

**Р. Н. Кветний, д. т. н., проф.; І. П. Борщова**

## **СИСТЕМА УНИКНЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ДЛЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАКІВ НА ОСНОВІ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ**

*У статті описано підхід до побудови системи уникнення зіткнення для безпілотних літаків на основі мінімізації ризиків внаслідок оцінки потенційних втрат.*

**Ключові слова:** безпілотні літаки, система уникнення зіткнень, оцінка ризику.

**Вступ.** На сьогодні велику увагу у всьому світі приділяють розвитку безпілотних авіаційних систем. Далеко не нова ідея використовувати безпілотники в пошуково-рятувальних операціях, для інформаційної підтримки під час гасіння лісових пожеж, для здійснення постійного авіаційного моніторингу магістральних нафто- і газопроводів, високовольтних ліній електропередачі та інших технічних об'єктів галузі, у військових цілях [1]. Усунення людини з борту літального апарату з метою зберегти життя пілота в небезпечних місіях – їх головне призначення. Крім того, відсутність людини на борту дозволяє здійснювати маневри з великими перевантаженнями, недоступні для пілотованих апаратів.

Сучасні безпілотні авіаційні комплекси – це складні функціональні системи. Під час їх розробки використовують найновіші досягнення в галузі мікроелектроніки, програмування, малогабаритних високоефективних двигунів, композиційних матеріалів та інших складних технологій. Проте аналіз світових тенденцій розвитку безпілотної авіаційної техніки свідчить про підвищення вимог до забезпечення її безпеки не тільки шляхом покращення льотно-технічних характеристик безпілотних літальних апаратів, а також завдяки забезпеченню та зростанню польотного ресурсу шляхом удосконалення інтелекту систем автоматичного управління.

**Аналіз попередніх досліджень.** Безпека повітряного руху з метою зберегти життя людини є необхідною умовою під час проектування будь-якої авіаційної техніки. Показником безпеки повітряного руху є ризик зіткнення між кількома літальними апаратами в просторі. І головне місце в системі прийняття рішень під час контролю й керування повітряним рухом посідає виявлення потенційно конфліктних ситуацій [2].

На сьогодні відома велика кількість підходів і методів виявлення конфліктних ситуацій, розроблених як для бортових систем управління польотом, так і для наземних пунктів керування повітряним рухом. Існують ймовірнісні [3] та геометричні методи виявлення конфліктів. Найчастіше використовуються ймовірнісні методи виявлення конфліктів, оскільки вони дозволяють використання розподілу ймовірностей зіткнення для оцінки ризику. Найвідомішими є метод Рейха та узагальнений метод Рейха.

Найвідомішими і найрозповсюдженішими системами уникнення зіткнення є системи TCAS (Traffic collision avoidance systems) та системи ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast).

TCAS – це система, розроблена для запобігання зіткнень у повітряному просторі між авіатранспортом; вона є сукупністю бортових пристроїв, які функціонують незалежно від наземної повітряної системи управління рухом і забезпечують захист для уникнення зіткнення для широкого спектру різних типів авіації. ADS-B – абсолютно нова технологія, яка дозволяє пілотам і авіадиспетчерам "бачити" й управляти авіацією з більшою точністю над набагато більшою площею землі, ніж це було можливо коли-небудь раніше. ADS-B дозволяє визначати розміщення авіатранспорту в просторі, використовуючи глобальні навігаційні супутникові системи, і періодично транслювати сигнал.

Проте наявні системи уникнення зіткнення для безпілотних літаків не дозволяють

вирішити найбільш нагальні проблеми, які стоять перед світовою авіацією. Вони не дають точних алгоритмів уникнення зіткнення і не можуть оцінити ризик під час зіткнення. Тому актуальною є завдання розробки таких засобів уникнення зіткнення, які дозволили б вирішити наявні проблеми.

**Метою роботи** є розробка підходу до створення ефективної технології, що використовується для уникнення зіткнення між безпілотним літаком та іншим авіатранспортом на основі мінімізації ризиків.

**Матеріали та результати досліджень.** Уникнення зіткнення – це не тільки технічне завдання, це завдання, яке пов'язане з безпекою людей. Система уникнення зіткнення для безпілотних літаків повинна допускати ризик зіткнення лише один випадок на мільярд. Тому, оскільки головною проблемою під час розробки алгоритмів уникнення зіткнення безпілотних літаків є забезпечення безпеки іншим літальним засобам, особливо пілотованим літакам, а також літакам, які перевозять пасажирів, головним завданням під час розробки таких підходів є оцінка ризику [4].

Для цього випадку ризик зіткнення з іншим літальним апаратом у просторі визначається за формулою:

$$R = L * P, \quad (1)$$

де  $L$  – потенціальні втрати,  $P$  – ймовірність зіткнення.

Потенційні втрати вираховують залежно від маси літака, який рухається назустріч (чим більша маса літака – тим більші втрати у разі зіткнення), від кількості пасажирів на борту літака, з яким відбувається зіткнення (більше пасажирів – більші людські втрати), від середовища, де відбувається зіткнення (якщо це місто – відповідно більші втрати тощо) [5].

Для цього записують таблиці коефіцієнтів для літаків з різними масами, різною кількістю пасажирів на борту, над різними типами місцевості.

Отже,  $L$  – це функція від коефіцієнтів маси, кількості людей та середовища зіткнення, що математично запишемо так:

$$L = f(M, N, E), \quad (2)$$

де  $M$  – коефіцієнт, який залежить від маси літака, який рухається назустріч,  $N$  – коефіцієнт, що залежить від кількості пасажирів на борту літального апарата, з яким існує ймовірність зіткнення;  $E$  – коефіцієнт, що залежить від місцевості, над якою існує ймовірність зіткнення.

Коефіцієнти  $M, N, E$  – це нечіткі параметри, значення яких встановлює диспетчер наземного пункту керування, проаналізувавши відомі значення маси літака, кількості людей на борту, середовища зіткнення на основі таблиць коефіцієнтів для різних типів літаків. Для обрахунку потенційних втрат значення коефіцієнтів  $M, N, E$  подають на вхід нечіткого контролера, після чого за нечіткими правилами формують результуюче значення потенційних втрат  $L$ . Для формування логічного висновку на основі нечітких правил у цій системі використовують тип нечіткого логічного висновку Mamdani.

Розглянемо ймовірність зіткнення двох літальних апаратів у просторі. Застосування поняття «ймовірність зіткнення» потребує введення деякої функції, яка характеризує процес вторгнення в заборонену зону. Такою функцією є ймовірність зіткнення двох літальних апаратів у просторі від координат.

Математично цю залежність запишемо так:

$$P = f(x, y, z), \quad (3)$$

де  $x, y, z$  – координати безпілотника в просторі.

Оскільки положення літака в просторі залежить більшою мірою від кута його нахилу до площин, утворених координатними осями, то для вирішення поставленого завдання

перейдемо до полярних координат. Тоді залежність (3) буде визначатись за формулою:

$$P = f(x(\alpha, \beta), y(\alpha, \beta), z(\alpha, \beta)), \quad (4)$$

де  $\alpha, \beta$  – відповідно кути нахилу літака до площин  $XOY$  та  $YOZ$ ;  $x, y, z$  – координати безпілотного літака в просторі.

Імовірність зіткнення залежить від напрямку руху літака: у напрямку руху ймовірність зіткнення найвища, праворуч і ліворуч від літака – відповідно нижча. Позаду літака також існує ймовірність зіткнення, проте вона буде не така висока, як у напрямку руху.

Кожен літальний апарат, який рухається в просторі, має сімейство поверхонь, які описують ризик зіткнення з іншим авіатранспортом у просторі. Ці поверхні будують з урахуванням потенційних втрат під час зіткнення. Отже, враховуючи формулу 4 та коефіцієнти  $M, N, E$ , побудовано поверхні, які описують ризик зіткнення для двох літальних апаратів у просторі при наборі параметрів  $N1 = 75, M1 = 10, E1 = 80, E2 = 80, M2 = 0, N2 = 50$ .

Ці поверхні зображено на рис. 1.

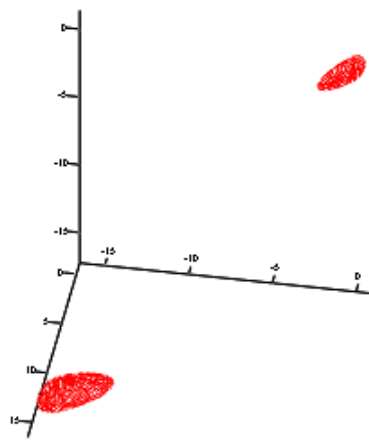


Рис. 1. Поверхні ризику для двох літальних апаратів у просторі

Результивний ризик для безпілотного літака залежить як від його власного ризику, так і від траєкторії руху об'єкта, який летить назустріч. Отже, результивний ризик запишемо як :

$$P = f(x(\alpha, \beta), y(\alpha, \beta), z(\alpha, \beta), z'(\alpha, \beta), x'(\alpha, \beta), y'(\alpha, \beta)), \quad (5)$$

де  $\alpha, \beta$  – відповідно кути нахилу літака до площин  $XOY$  та  $YOZ$ ;  $x, y, z, z', x', y'$  – координати в просторі безпілотника і авіатранспорту, який рухається назустріч відповідно.

Результивну поверхню ризику безпілотного літака наведено на рис. 2.

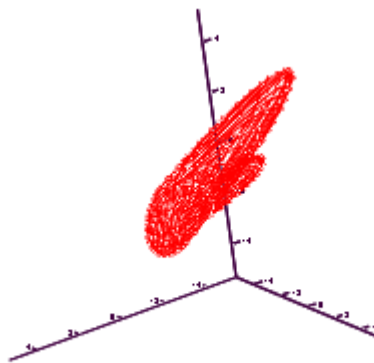


Рис. 2. Результуючий поверхня ризику

Основою для системи уникнення зіткнень є:

1. Типові елементи моделювання (таблиці коефіцієнтів втрат для пілотованих, безпілотних літаків, різних класів безпілотників, значень імовірності зіткнення залежно від швидкості, відстані, маси літака).

2. Типові структури моделювання (розрахунок і побудова поверхонь ризику залежно від значень імовірності зіткнення та потенційних втрат).

3. Типові структури оцінки ризику, що використовують правило «якщо – то».

Алгоритм роботи системи уникнення зіткнення на основі мінімізації ризиків є послідовністю таких дій:

1. Визначення диспетчером наземного пункту керування значень нечітких коефіцієнтів  $M, N, E$ .

2. Визначення системою нечіткого значення коефіцієнта потенційних втрат.

3. Дефазифікація цього значення потенційних втрат і перетворення його на числове значення.

4. Побудова сімейства поверхонь ризиків.

5. Визначення найоптимальнішого маршруту з урахуванням динамічних властивостей системи.

Отже, оцінивши ризик в усіх точках простору, можна оптимізувати шлях руху безпілотника до такого, щоб здійснити маневр уникнення зіткнення з мінімальним для нас ризиком. Отже, запропонований підхід дозволяє підвищити надійність будь-якої системи уникнення зіткнення для безпілотних літальних апаратів.

**Висновки.** У цій статті запропоновано підхід до розробки нової технології підтримки прийняття рішень, що використовується для уникнення зіткнення безпілотних літаків. Цей підхід забезпечує аналіз потенційних втрат під час зіткнення з іншим літальним апаратом за допомогою оцінки ризику. Такий підхід орієнтовано на розв'язання головної проблеми під час розробки алгоритмів уникнення зіткнення безпілотних літаків – забезпечення безпеки іншим літальним засобам.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беспилотные авиационные системы для флота [Електронний ресурс] / Щербаков В. – Режим доступу: [http://www.uav.ru/articles/naval\\_uav.pdf](http://www.uav.ru/articles/naval_uav.pdf).
2. Васильев В. М. Статистичне моделювання і оцінка ризику зіткнень літаків з використанням кореляційної теорії / В. М. Васильев // Вісник НАУ. – 2004. – № 3. – С. 70 – 74
3. Bakker G. J. Probabilistic Approaches Toward Conflict Prediction / G. J. Bakker, H. J. Kremer, H. Blom // Air Transportation Systems Engineering, AIAA. – 2001. – P. 677 – 694.
4. Paielli R. A. Conflict Probability Estimation for Free Flight / R. A. Paielli, H. Erzberger // Journal of Guidance, Control and Dynamics. – 1997. – Vol. 20, № 3. – P. 588 – 596.
5. Кветний Р. Н. Система прийняття рішень для безпілотних літаків / Р. Н. Кветний, О. Р. Бойко, І. П. Борщова // Оптико-електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2010. – № 1 (19). – С. 102 – 105.

**Кветний Роман Наумович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки.

**Борщова Ірина Петрівна** – магістрант кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет.