

Л.А. Романюк, І.В. Чихіра

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ БПЛА В УМОВАХ РАДІОАТАК

Мета. Метою статті виступає розкриття механізму формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак.

Методика. Науковці тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя послідовно розробляли та досліджували декілька механізмів формування безпечного руху безпілотного літального апарату в умовах радіоатак з метою створення досконалої моделі, за допомогою якої можливо здійснювати запуск БПЛА в районах з підвищеною радіоатакою. У результаті раніше проведених робіт визначено механізм формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак заснованого на методах підвищення стійкості надання інформації про маршрут безпілотного літального апарату в умовах використання РЕП і систем ППО.

Результати. У статті розкривається механізм формування безпечного руху безпілотного літального апарату в умовах радіо атак. Аналіз відомих рішень в області підвищення стійкості шляху управління безпілотним літальним апаратом протиповітряної оборони і електронне придушення продемонстрували актуальність задачі формування маршрутів польоту безпілотного літального апарату в обхід протидіючих ділянок противника з урахуванням особливості використання протиповітряної оборони і радіоелектронної боротьби. Автори наголошують, що в даний час більшість завдань управління безпілотними літальними апаратами автоматизовані, у зв'язку з їх високою складністю та різноплановістю функціональних можливостей. У якості управляючого фактора на безпілотному літаку використовується автоматизована система управління, яка працює під контролем людини-оператора. Наголошено, що основними загрозами для безпілотних літальних апаратів в сучасних умовах є можливість їх знищення системами протиповітряної оборони, а також порушення роботи системи радіозв'язку та управління між центром управління і БПЛА за допомогою електронного придушення. Розкрито необхідність постійного відстеження польоту БПЛА шляхом передачі йому команд з пускової установки. Також наголошено на низькому рівні автоматизації бортової системи управління безпілотним літальним апаратом та нездатності самостійно приймати адекватні рішення щодо інформації, одержуваної від бортових датчиків у складних ситуаціях, що вимагають постійного моніторингу польоту БПЛА людиною-оператором.

Наукова новизна. Вперше розроблено функціональну схему механізму розпізнавання БПЛА в умовах радіо атак та визначено механізм формування безпечного руху БПЛА в умовах радіо атак, який ґрунтується на трьох основних методиках. Першою методикою прийнято методіку кластеризації зон польоту безпілотного літального апарату за ступенем стійкості управління. В основі другої методіки авторами запропоновано методіку формування маршрутів польотів БПЛА з урахуванням розміщення засобів протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби. Останньою ланкою є методіка оцінки стійкості надання інформації про маршрут безпілотного літального апарату в умовах використання засобів протиповітряної оборони і радіоелектронної боротьби.

Практична значимість. Результати роботи можуть бути впроваджені у процес формування безпечного руху БПЛА в умовах радіо атак.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; управління повітряним рухом; простір; безпека; політ.

Постановка задачі

Аналіз досвіду використання безпілотних літальних апаратів у недавніх локальних військових конфліктах та досвід використання безпілотних літальних апаратів при розгортанні збройних сил

показав, що безпілотні літальні апарати ефективні переважно в районах військових дій, у яких пілотована авіація є недоцільною або неадекватно ризикованою через високу ймовірність знищення пілотованого літака.

Основними загрозами для безпілотних літальних апаратів в сучасних умовах є можливість їх знищення системами ППО (протиповітряної оборони), а також порушення роботи системи радіозв'язку та управління між центром управління і БПЛА за допомогою електронного придушення (РЕП). Аналіз відомих робіт і технологічних рішень показує, що в переважній більшості робіт виживаність БПЛА в умовах використання систем ППО та стійкість БПЛА в умовах використання засобів РЕП розглядаються без урахування можливостей просторового маневру БЛА з метою обходу зони ППО та РЕП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Масштаби сучасних наукових досягнень в галузі досліджень значні. Принципи формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак розглядалися багатьма вітчизняними та зарубіжними вченими.

А. О. Попов, В. В. Твердохліб [1], сформулювали основні аспекти загальної проблеми розвитку радіоелектронної боротьби. Авторами розглянуто загальні тенденції та напрямки розвитку вітчизняних і закордонних засобів радіоелектронної боротьби, врахування яких може вирішити проблеми, які визначено.

Можливості звуколокації БПЛА у завданнях моніторингу терористичних загроз розкрито у статті [2]. Низка авторів, Орлов В. В., Лисий М. І., Сівак В. А., Купрієнко Д. А., Кульчицький, В. М., Добровольський А.Б. запропонували звуколокаційну систему щодо виявлення рухомих об'єктів, яка побудована за допомогою мережі датчиків, що розміщені в просторі. Основною відмінністю від існуючих звуколокаційних систем є визначення часової затримки не за взаємною кореляційною функцією, а за взаємною функцією невизначеності сигналів між датчиками.

Грунтовними роботами автоматичного управління системою навігації БПЛА, є роботи: І. О. Кашаєва, О. А. Усачова, С. М. Новічонка, В. М. Петрова [3], О. В. Ярового [4], О. А. Мясіщева, В.В. Швеця [5], та ін.. Автори детально описують можливість застосування автоматичного управління системою навігації БПЛА в умовах перешкод та механізми формування траєкторії польоту.

Проте, незважаючи на результати наукових розробок відповідно до теми дослідження, питання формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак залишається відкритим та потребує детального вивчення.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. В існуючих автоматизованих системах управління (АСУ) БПЛА не враховується можливість завчасного формування «безпілотних»

зон, в яких ймовірність знищення системами ППО вище, ніж безпечне значення, а також автоматизовано формування таких маршрутів польотів БПЛА, які забезпечують необхідний рівень стабільності управління розподільним пристроєм «ПУ - БПЛА», в тому числі за умови впливу об'єктів РЕП. У той же час, ця просторова маневреність і секретність БПЛА повинні стати основою гнучкості їх бойового застосування, а стабільність управління БЛА повинна бути досягнута, крім усього іншого, колійним маневром, щоб обійти райони тактичної переваги противника.

Мета дослідження. У статті необхідно розкрити механізм формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Методи дослідження – індукція, дедукція, синтез, моделювання. Об'єкт дослідження – безпілотний літальний апарат. Предмет дослідження – механізм формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак.

Основний матеріал

В умовах сьогодення, сучасні безпілотні літальні апарати не володіють високою стабільністю проходження по маршруту в умовах втрати зв'язку з пусковою установкою або в режимі «радіомовчання». Це визначає необхідність постійного відстеження польоту БПЛА шляхом передачі йому команд з пускової установки. Крім того, низький рівень автоматизації бортової системи управління безпілотним літальним апаратом, відсутність здатності самостійно приймати адекватні рішення щодо інформації, одержуваної від бортових датчиків в складних ситуаціях, вимагають постійного моніторингу польоту БПЛА людиною-оператором.

В даний час завдання боротьби з безпілотниками в спеціально контрольованих районах значно модернізовані. У той же час, якщо на початковому етапі виконання цього завдання (на початку 2000-х років) протидія БПЛА вирішувалася виключно засобами ППО, то тепер експерти зрозуміли, що прямим відбиттям масованої атаки БПЛА шляхом знищення ракетними системами протиповітряної оборони (ракет, снаряди) призводить до швидкого виснаження його бойових ресурсів і подальшої нездатності відбити атаку вже пілотованих армійських літаків, а також високоточних крилатих ракет. У цьому сенсі в даний час потенційні противники розглядають додаткові методи боротьби з безпілотниками, в тому числі використання електронних засобів придушення, а також зброю спрямовану на енергію випромінювання – лазерну зброю. Хоча використання лазерної зброї все ще є відносно

експериментальною технологією, методи боротьби з БПЛА, засновані на спільному використанні систем РЕР і SAM, вже активно використовуються в практиці локальних бойових дій.

Таким чином, в науці можна сформулювати протиріччя між необхідністю стабільного управління безпілотним літальним апаратом на маршрутах польоту в області протиповітряної оборони і електронним придушенням супротивника та неможливістю постановки цієї проблеми на основі сучасного стану розвитку науково-практичної діяльності. Формування дієвого пристрою для управління безпілотним літальним апаратом, щоб подолати цю суперечність, пропонується ґрунтувати на розподілі безполітних зон з використанням методів теорії кластеризації і формувати маршрути польоту БПЛА з використанням методів дискретної математичної теорії – теорії графів.

При формуванні «безполітних» зон і маршрутів польоту пропонується сконцентруватися на вирішенні завдань управління маршрутом БПЛА, використовуючи в якості вихідних даних результати відомої роботи в області оцінки живучості [2]. БПЛА в умовах використання проти них зенітних систем ППО, а також за результатами робіт, відомих в області оцінки несприйнятливості до перешкод від систем авіаційного радіозв'язку [3, 5, 6].

Пропонується використовувати підходи з галузі зв'язку, описані в [7], присвячені застосуванню ієрархічних угруповань і методів класифікації в телекомунікаційних протоколах, в якості основи для вирішення проблеми формування «нелітних» зон, в яких тактична перевага противника – зони ППО і електронної оборони. І в якості основи для вирішення проблеми формування безлічі маршрутів, які обходять «нелітні» зони і забезпечують стабільність управління на основі «ПУ – БПЛА», пропонується використовувати підходи, описані в [1] щодо поліпшення протоколів маршрутизації в телекомунікаційних мережах.

За для того, щоб розгадати сформульоване в науці протиріччя і вирішити проблему забезпечення стійкості управління маршрутами БПЛА в умовах використання засобів ППО та радіоелектронної боротьби, виявлення «нелітних» зон і формування безлічі маршрутів польоту БПЛА, які б обходили «безполітні» зони, необхідно вирішити наукову задачу розробки методів підвищення стійкості управління маршрутом БПЛА в умовах застосування ППО і електронного придушення.

У той же час управління маршрутом безпілотного літального апарату слід розглядати як об'єкт дослідження, а предметом дослідження стане

стійкість надання інформації про маршрут безпілотного літального апарату в умовах використання ППО та радіоелектронної боротьби.

Постановка наукової проблеми може бути сформульована таким чином – підвищення стійкості управління безпілотним літальним апаратом з точки зору ймовірності стійкості надання інформації про маршрут (r) на безліч маршрутів, утворених системою управління БПЛА (r_i) при розв'язанні задач повітряної розвідки, в той час як індикатор ймовірності стійкості управління буде ґрунтуватися на показниках ймовірності придушення розподільного пристрою БПЛА (r_p) в умовах впливу засобів РЕР і ймовірності ураження БПЛА засобами ППО. Функціональна схема механізму розпізнавання БПЛА в умовах радіо атак наведена на рис. 1.

Механізм формування безпечного руху БПЛА в умовах радіо атак ґрунтується на трьох основних методиках:

- 1) методика кластеризації зон польоту БПЛА за ступенем стійкості управління;
- 2) методика формування маршрутів польотів БПЛА з урахуванням розміщення засобів ППО та радіоелектронної боротьби;
- 3) методика оцінки стійкості надання інформації про маршрут БПЛА в умовах використання засобів ППО і РЕБ.

Методика кластеризації зон польоту безпілотного літального апарату за ступенем стійкості управління повинна автоматично дозволяти на основі геотопологічних моделей зони польоту БПЛА та відомого розташування систем ППО формувати «нелітаючі» зони, в яких безпілотники і зони контролю з високою ймовірністю можуть бути пошкоджені внаслідок впливу РЕР.

Елементами новизни цієї методології, яка відрізняє її від результатів відомої роботи в області формування маршруту польоту БПЛА [2] і відомої роботи в області формування кластера [8], буде розгляд двох типів дестабілізуючих ефектів як перешкод для польоту БПЛА – ефекти систем ППО і ефекти радіоелектронної боротьби в якості інтегральної метрики вузлів графа геотопологічних моделей зон польоту. У той же час пропонується використовувати алгоритм математичної ієрархічної кластеризації Ланс-Вільямса та перевірити зв'язність мережі маршрутів, використовуючи метод сильного з'єднання, для створення безпілотних зон, де можуть бути пошкоджені БПЛА і зон із порушенням контролю через вплив засобів РЕР на БПЛА з графічних областей БПЛА.



Рисунок 1. Функціональна схема механізму розпізнавання БПЛА в умовах радіоатак

* Власна розробка авторів на основі [7]

Обговорення отриманих результатів

Методика формування маршрутів польотів БПЛА, з урахуванням розміщення засобів ППО та радіоелектронної боротьби, повинна автоматично допускати формування серії маршрутів польоту БПЛА, ранжируваних відповідно до ступеня стабільності управління, на основі геотопологічної моделі зони польоту БПЛА та відомих безпілотних зон, де безпілотники, швидше за все, будуть пошкоджені, беручи до уваги потенційну втрату контролю при ударі з розподільним пристроєм БПЛА. У той же час зони ППО повинні бути повністю виключені з розгляду при формуванні маршрутів БПЛА шляхом обрізання схеми геотопологічної моделі зони польоту. Зони РЕБ використовуються для створення маршрутів [9]. Однак необхідно вибрати маршрут польоту БПЛА, в якому сумарне значення ймовірності придушення розподільного пристрою мінімальне. Цей маршрут відповідає траєкторії з максимальним контролем стійкості для безпілотних літальних апаратів.

Новизна цього методу, який відрізняє його як від відомого алгоритму Дейкстри, так і від інших теоретичних рішень в області формування маршрутів польоту БПЛА з обходом перешкод і небезпечних зон, полягає в тому, що він повинен включати в себе додаткові операції, які дозволяють сформувати, крім найкоротшого маршруту, також упорядкований набір додаткових маршрутів польоту, які повинні формуватися в обхід зон ППО і ранжуватися відповідно до рівня стійкості

управління БПЛА на маршруті. Сформовані маршрути, в свою чергу, оцінюються повторним введенням індикатора якості маршруту – загальною ймовірністю придушення розподільного пристрою БПЛА на маршруті.

Методологія оцінки стійкості надання інформації про маршрут БПЛА в умовах використання засобів ППО і РЕБ повинна оцінювати різні варіанти маршрутів БПЛА в залежності від ймовірності стійкості надання інформації про маршрут БПЛА з урахуванням використання противником засобів ППО та електронного обладнання.

Інноваційні елементи цієї методології, які відрізняють її від інших рішень для оцінки якості маршрутів польотів БПЛА [10], будуть полягати в тому, що методологія спочатку буде враховувати показники зниження стійкості управління безпілотними літальними апаратами в зонах протиповітряної оборони та РЕБ шляхом визначення ймовірності пошкодження БПЛА системи протиповітряної оборони і ймовірності придушення розподільного пристрою БПЛА для кожної контрольної точки та вузлового маршруту польоту, а по-друге, в рамках розрахункових технічних співвідношень, буде можливо запропонувати не один маршрут польоту БПЛА, а кілька маршрутів, які будуть створені відповідно до методології формування безпілотних маршрутів польоту. В основі такої методології лежить принцип, що повітряне судно, з огляду на розташування засобів ППО і електронної бойової техніки, може

перемикатися з основного на один з додаткових маршрутів після виявлення нових зон реакції противника.

Висновки

З метою підвищення стійкості надання інформації про маршрут безпілотного літального апарату в умовах спільного використання противником протиповітряної оборони та електронного придушення пропонується зробити спільний облік ймовірності пошкодження БПЛА системами ППО і РЕБ, також облік можливості маневрування маршруту БПЛА для обходу зони тактичної переваги противника під час проведення повітряних розвідувальних місій.

Для вирішення цієї проблеми пропонується розробка механізму формування безпечного руху БПЛА в умовах радіоатак заснованого на методах підвищення стійкості надання інформації про маршрут безпілотного літального апарату в умовах використання РЕП і систем ППО. Підвищення стійкості надання інформації про маршрут буде досягатися за рахунок угруповання зон польоту безпілотних літальних апаратів в зонах впливу засобів протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби з наступним виключенням зон протиповітряної оборони. У той же час в останньому наборі вузлів у геотопологічній моделі будуть сформовані основні і додаткові маршрути польоту до класифікації за ступенем стійкості управління безпілотного літального апарату в умовах РЕБ.

Література

1. Попов А. О., Твердохлібов В.В. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби. *Військово-технічна політика*. 2014. №4. С. 4-11.
2. Дослідження можливостей звуколокації БПЛА у завданнях моніторингу терористичних загроз / В. В. Орлов, М. І. Лисий, В. А. Сівак, Д. А. Купрієнко, В. М. Кульчицький, А.Б. Добровольський. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. Київ, 2019. Вип. 79. С. 24–32.
3. Кашаєв І. О., Усачова О. А., Новічонко С. М., Петров В. М. Застосування безпілотних літальних апаратів для вирішення задач моніторингу об'єктів аеродромної інфраструктури. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2019. № 2. С. 48-58.
4. Яровий О. В. Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів. *Молодий вчений*. 2018. № 5(1). С. 190-196.
5. Мясіщев О. А., Швець В.В. Режими польоту контролерів польоту арм 2.6 і pixhawk. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 1 (257). С. 78–82.
6. Даник Ю. Г., Балицький І. І. Методика визначення околу безпеки безпілотних літальних апаратів. *Наукоємні технології* 2018. № 4(40). С. 526-534.
7. Даник Ю. Г., Катеринчук І. С., Балицький І. І. Методика забезпечення безпеки застосування БПЛА при виконанні спеціальних задач в складних умовах. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2017. №3(30). С. 80–89.
8. Тань Лиго, Фомичев А. В. Планирование пространственного маршрута полета беспилотного летательного аппарата с использованием методов частично целочисленного линейного программирования. *Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*. Москва, 2016. № 2. С. 53–66. doi: 10.18698/0236-3933-2016-2-53-66.
9. Балицький І. І. Забезпечення безпеки польоту безпілотних літальних апаратів при вирішенні завдань з охорони кордону. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки*. Хмельницький, 2018. № 2(76). С. 55-65.
10. Романюк Л., Чихіра І. Аеродинамічна модель групи безпілотних літальних апаратів у просторі з перешкодами. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. Луцьк, 2020. Вип. 38. С. 59-66.

References

1. Popov A. O., Tverdokhlibov V.V. Zahalni tendentsii rozvytku zasobiv radioelektronnoi borotby [General Trends in the Development of Radio-Electronic Warfare]. *Viiskovo-tekhnichna polityka*. 2014. No. 4. P. 4-11.
2. Doslidzhennia mozhlyvostei zvukolokatsii BpLA u zavdanniakh monitorynhu terorystychnykh zahroz [Research of the Possibilities of UAV Sound Location in the Tasks of Monitoring Terrorist Threats] / V. V. Orlov, M. I. Lysyi, V. A. Sivak, D. A. Kupriienko, V. M. Kulchitskyi, A.B. Dobrovolskyi. *Bulletin of NTUU "KPI". Series: Radio Engineering*. Kyiv, 2019. Is. 79. P. 24–32.
3. Kashaiev I. O., Usachova O. A., Novichonok S. M., Petrov V. M. Zastosuvannya bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia vyrishennia zadach monitorynhu obektiv aerodromnoi infrastruktury [Application of Unmanned Aerial Vehicles to Solve Problems of Monitoring of Aerodrome Infrastructure Facilities]. *Collection of scientific works of Kharkiv National Air Force University*. 2019. No. 2. P. 48–58.
4. Iarovyi O. V. Vybir optymalnykh modelei bezpilotnykh litalnykh aparativ ta system upravlinnia dlia vykonannia zadach shchodo monitorynhu nazemnykh obektiv [Selection of Optimal Models of Unmanned Aerial Vehicles and Control Systems to Perform Tasks Related to Surface Facility Monitoring]. *Molodyi vchenyi*. 2018. No. 5(1). P. 190-196.
5. Miasishchev O. A., Shvets V.V. Rezhymy polotu kontroleriv polotu apm 2.6 i pixhawk [Flight Modes of Flight Controllers apm 2.6 and pixhawk]. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2018. No. 1 (257). P. 78–82.
6. Danyk Yu. H., Balytskyi I. I. Metodyka vyznachennia okulu bezpeky bezpilotnykh litalnykh aparativ [Methods for Determining the Safety of Unmanned Aerial Vehicles]. *Naukoiemni tekhnolohii*. 2018. No. 4(40). P. 526-534.
7. Danyk Yu. H., Katerynychuk I. S., Balytskyi I. I. Metodyka zabezpechennia bezpeky zastosuvannia BPLA pry vykonanni

spetsialnykh zadach v skladnykh umovakh [Methods of Ensuring the Safety of UAV Use when Performing Special Tasks in Difficult Conditions]. *Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony*. 2017. No. 3 (30). P. 80–89.

8. Tan' Ligo, Fomichev A. V. Planirovanie prostranstvennogo marshruta poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata s ispol'zovaniem metodov chastichno celochislennogo linejnogo programmirovaniya [Spatial Flight Planning of an Unmanned Aerial Vehicle Using Partially Integer Linear Programming Methods]. *Vestnik MGTU imeni N.Je. Baumana. Ser. Priborostroenie*. Moskva, 2016. No. 2. P. 53–66. doi: 10.18698/0236-3933-2016-2-53-66.

9. Balytskyi I. I. Zabezpechennia bezpeky polotu bezpilotnykh litalnykh aparativ pry vyrishenni zavdan z okhorony kordonu [Ensuring Flight Safety of Unmanned Aerial Vehicles in Solving Border Guarding Tasks]. *Collection of Scientific Works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences*. Khmelnytsky. No. 2 (76). P. 55–65.

10. Romaniuk L., Chykhira I. Aerodynamichna model hrupy bezpilotnykh litalnykh aparativ u prostori z pereshkodamy [Aerodynamic Model of a Group of Unmanned Aerial Vehicles in Space with Obstacles]. *Computer-integrated Technologies: Education, Science, Production*. Luts'k. Is. 38. P. 59–66.

Рецензент: д.т.н., професор кафедри, завідувач кафедри інформатики та вищої математики В.П. Ляшенко, Кременчуцький Національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

Автор: РОМАНІЮК Леонід Антонович
доцент, кандидат технічних наук
кафедра вищої математики
факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
E-mail - leonidromanyuk@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2538-4026>

Автор: ЧИХІРА Ігор Вікторович
доцент кандидат технічних наук
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
E-mail - ig.vi.chi@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8615-3635>

MECHANISM OF ENSURING SAFE UAV MOVEMENT UNDER THE CONDITIONS OF RADIO ATTACKS

L. Romaniuk, I. Chykhira

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Purpose. The aim of the article is to reveal the mechanism of formation of safe UAV movement in the conditions of radio attacks.

Methodology. Scientists from Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyuy have consistently developed and studied several mechanisms for the formation of safe movement of unmanned aerial vehicles in radio attacks in order to create a perfect model with which to launch UAVs in areas with high radio attack. As a result of previous work, the mechanism of formation of safe movement of UAVs in the conditions of radio attacks based on methods of increasing the stability of providing information about the route of the unmanned aerial vehicle in the use of REP and air defense systems.

Results. The article reveals the mechanism of formation of safe movement of unmanned aerial vehicle in the conditions of radio attacks. Analysis of known solutions in the field of increasing the stability of the control path of unmanned aerial vehicles and electronic suppression demonstrated the relevance of the problem of forming flight routes of unmanned aerial vehicles bypassing opposing enemy areas, taking into account the use of air defense and electronic warfare. The authors emphasize that most drone control tasks are now automated due to their high complexity and versatility. An automated control system operating under the control of a human operator is used as a control factor on an unmanned aircraft. It is emphasized that the main threats to unmanned aerial vehicles in modern conditions are the possibility of their destruction by air defense systems, as well as disruption of the radio communication and control system between the control center and the UAV by electronic suppression. The need for constant tracking of UAV flight by transmitting commands from the launcher is revealed. It is also emphasized the low level of automation of the onboard control system of the unmanned aerial vehicle and the inability to make adequate decisions on information received from onboard sensors in complex situations that require constant monitoring of UAV flight by a human operator.

Scientific novelty. For the first time the functional scheme of the UAV recognition mechanism in the conditions of radio attacks is developed and the mechanism of formation of safe movement of the UAV in the conditions of radio attacks which is based on three basic techniques is defined. The first method is the method of clustering the flight zones of an unmanned aerial vehicle according to the degree of control stability. Based on the second method, the authors propose a method of forming the routes of UAV flights, taking into account the location of air defense and electronic warfare. The last link is the method of assessing the stability of providing information about the route of the unmanned aerial vehicle in terms of the use of air defense and electronic warfare.

Practical relevance. The results of the work can be implemented in the process of forming the safe movement of UAVs in the conditions of radio attacks.

Keywords: unmanned aerial vehicle; air traffic control; space; security; flight.