

## СПОСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

**Явіся В.С.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна  
E-mail: yavisya@bigmir.net*

### **A method of providing high speed data transfer of unmanned aerial vehicles**

Unmanned aerial vehicles of small dimensions with electromotor are widely used in various fields. It is necessary to provide high-speed data transfer between the ground control center and the drones. For this proposed to use directional antennas on board the drones. Traditional ways to implement such a task are estimated taking into account the restrictions on weight and size, and energy performance.

Сьогодні за допомогою мультикоптерних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) малих розмірів з електродвигунами можна контролювати технічний стан об'єктів, їх безпеку та режими функціонування, БПЛА можна використовувати з метою аерофотознімання для картографування, безпілотні комплекси дозволяють підвищити показники телекомунікаційних мереж (живучість, пропускну здатність), вони можуть доставляти вантажі і т.п.

Як правило, будь-яке застосування БПЛА має на увазі, що одержувана з їхньою допомогою інформація й сигнали управління безпосередньо БПЛА повинні передаватися в реальному часі, що вимагає забезпечити передачу великого обсягу даних при заданих смузі пропускання й імовірності бітової помилки.

Для підвищення пропускну здатності необхідно використовувати спектрально-ефективні методи модуляції, що змушує забезпечити більш високе відношення сигнал/шум (ВСШ) на вході приймача. При цьому висуваються жорсткі вимоги як по мінімізації розмірів приймально-передавального і антенно-фідерного встаткування, так і по споживаній ними потужності.

Для задоволення вимог по ваго-габаритним показникам і по пропускну здатності доцільним є вибір надвисоких частот (НВЧ), а саме, діапазону 2,4 ГГц, у якому залежно від поточного значення ВСШ можна використовувати такі види модуляції як BPSK, QPSK, QAM16, QAM32 і т.д., які забезпечують високу спектральну ефективність [1].

Мультикоптерні БПЛА з електроприводом як правило використовуються на відстанях до 10 км, тому обмежень, пов'язаних з «прямою видимістю» для них не існує, тому що при висоті польоту 50 м і висоті наземного комплексу управління (НКУ) 1,5 м (за умови його знаходження в руках оператора), дальність прямої видимості, яка визначається формулою [2]:

$$D_{\text{км}} = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

де  $h_1, h_2$  – висоти БПЛА й НКУ відповідно, складе більше 30 км.

У діапазоні 2,4 ГГц загасання сигналу на відстані 10 км досягає 120 дБ [1], тому необхідно передбачити заходи, що дозволяють забезпечити необхідний енергетичний рівень переданого сигналу. Аналіз ринку малогабаритних приймально-передаючих пристроїв показує, що найпоширеніші приймачі із чутливістю порядку  $-90$  дБ, і передавачі з посиленням близько 30 дБ, що дозволяє переkritи загасання саме в 120 дБ.

Однак, для забезпечення ймовірності помилки порядку  $10^{-6}$  при використанні QAM32 на вході приймача необхідне ВСШ на рівні 18 дБ [2]. Враховуючи втрати у фідері приймача й передавача (усього близько 3 дБ), стає зрозумілим, що енергетика переданого сигналу повинна бути збільшена, як мінімум, на 21 дБ, а в реальних умовах поширення сигналу й впливу ненавмисних перешкод – на ще більшу величину. Розв'язати таке завдання можна шляхом використання спрямованих антен.

Для параболічної антени коефіцієнт підсилення розраховується за формулою [2]:

$$G = 10 \lg(k(\pi D / \lambda)^2 \cos \varphi) \quad (1)$$

де:  $G$  – коефіцієнт підсилення;  $k$  – ефективність або коефіцієнт використання поверхні антени (для більшості антен рівний приблизно 0,55);  $D$  – діаметр дзеркала;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\varphi$  – кут приходу хвилі.

Відповідно до виразу (1) при діаметрі дзеркала 0,5 м, точно спрямованій антені на БПЛА ( $\varphi = 0$ ), у діапазоні 2,4 ГГц коефіцієнт підсилення складе лише 19,4 дБ. Подальше підвищення коефіцієнта підсилення може бути здійснене за рахунок збільшення діаметра дзеркала, що важко реалізувати для носимих НКУ. Очевидно, що рівень сигналу повинен бути підвищений «із запасом» приблизно на 5 дБ.

Завдання підвищення рівня сигналу може бути вирішене шляхом установки на борту БПЛА спрямованої антени.

Управління напрямком максимального посилення бортової антени може здійснюватися декількома способами [3]: установка антени на опорно-поворотному пристрої; використання багатоеlementної антенної решітки з керованою діаграмою спрямованості; використання декількох антен, що перемикаються.

Реалізація першого способу дозволяє використовувати одну гостроспрямовану антену для безперервного спостереження за напрямком на НКУ. При установці антени на опорно-поворотному пристрої необхідне створення обертового переходу. Він може бути розміщений у різних місцях: перед антеною після підсилювача потужності; після передавача перед підсилювачем потужності й антеною; передавальний пристрій, підсилювач потужності й антена розміщуються на поворотному пристрої, через багатоканальний обертовий перехід передаються сигнали та живлення.

Загальними недоліками використання опорно-поворотного пристрою є:

- висока вартість обертового коаксіального НВЧ переходу;
- при розміщенні гостроспрямованої антени будь-якого типу на опорно-поворотному пристрої, більша частина поверхні поворотної платформи

залишається невикористованою. Для підвищення ефективності використання площі поворотної платформи необхідно розміщати на ній крім антени передавальне встаткування та підсилювач потужності;

- переміщення антени в горизонтальній площині приводить до переміщення центру ваги БПЛА, а отже до дестабілізації його просторового положення;

- значні витрати потужності на роботу електропривода.

При реалізації другого способу для створення антенної системи з керованою діаграмою спрямованості може бути використана кільцева антенна решітка. Завдяки кільцевій симетрії антенної решітки вдається одержати спрямовані діаграми, які мало змінюються при скануванні в межах  $360^\circ$  у площині решітки.

Однак, для одержання посилення кільцевою антенною решіткою необхідно збільшувати число елементів, що у зв'язку з ваго-габаритними обмеженнями неприйнятно для мультикоптерних БПЛА з електроприводом. Крім того, використання багатоелементної антенної решітки ускладнюється необхідністю виготовлення складних і високовартісних діаграм утворюючих пристроїв.

Третій спосіб передбачає використання декількох антен, що перемикаються, тоді просторові напрямки по азимуту розбиваються на сектори. Зі збільшенням коефіцієнтів підсилення антен їх число зростає, а для розміщення великої кількості антен потрібно збільшувати габаритні розміри й масу всієї антенної системи. У цьому випадку можливий компромісний розв'язок, що забезпечує необхідне посилення й задовольняє ваго-габаритні обмеження.

Для його реалізації пропонується розмістити на борту БПЛА шість антен типу «хвильовий канал». З урахуванням ваго-габаритних обмежень конструкція однієї антени буде складатися лише із трьох елементів. Габаритні показники можна визначити використовуючи рис. 1.

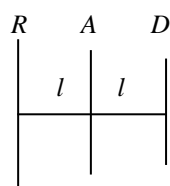


Рис. 1 Типова трьохелементна антена типу «хвильовий канал».

Відомо [4], що розміри елементів антени визначаються довжиною хвилі, а саме: активний вібратор  $A = 0,5\lambda$ ; рефлектор незначно більше вібратора  $R \geq A$ ; директор незначно менше його  $D \leq A$ ; відстань між рефлектором, активним вібратором і директором  $l = 0,25\lambda$ . Для обраного частотного діапазону  $\lambda = 0,125$  м, тому одна антена має габарити приблизно  $7 \times 7$  см, конструкція із шести антен вписується в окружність радіусом  $R_6 = 2l + l \sin 60 \approx 2,87l \approx 9$  см, а її вага складе близько 120 грам. Коефіцієнт підсилення трьохелементної антени типу «хвильовий канал» — 5,5 дб.

При наявності декількох антен на борту БПЛА виникає необхідність вибору антени, спрямованої убік НКУ. Існує кілька варіантів реалізації подібної

системи: перемикання виходу підсилювача передавача між антенами (один передавач, один підсилювач потужності, кілька антен); перемикання виходу передавача між підсилювачами потужності й антенами (один передавач, кілька сполучених підсилювачів потужності й антен); перемикання сигналу між передавачами (число передавачів і підсилювачів потужності дорівнює числу антен).

При першому варіанті вихідний сигнал підсилювача потужності комутується між декількома антенами. Гідністю цього варіанта є використання єдиного передавального модуля й підсилювача потужності для роботи на кілька антенних пристроїв. Загальним недоліком є втрати в комутуючому пристрої.

При другому варіанті число підсилювачів потужності дорівнює числу антен. До недоліків такого підходу можна віднести: наявність декількох підсилювачів потужності, які займають багато місця й мають більшу вагу.

Третій варіант вимагає використання для кожної антени свого передавача й підсилювача потужності. У цьому випадку перемикач сигналів виконується на рівні цифрової логіки. До переваг даного підходу слід віднести високу надійність системи. Однак платою за це є велика вага й висока вартість.

Очевидно, що для мультикоптерних БПЛА кращим є перший варіант – варіант перемикання виходу підсилювача потужності передавача між антенами.

Таким чином, при використанні запропонованого варіанта побудови антенної системи для мультикоптерного БПЛА загальне посилення приймально-передавального тракту може досягти 55 дБ, що забезпечить на видаленні 10 км ВСШ на вході приймача 22 дБ, а відповідно – можливість високошвидкісної та якісної передачі інформації за рахунок використання, наприклад, модуляції QAM64 з імовірністю помилки порядку  $10^{-8}$ .

### Література

1. Боев Н.М. Анализ радиолиний связи с беспилотными летательными аппаратами /Электронный ресурс/ [http://radio-systems.org/uav\\_communications\\_links](http://radio-systems.org/uav_communications_links).
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Боев Н. М., Шаршавин П. В., Нигруца И. В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния /Электронный ресурс/ <http://uav-siberia.com/content/postroenie-sistem-svyazi-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-dlya-peredachi-informacii-na>.
4. Гончаренко И.А. Антенны КВ и УКВ. Часть 3. Простые КВ антенны. М.: РадиоСофт, 2015. – 288 с.