

УДК 621.396.: 351.814

Є.А. Знаковська, к.т.н.
І.В.Остроумов, к.т.н.
Ю.В. Чинченко, к.т.н.

ОЦІНКА РИЗИКУ ВТРАТИ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ УКРАЇНИ ЗА НОВИМИ ПРАВИЛАМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ

Національний авіаційний університет, м. Київ, ostroumovv@ukr.net

Проведене дослідження ймовірності втрати повітряних кораблів при оптимальному об'ємі вибірки за новими правилами ешелонування під час обслуговування повітряного руху у повітряному просторі України.

Ключові слова: ризик, ешелон польоту, повітряний корабель, відхилення, подвійний розподіл Лапласа, рідкісні події.

Вступ

Дотримання заданого нормами вертикального ешелонування висотного інтервалу є неодмінною умовою виконання польотів. Порухом одним з учасників повітряного руху заданих норм ешелонування впливає на загальний стан безпеки польотів і може стати причиною виникнення ситуації небезпечних зближень повітряних кораблів (ПК).

На нормальний хід польоту за маршрутом впливає велика кількість різномірних факторів, загальна дія яких може призвести до відхилення ПК.

Основними з таких факторів є: технічний стан ПК та навігаційного обладнання, погіршення метеумов, похибки пілотування. Загальна дія цих факторів значно впливає на один з головних параметрів польоту – на висоту.

Ускладнює стан справ наявність похибки визначення абсолютної висоти польоту, яка у загальному випадку складає $\pm 1\%$ від виміряного значення (для сучасного цифрового навігаційного обладнання). Крім того, переважна кількість ПК укомплектована ще менш точним вимірювальним обладнанням, що може призвести до негативних результатів в умовах стрімкого росту інтенсивності авіаперевезень.

Аналіз останніх досліджень

Для оцінки ризику втрати заданого ешелону польоту застосовують методи математичної статистики та теорії ймовірності. Одним з основних підходів до оцінки ризиків пов'язаних з відхиленнями ПК від заданої траєкторії руху є методи ґруновані на оцінці щільності ймовірності відхилення параметра від заданого значення. Щільність ймовірності це залежність, що характеризує появу випадкової величини. Зазвичай для побудови щільності використовують методи математичної статистики.

Статистичні дані про абсолютну висоту польоту ПК можна отримати завдяки виконанню вимірювань точним радіолокатором, розмішеним на земній поверхні. При відомій висоті розміщення радіолокатора відносно рівня світового океану і виміряних висот ПК можливе спостереження за деякою зоною повітряної траси і визначення абсолютної висоти польоту ПК, що знаходяться у межах зони радіолокаційного покриття. При подібних вимірюваннях необхідно враховувати похибки радіолокатора і похибки, викликані станом атмосфери (метеорологічні поправки). Подібні статистичні спостереження проводяться Євроконтролем у рамках контролю за безпекою польотів.

Принципово іншим шляхом спостереження за відхиленнями ПК у просторі є застосування точних барометричних приладів виміру абсолютної висоти польоту, що знаходяться на борту ПК.

Значенням абсолютної висоти польоту, отриманим за допомогою барометричної залежності властиві похибки вимірювання. Величина цих похибок залежить від багатьох факторів. Для оцінки отриманих значень висоти складається інтервальний ряд, на основі якого будується гістограма для подальшої оцінки наближеного вигляду залежності щільності розподілу випадкової величини.

Постановка завдання

Оцінка основних ймовірнісних характеристик відхилень ПК від заданого ешелону польоту є необхідною умовою для аналізу стану безпеки повітряного руху та моделювання ризиків небезпечних зближень ПК.

У поточному році в Україні було введено в дію нові правила ешелонування під час обслуговування повітряного руху [1]. Відповідно до цього на сьогоднішній день питання пов'язані з оцінкою ризику втрати заданого ешелону польоту є актуальними, оскільки міцно пов'язані з безпекою виконання польотів особливо в умовах введення в дію нових правил ешелонування. Метою статті є проведення дослідження ймовірності втрати повітряних кораблів при оптимальному об'ємі вибірки.

Оцінка щільності ймовірності відхилення ПК від заданого ешелону польоту

Для розрахунку ймовірнісних характеристик відхилення ПК від заданого ешелону польоту доречно використовувати записи висоти польоту.

Переважає більшість ПК на сьогоднішній день укомплектована бортовою апаратурою реєстрації. Існує чимало різноманітних типів подібного обладнання, основним завданням якого є безперервний запис інформації від численних датчиків, розмішених на борту ПК. Зазвичай запис інформації відбувається на звичайну карту пам'яті. Після кожного польоту екіпаж змінює накопичувач інформації на новий. Карту пам'яті з записом під'єднують до персонального комп'ютера і за допомогою спеціального програмного забезпечення записану інформацію піддають декодуванню. Далі записи польоту додаються до авіаційної бази даних, де і зберігаються.

Оскільки одним з параметрів руху ПК, що фіксується, є абсолютна висота польоту, то її записи можуть бути отримані з електронної бази характеристик польоту за будь-які рейси, для різних екіпажів чи для різних літаків.

За результатами статистичної оцінки вибраних записів висоти польоту будується гістограма, що характеризує відхилення ПК, які мали місце під час польотів.

На основі отриманої гістограми виконують розрахунок щільності ймовірності відхилення ПК від заданого ешелону польоту.

У загальному випадку, у якості щільності ймовірності використовується подвійний розподіл Лапласа у вигляді, [2]:

$$f(H) = (1 - \alpha_1) \frac{1}{2a_1b_1\Gamma(b_1)} \exp\left(-\left|\frac{H - \mu}{a_1}\right|^{1/b_1}\right) + \alpha_1 \frac{1}{2a_2b_2\Gamma(b_2)} \exp\left(-\left|\frac{H - \mu}{a_2}\right|^{1/b_2}\right), \quad H \in \mathbb{R},$$

де $\alpha \in (0, 1)$ - параметр суміші, що відповідає за внесок кожної з частин щільності розподілу; a_1, a_2 - додатні параметри масштабу; b_1, b_2 - параметри форми; μ - математичне сподівання;

$\Gamma(b) = \int_0^\infty e^{-t} t^{b-1} dt$ - ейлерова гамма-функція.

Оцінка параметрів щільності ймовірності для повітряного простору України

Для відповідного характеру розподілу випадкової величини (абсолютної висоти польоту) необхідно оцінити невідомі параметри на основі статистичних даних, отриманих безпосередньо у результаті виконання вимірювань.

На основі експериментальних даних для оцінки щільності можуть бути використані різні методи математичної статистики: метод максимальної достовірності; метод моментів; максимум наступної оцінки; мінімум χ^2 оцінки; оцінка найменших квадратів.

Для оцінки параметрів розподілу використаємо метод максимальної достовірності, а отримана систему рівнянь розв'яжемо з використанням методу Ньютона.

У якості статистичних даних для оцінки параметрів розподілу щільності використаємо записи параметрів польотів одного літака Ан-140, що здійснював рейси за одним і тим самим маршрутом. Інформація по польотам була зафіксована бортовим пристроєм реєстрації БУР-92А-04. Для побудови щільності використаємо записи абсолютної висоти польоту ПК надані

апаратурою «ИКВСП-140». Після декодування за допомогою спеціалізованого програмного комплексу «Монстр» з них були вилучені покази абсолютної висоти у цифровому вигляді для подальшої обробки.

Для оцінки було використано записи 22 різних польотів. За результатами статистичної обробки дискретних відміток абсолютної висоти польоту (загальний обсяг вибірки становить: 48124 записи) ПК була побудована загальна гістограма, що характеризує відхилення ПК від висоти заданого ешелону польоту (для заданого ЕП-160, якому відповідає абсолютна висота – 4900м) (рис.1).

На основі отриманої статистичної гістограми (рис.1) було виконано розрахунок параметрів для подвійного розподілу Лапласа. Розрахунок було здійснено за спеціально написаною комп'ютерною програмою на мові математичного програмування MathLAB.

У результаті були отримані параметри щільності ймовірності відхилення ПК від заданої траєкторії руху для регіону України:

$$\mu = -24,927; \alpha = 0,0035533; a_1 = 29,686; a_2 = 252,13; b_1 = 0,5; b_2 = 1.$$

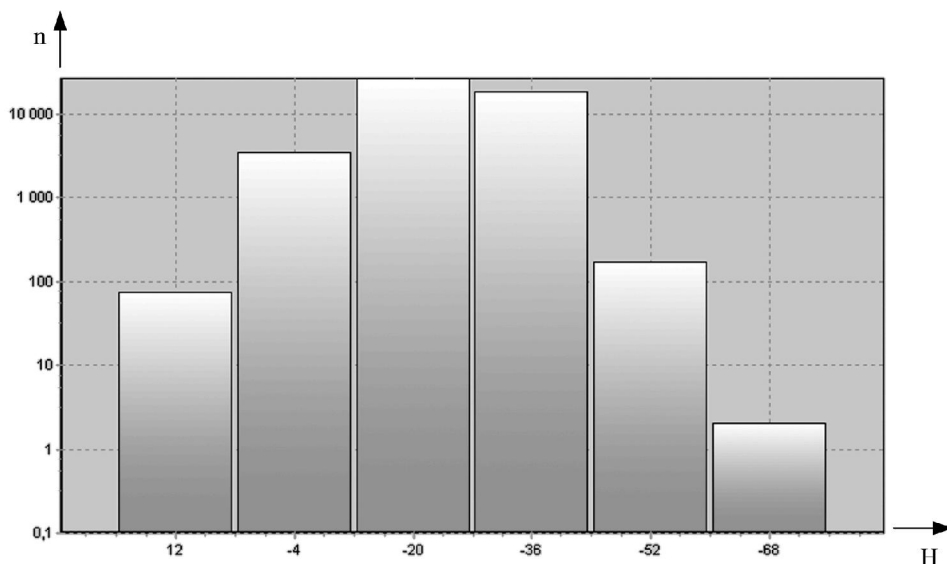


Рис. 1. Гістограма відхилень від заданої висоти польоту побудована за статистичними даними

Дослідження ймовірності втрати ПК

Проведемо дослідження ймовірності втрати ПК, розрахованої за методикою моделювання рідкісних подій при оптимальному об'ємі вибірки для України. Метод і процедура моделювання рідкісних подій порушення цілісності аеронавігації на основі модифікованого методу дерева ризику та визначення оптимального об'єму вибірки описані в [2, 3]. Приймається, що завершальна подія цього дерева означає втрату ПК внаслідок відмови системи наведення, що не знаходиться на борту ПК. Причини цієї події пов'язані або з порушенням цілісності основного устаткування наведення, що не знаходиться на борту ПК, або з порушенням неперервності обслуговування системи наведення, що не знаходиться на борту ПК. Моделювання порушення цілісності основного наведення проводимо за методом моделювання рідкісних подій [2] при оптимальній допоміжній вибірці [3].

Метод моделювання рідкісних подій порушення цілісності аеронавігації складається з:

- методики вибору об'єму оптимальної вибірки [3];
- методики моделювання рідкісних подій порушення цілісності [2];
- методики ідентифікації сузір'я навігаційних супутників для завад різноманітного походження [4, 5].

За допомогою методики моделювання рідкісних подій порушення цілісності обчислюється ймовірність порушення цілісності основного наведення.

За допомогою методики вибору об'єму оптимальної вибірки, яка входить до складу методики моделювання рідкісних подій порушення цілісності, обчислюється оптимальний об'єм вибірки, при якому можна обчислювати ймовірність з меншими витратами часу.

За допомогою методики ідентифікації сузір'я навігаційних супутників для завад різноманітного походження виявляються та ідентифікуються навігаційні супутники, що передають невірну інформацію.

Розглянемо програмний комплекс визначення цілісності аеронавігаційних засобів за методом моделювання рідкісних подій порушення цілісності аеронавігації, який складається з двох вікон: вікна «Моделювання імовірності катастрофи» та вікна «Дерево ризику».

Вікно «Моделювання імовірності катастрофи» представлено на рис. 2.

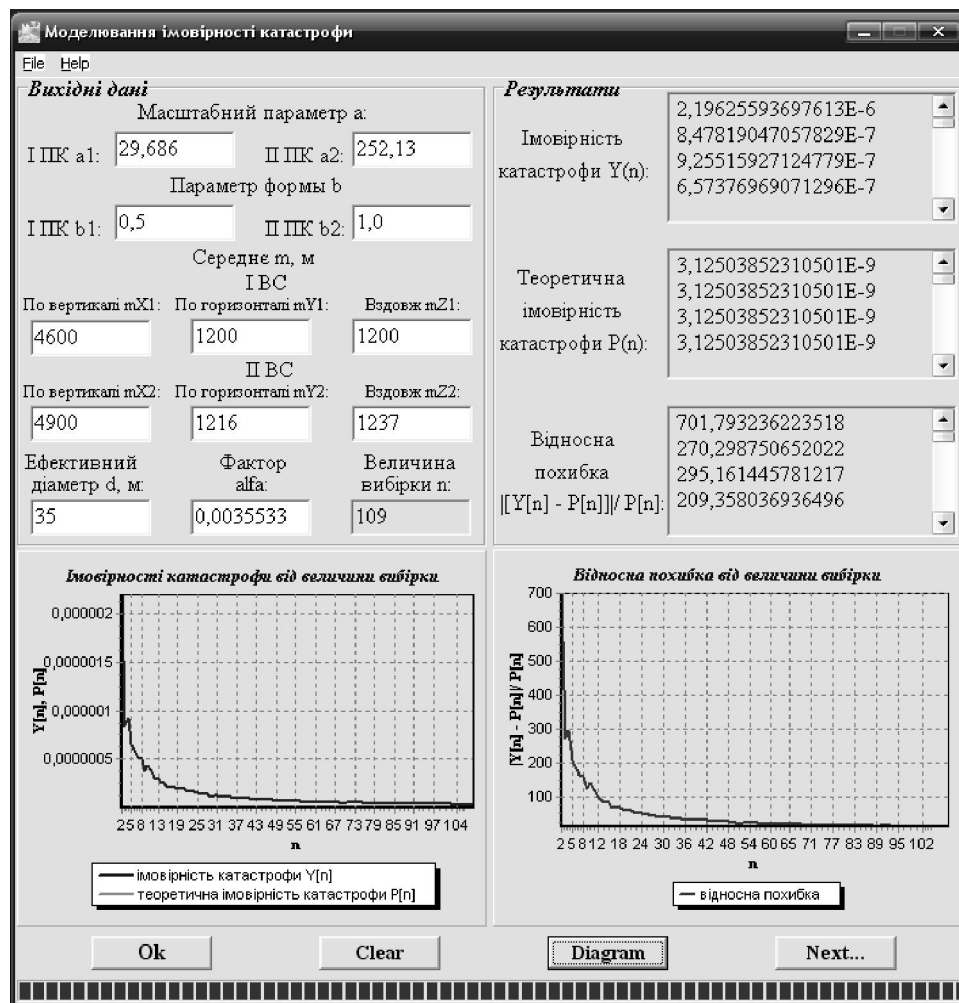


Рис. 2. Вікно «Моделювання імовірності катастрофи».

Ця частина програми виконує розрахунок імовірності порушення цілісності основного наведення за методикою моделювання рідкісних подій порушення цілісності з використанням методу істотної вибірки.

Результатом виконання цієї частини програми є теоретична імовірність катастрофічної ситуації, ряд експериментальних ймовірностей катастрофічної ситуації для ряду об'ємів вибірок і ряд відповідних відносних похибок (кнопка «Ok»). Також показані графіки залежностей ймовірностей і похибок від величини вибірки (кнопка «Diagram»).

Кнопка «Clear» – очистка результатів роботи програми.

Кнопка «Next...» – перехід до іншої частини програми.

Вікно «Дерево ризику» представлено на рис. 3.

Ця частина програми виконує розрахунок імовірності завершальної події за методом дерева ризику (кнопка «Ok»).

Вихідними даними є імовірності PU, Ps1, Ps2 (розраховується за методикою ідентифікації сузір'я навігаційних супутників), Pk, Pp1, Pp2, Pi1, Pi2, (береться з першої частини програми).

Результатом виконання цієї частини програми, а також всього комплексу є імовірність завершальної події Pa – імовірність втрати повітряного корабля.

Дерево ризику

File Help

Імовірність втрати ПК внаслідок відмови системи наведення, що не знаходиться на борту ПК
Pa: 7,37595797772883E-8

Імовірність втрати ПК внаслідок порушення цілісності основного наведення неперервності обслуговування
Pb: 7,37594518795959E-8 Pc: 1,25000013053052E-13

Імовірність того, що пілот нездатний знайти порушення цілісності основного наведення й успішно втрутитися в керування після такої події. Даний фактор зменшення ризику відноситься тільки до тих випадків, коли порушення цілісності системи наведення може виявлятися пілотом, наприклад на висоті прийняття рішення при заході на посадку по ILS в умовах категорії I
Pk: 1

Імовірність порушення неперервності основного наведення азимутального елемента кутомісного елемента
Pr: 3,99999998990097E-6 Pr1: 2,0000E-06 Pr2: 2,0000E-06

Імовірність порушення цілісності основного наведення азимутального елемента кутомісного елемента
Pi: 7,37594518795959E-8 Pi1: 3,68797273439189E-8 Pi2: 3,68797273439189E-8

Імовірність втрати ПК при виконанні перерваного заходу на посадку/відходу на друге коло
Pd: 3,1250003473815E-8

Імовірність втрати ПК при виконанні перерваного заходу на посадку/відходу на друге коло з забезпеченням допоміжного наведення
Ps: 0,000125000005937181

Імовірність втрати ПК при виконанні перерваного заходу на посадку/відходу на друге коло
Імовірність порушення неперервності допоміжного наведення цілісності допоміжного наведення
Ps1: 7,5E-05 Ps2: 5,0E-05

Імовірність того, що пілот нездатний успішно втрутитися в керування після порушення неперервності основного наведення при відсутності вторинного наведення
Pu: 2,50E-04

Previous... Ok

Рис. 3. Вікно «Дерево ризику»

Висновки

Під час дослідження ймовірності втрати ПК, розрахованої за методикою моделювання рідкісних подій при оптимальному об'ємі вибірки для України з урахуванням нових правил ешелонування під час обслуговування повітряного руху було отримане значення $P_a = 7.376 \times 10^{-8}$, яке є допустимим згідно норм ІКАО. Тому даний програмний комплекс можна використовувати при оцінці ризику втрати заданого ешелону польоту.

Список літературних джерел

1. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.09.2010 № 714 "Про затвердження Правил ешелонування під час обслуговування повітряного руху", зареєстрований в Мін'юсті України 05.11.2010 за № 1045/18340.
2. Харченко В.П., Знаковська Є.А. Моделювання порушення цілісності на основі методів дерева ризику і моделювання рідкісних подій // Вісник НАУ. – К.: НАУ, 2005. – №1. – С. 23–26.
3. Харченко В.П., Нагаев С.В., Кукуш А.Г., Знаковская Е.А., Доценко С.И. Определение объема выборки в методе моделирования редких событий. Кибернетика и системный анализ. №1, 2006. – С. 76–86.
4. Харченко В.П., Кукуш А.Г., Бабак Є.А. Перевірка гіпотези нормального функціонування супутникової радіонавігаційної системи // Матеріали IV МНТК. – К.: НАУ, 2002. – Секція 21. – Т. 2. – С. 21.159–21.162.
5. Харченко В.П., Кукуш А.Г., Бабак Є.А. Гіпотеза якості функціонування супутникової радіонавігаційної системи при різноточному спостереженні та негаусових похибках // Вісник НАУ. К.: НАУ, 2002. – №2. – С. 85 – 90.