

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ДАНИХ З БОРТУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Науково-технічний прогрес за останні два десятиліття зробив можливим використання безпілотних літальних апаратів (БЛА). Практично всі розвинені країни в тій чи іншій мірі займаються цією проблемою. В даний час безпілотні системи не тільки доповнюють пілотовані платформи, але й починають виступати в якості альтернативи останнім. Боротьба з БЛА включає в себе комплекс завдань з їх виявлення та розпізнання, прийняття рішення по активному знищенню або порушенню функціонування БЛА шляхом руйнування лінії передачі команд керування, навігаційних систем та передачі корисної інформації. Тактика застосування БЛА різноманітна і включає в себе політ на гранично малих висотах та складках місцевості та тому виявити їх у цих умовах дуже складно. При цьому одним із можливих варіантів придушення роботи БЛА є створення перешкод, які порушують правильність функціонування радіолінії передачі корисної інформації на наземний комплекс управління (НКУ). Для систем зв'язку малих БЛА вирішальними факторами при виборі частотного діапазону є маса і габарити бортового приймача і антенно-фідерного пристрою. Доцільним є вибір діапазону надвисоких частот, при цьому вдається створити антену малих розмірів, здатну розміститися в профілі крила. Щільне компонування обладнання всередині малого БЛА не дозволяє ефективно використовувати приймачі великої потужності з укороченими антенами ультракороткого діапазону внаслідок проблем з електромагнітною сумісністю і великим впливом навколишніх об'єктів на характеристики антени. Тому одним з придатних для передачі корисної інформації обирають частотний діапазон 2,4 ГГц. Перспективним напрямком у розвитку систем зв'язку з БЛА є використання частотного діапазону вище 5 ГГц. Наприклад, розроблена конструкторським бюро «Independent development laboratory», система передачі даних «INDELA-ATA 5800+», яка встановлюється на БЛА, використовує саме цей частотний діапазон. При цьому стає можливою передача великого обсягу даних корисного навантаження в режимі реального часу. Факторами, які обмежують радіус дії радіосистеми зв'язку при використанні даного діапазону, є сильна залежність умов поширення електромагнітних хвиль від погодних умов, необхідність прямої видимості і вплив багатопроменевості. При виборі виду модуляції користуються критеріями спектральної й енергетичної ефективності. При цьому *енергетична ефективність* визначається як енергія, яку необхідно затратити на передачу одного біта інформації із заданою вірогідністю, а *спектральна ефективність* визначається як смуга частот, яка необхідна для передачі інформації з певною швидкістю. Необхідне значення відношення сигнал/шум (SNR) на вході приймача для досягнення заданої ймовірності біткової помилки визначається виразом:

$$SNR = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{B},$$

де E_b – енергія біта інформації; N_0 – спектральна щільність потужності шуму; R – швидкість передачі даних; B – смуга пропускання приймача.

Найбільш спектрально ефективним методом модуляції є квадратурна багаторівнева амплітудна маніпуляція (QAM). Але, як відомо, зі збільшенням кількості рівнів маніпуляції, для забезпечення необхідної ймовірності біткової помилки необхідно збільшувати відношення сигнал/шум на вході приймача. Тому доцільним є використання багатопозиційної модуляції тільки при малих відстанях між БЛА й НКУ. Для забезпечення максимальної дальності зв'язку необхідно використовувати енергетично найбільш вигідні види модуляції, такі як двійкова фазова маніпуляція (BPSK) і квадратурна фазова маніпуляція (QPSK). Варто відзначити, що при рівній енергетичній ефективності цих видів модуляції, QPSK у два рази спектрально ефективніша ніж BPSK.

Таким чином, радіолінія, залежно від умов проходження сигналу на трасі БПЛА – НКУ, повинна мати можливість адаптивно змінювати вид модуляції, вихідну потужність передавача, вид каналного кодування сигналу, параметри шифрування даних, тощо. Перемикання між різними видами модуляції дозволить підвищити спектральну ефективність системи зв'язку. Найбільш ефективним розв'язком є створення універсального квадратурного модулятора з видами модуляції: BPSK, QPSK, QAM16 і т.д. Також необхідно враховувати, що дальність дії радіосистеми зв'язку залежить від умов поширення електромагнітних хвиль на трасі розповсюдження.