УДК 623.746:621.396

В. Д. Бондарчук, І. В. Первак

ЗАСТОСУВАННЯ АВТОНОМНОГО ПОВЕРНЕННЯ БпЛА ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ АПАРАТА ПРИ ВТРАТІ КАНАЛУ КЕРУВАННЯ ПІД ЧАС РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИДУШЕННЯ

Анотація. *Розглянуто проблему втрати малого БпЛА при зникненні каналу керування внаслідок радіоелектронного придушення. Запропоновано застосовувати заздалегідь налаштований порядок автономних дій апарата: визначення втрати зв'язку, короткі спроби його відновити, повернення за пройденим маршрутом і посадка в безпечному місці. Описано умови, за яких повернення є ефективним, порядок налаштування та перевірки перед польотом, а також обмеження підходу.*

Ключові слова: *БпЛА, втрата каналу керування, автономне повернення, радіоелектронне придушення, безпечна посадка.*

Abstract. *The paper considers the problem of losing a small UAV when the control link disappears due to electronic jamming. It is proposed to apply a pre-configured procedure of autonomous actions of the aircraft: detection of link loss, short attempts to restore it, return along the flown route and landing in a safe place. The conditions under which the return is effective, the procedure of setup and pre-flight checks, and the limitations of the approach are described.*

Keywords: *UAV, control link loss, autonomous return, electronic jamming, safe landing.*

Під час виконання завдання малий БпЛА працює на відстані від оператора, і зв'язок з ним підтримується лише по радіоканалу. Коли станція радіоелектронного придушення (РЕП) створює сильні завади, канал керування зникає. Апарат більше не отримує команд, а оператор не бачить його стану й місця розташування. Залежно від налаштувань, БпЛА може зависнути на місці, продовжити політ за останньою командою або впасти, коли закінчиться заряд акумулятора. У всіх випадках апарат разом із зібраними даними втрачається, а пошук на місцевості потребує часу й може бути небезпечним. Отже, проблема полягає в тому, що поведінка апарата при втраті каналу керування не продумана заздалегідь.

Пропонується розглядати автономне повернення як послідовність дій з кількома рівнями. Першим є визначення втрати зв'язку. Апарат оцінює не лише повну відсутність сигналу, а й якість каналу, і вважає зв'язок втраченим лише тоді, коли погіршення триває заданий час. Це потрібно, щоб короткі збої не запускали повернення без потреби, а тривале придушення не залишалося непоміченим.

Другим рівнем є короткі спроби відновити зв'язок на місці. Апарат зменшує швидкість або зависає, підіймається на висоту, з якої краща пряма видимість, і пробує інші канали зв'язку. Часто цього достатньо, якщо придушення було короткочасним або станція РЕП діяла з боку. Лише коли зв'язок не відновився, апарат переходить до третього рівня: повернення. Маршрут повернення краще будувати не по прямій, а за пройденим шляхом. Він уже відомий як вільний від перешкод і, як правило, веде від ділянки, де зв'язок зник, до місця, де він був стійким. Крім того, прямий шлях може пролягати через район дії РЕП або через перешкоди, яких апарат не бачив.

Окремо слід передбачити навігацію під час повернення. Якщо разом із каналом керування погіршується й супутникова навігація, апарат має користуватися іншими джерелами - вбудованими датчиками руху, барометром, розпізнаванням орієнтирів за зображенням з камери. Точку повернення не слід залишати незмінною на весь політ. Її потрібно оновлювати, якщо оператор переміщується, і не використовувати щоразу одне й те саме місце посадки, бо його легше виявити й накрити. Замість цього заздалегідь задають кілька безпечних місць посадки, а апарат обирає найближче доступне з урахуванням напрямку, звідки діє РЕП.

Важливою умовою є запас заряду. Повернення має починатися не лише після втрати зв'язку, а й тоді, коли залишок заряду дорівнює потрібному для повернення з поточного місця з запасом. Якщо заряду недостатньо, апарат виконує посадку в найближчому безпечному місці, щоб зберегти себе й дані. Також потрібно вирішити, що робити, якщо зв'язок відновився під час

повернення. Керування краще повертати оператору лише після підтвердження стійкого каналу, а до цього продовжувати повернення, щоб короткий проблиск зв'язку не вводив у оману.

Порядок застосування включає три етапи. Перед польотом задають умови визначення втрати зв'язку, послідовність дій і місця посадки, а потім перевіряють їх на землі, імітуючи втрату каналу. Під час польоту апарат запам'ятовує пройдений маршрут і стежить за запасом заряду. Після польоту аналізують журнал, чи спрацювало повернення, де зникав зв'язок, чи були помилкові спрацювання. За цими даними уточнюють налаштування й обирають безпечніші маршрути.

Підхід має обмеження. Повернення за пройденим шляхом може вести через район дії РЕП, тому маршрут слід вибирати так, щоб уникати відомих ділянок придушення. Автономні дії підвищують шанс зберегти апарат, але не замінюють заходів, що підтримують сам канал керування, як-от напрямлених антен, ретрансляторів і зміни частоти. Тому повернення розглядають як останній рубіж захисту, а не як основний спосіб боротьби із завадами. Перевірку підходу доцільно виконати в польових умовах, порівнявши частку збережених апаратів при втраті каналу з налаштованим поверненням і без нього.

Окремої уваги потребує вибір місця посадки. Воно має бути відкритим, рівним, віддаленим від ліній електропередач і дерев, а також прихованим від спостереження. Для цього під час підготовки маршруту оператор позначає на карті кілька придатних місць, а після кожного польоту оновлює їх з урахуванням обстановки. Якщо апарат зберігає на борту записи, їх доцільно захищати від прочитання, щоб у разі потрапляння апарата до противника зібрані дані не були використані проти підрозділу.

Практичне значення підходу полягає в тому, що його можна ввести в підрозділі на рівні налаштувань наявного апарата. Для цього достатньо скласти коротку пам'ятку з порядком налаштування й перевірки та відпрацювати дії оператора на навчаннях. Накопичені журнали польотів допоможуть визначити, де зв'язок зникає найчастіше, і планувати маршрути з урахуванням цього.

Таким чином, застосування багаторівневого автономного повернення усуває залежність збереження апарата від одного каналу керування, підвищує шанс повернути БпЛА й зібрані дані та зменшує ризик їх втрати при придушенні. Подальша робота полягає в польовому визначенні оптимального часу очікування відновлення зв'язку й кількості запасних місць посадки для конкретного обладнання.

Список використаних джерел:

1. Beard R. W., McLain T. W. *Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice*. Princeton: Princeton University Press, 2012.
2. Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J. (eds.) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht: Springer, 2015.
3. Pirayesh H., Zeng H. Jamming attacks and anti-jamming strategies in wireless networks: a comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2022. Vol. 24, No. 2. P. 767–809.
4. Kaplan E. D., Hegarty C. J. *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications*. 3rd ed. Boston: Artech House, 2017.

Бондарчук Володимир Дмитрович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: vovabondarchuk103@gmail.com.*

Первак Ігор Володимирович *– курсант інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: pervakigor9@gmail.com.*

Bondarchuk Volodymyr Dmytrovych *– cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: vovabondarchuk103@gmail.com.*

Pervak Ihor Volodymyrovych *– cadet from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: pervakigor9@gmail.com.*