропускної спроможності уніфікованого радіоканалу управління безпілотним літальним апаратом для штатного режиму роботи. Для виконання ним бойових задач пропонується використання ширококутових сигналів з використанням технологій ФМ-ПВП, ППРЧ чи *OFDM*.

Ключові слова: БПЛА, ФМ-ПВП, ППРЧ, *OFDM*.

#### **Аннотация**

В работе наводится методика оценки необходимой пропускной способности унифицированного радиоканала управления беспилотным летательным аппаратом для штатного режима работы. Для выполнения им боевых задач предлагается использование широкополосных сигналов с использованием технологий ФМ-ПСП, ППРЧ или *OFDM*.

Ключевые слова: БПЛА, ФМ-ПСП, ППРЧ, *OFDM*.

#### **Abstract**

The paper is induced the method of estimating the required bandwidth of unified radio channel control of unmanned aerial vehicle for normal operation. To carry out combat missions provided the use of wideband signals using technology PM-PRS, FHSS or OFDM.

Keywords: UAV, PM-PRS, FHSS, OFDM.