

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ ДРОНАМИ

Явісія В.С., Лисенко О.І.

Інститут телекомунікаційних систем «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Україна

E-mail: yavisya@bigmir.net

Method of improving the quality of drones management

Drones of small size with electric motor are widely used in various fields. It is necessary to ensure the quality of the control channel between the ground control center and the drones. It is suggested to use directional antennas on drones. Traditional ways to accomplish this task are evaluated in the light of limitations on weight, size and energy characteristics.

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

Як правило, будь-яке застосування дронів передбачає, що одержувана з їхньою допомогою інформація й безпосередньо сигнали управління дронами повинні передаватися в реальному часі, що вимагає забезпечити передачу великого обсягу даних при заданих смузї 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 висувуються 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 модуляцію від BPSK до QAM256, які забезпечують високу спектральну ефективність [1].

Дрони як правило використовуються на відстанях до 10 км, тому обмежень, пов'язаних з «прямою видимістю» для них не існує, оскільки 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 дрону 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 на такий відстані. Аналіз

ринку малогабаритних приймально-передаючих пристроїв показує, що найпоширеніші приймачі із чутливістю порядку -90 дБ, і передавачі з посиленням близько 30 дБ, що дозволяє перекрити загасання 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; λ – довжина хвилі; φ – кут приходу хвилі.

Відповідно до виразу (1) при діаметрі дзеркала $0,5$ м, точно спрямованій антені на дрон ($\varphi = 0$), 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. Зрозуміло, що рівень сигналу повинен бути підвищений «із запасом» приблизно на 5 дБ.

Завдання підвищення рівня сигналу може бути вирішене шляхом установки на борту дрона 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 невикористаною. 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 дрону, 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° 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 дронів 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 дрона 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.

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 7×7 см, конструкція із шести антен (рис. 2) 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.

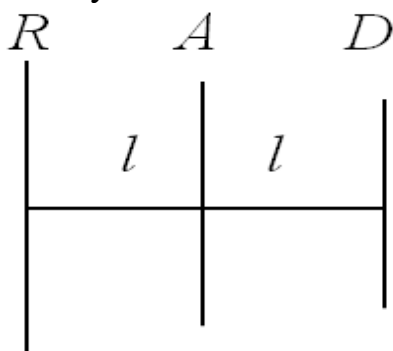


Рис. 1. Типова трьохелементна антена типу «хвильовий канал».

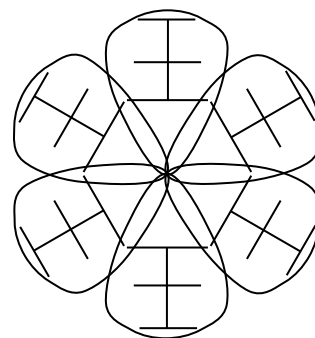


Рис. 2. Шести секторна антенна конструкція типу «хвильовий канал».

При наявності декількох антен на борту дрона виникає необхідність вибору антени, спрямованої у бік НКУ. Існує кілька варіантів реалізації подібної системи: перемикач виходу підсилювача передавача між антенами (один передавач, один підсилювач потужності, кілька антен); перемикач виходу передавача між підсилювачами потужності й антенами (один передавач, кілька сполучених підсилювачів потужності й антен); перемикач 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 дронів кращим є перший варіант – тобто перемикач виходу підсилювача потужності передавача між антенами.

Таким чином, при використанні запропонованого варіанта побудови антенної системи для дронів загальне посилення приймально-передавального тракту може досягти 55 дБ, що забезпечить на віддаленні 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} . Високе значення ВСШ також може забезпечити стійке управління дронами, навіть при впливі навмисних завад, коли за рахунок використання простих алгоритмів модуляції: BPSK, QPSK, забезпечується пропускна здатність, достатня для передачі сигналів управління.

Література

1. Явіся В.С. Спосіб забезпечення високошвидкісної передачі даних безпілотними літальними апаратами // Одинадцята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій». Матеріали конференції. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2017. – С. 362-365.
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. Лысенко А.И., Явіся В.С. Способ обеспечения качества канала управления беспилотными летательными аппаратами // Научный журнал «Ученые записки ТНУ имени В.И. Вернадского. Серия: Технические науки». – Херсон: Гельветика. – 2017. – Т. 28 (67), № 1. – С. 23-26.
4. Гончаренко И.А. Антенны КВ и УКВ. Часть 3. Простые КВ антенны. М.: РадиоСофт, 2015. – 288 с.