

Список літератури

1. Харченко В.П., Косенко Г.Г. Многоальтернативный последовательный метод в задачах ситуационного анализа воздушной обстановки // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов: Сб. науч. тр. – К.: КМУГА, 1996. – С. 3–10.

2. Кубические одномерные сплайны в статистике. Методические рекомендации для студентов механико-математического факультета / Сост. А.Г. Кукуш. – К.: КГУ, 1991. – 60 с.

Стаття надійшла до редакції 11.11.02.

УДК 621.396.96

ББК 0580.276.639.0

Л.М. Нестерова, мол. наук. співроб.

ОЦІНКА РИЗИКУ ЗІТКНЕННЯ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ У ЗОНІ АЕРОДРОМУ

Розглянуто критерії безпеки польотів у зоні аеродрому. Проаналізовано три моделі оцінки зіткнення повітряних кораблів в аеродромній зоні.

Для перевірки правильності прийнятих алгоритмів виявлення і попередження конфліктних ситуацій, їх оптимізації й оцінки ефективності роботи систем при вирішенні основної задачі – попередження зіткнень повітряних кораблів (ПК) – широко використовують математичне моделювання. З його допомогою можливе вирішення також інших задач, зокрема, оцінити роботу систем у режимі інтенсивного повітряного руху, підвищити безпеку руху при використанні систем попередження зіткнень ПК у визначених районах тощо. При виконанні таких робіт звичайно будують дві математичні моделі: модель повітряного стану та модель роботи апаратури. Найбільший інтерес викликають моделі повітряного стану в аеродромно-вузлових та аеродромних зонах.

За критерій безпеки польотів в аеродромній зоні приймається ймовірність зіткнення ПК у межах зони. Можна припустити, що фактична поява в зоні аеродромного вузла випадків зіткнення і небезпечного зближення літаків, за рухом яких контроль не здійснюється, залежить від кількості виконуваних літаками операцій, відносного розташування і використання аеропортів і злітно-посадкових смуг кожного аеродрому, обмежень, що накладаються на використання повітряного простору в зоні аеродромного вузла, рельєфу місцевості і маршрутів прибуття і відправлення літаків, умов видимості й ефективності служби керування повітряним рухом (КПР) за попередженням потенційно небезпечних польотів. Небезпека зіткнення літаків для аеродромних вузлів вимірюється кількістю випадків небезпечного зближення в зоні цих вузлів і значною мірою залежить від відносного обсягу виконуваних операцій і співвідношення кількості польотів літаків, за рухом яких здійснюється контроль і рух яких не контролюється, що використовують той самий аеропорт.

Дійсний аналіз має на меті відслідкувати залежність між щільністю повітряного руху в зоні аеродрому й ймовірністю ризику зіткнення ПК у цій же зоні. Висновок такого співвідношення має дуже важливе значення, оскільки дозволяє прогнозувати очікувану ймовірність небезпечного зближення літаків у повітрі залежно від щільності повітряного руху. Після визначення цього співвідношення можна прогнозувати очікуване число зіткнень літаків у повітрі. Це дозволить установити, які негайні заходи необхідно почати для збільшення безпеки повітряного руху.

В основу аналізованих моделей покладено припущення про випадковий рух літаків у зоні аеродромного вузла. Ця умова вимагає, щоб у розглянутому обсязі відносно положення пари літаків, для яких можливо небезпечне зближення чи зіткнення, було випадковим. Крім того, відносний курс цих двох літаків повинний мати рівномірний розподіл в інтервалі від 0 до 360°, а це буде спостерігатися в тому випадку, коли курсовий кут одного чи обох літаків також має рівномірний розподіл. Передбачається, що польоти виконувани за правилами візуальних польотів [1; 2], носять характер «випадкового руху».

Перша модель. Модель Грехема виражає математичне співвідношення між щільністю повітряного руху та ймовірністю ризику зіткнень літаків у повітрі [3]. Така математична модель

використовує рівняння, що містять декілька змінних, пов'язаних з фізикою виконуваних операцій, і такі параметри: дистанцію небезпечного зближення літаків D ; середню відносну швидкість літаків V_r ; середню швидкість літаків першої групи V_0 ; середню швидкість літаків другої групи V_i ; площу аеродромного вузла A_0 ; кількість літаків N .

Розглянемо два ПК: літак зі швидкістю V_0 та літак, що порушує правила польоту, зі швидкістю V_i . Отже, відносна швидкість V_r дорівнює векторній сумі швидкостей V_0 і V_i . Тепер будемо вважати, що літак-порушник знаходиться у фіксованій точці, тоді перший літак буде мати швидкість V_r . За час t перший літак пролетить відстань $V_r t$ і в межах дистанції D перекриє площу $2DV_r t$. Якщо точка, що характеризує положення літака-порушника, з рівною ймовірністю може займати будь-яке положення в зоні A , то ймовірність того, що два ПК наблизяться один до одного на відстань D у момент t , дорівнює $2D$. Ясно, що літак повинен залишатися в зоні A в момент t чи $V_r t \ll A^{1/2}$. Оскільки кут β між вектором швидкості V_i і вектором V_0 змінюється, то необхідно обчислити середню відносну швидкості V_r . Визначимо середню відносну швидкість, коли літак знаходиться на випадковому відносному курсі β :

$$V_r = 1/2\pi \int (V_0^2 + V_i^2 - 2V_0V_i \cos \beta)^{1/2} d\beta.$$

Ймовірність P_2 виражає ймовірність зустрічі двох літаків і розраховується за формулою:

$$P_2 = 2DV_r t / A = 2D\bar{V}_r t / A.$$

(1)

На рис. 1 показано залежність ймовірності зіткнень ПК (1) від відповідних величин згідно з описаною моделлю.

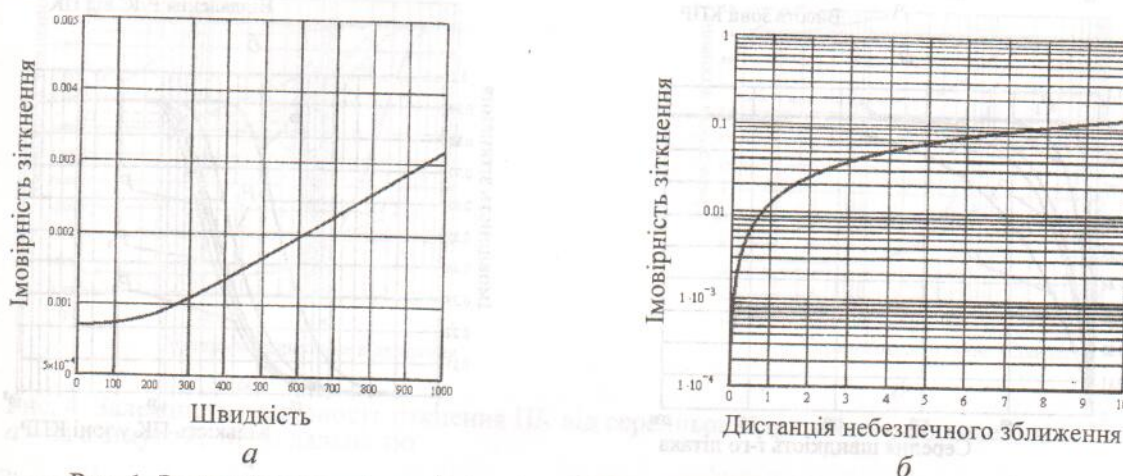


Рис. 1. Залежність ймовірності зіткнення ПК від швидкості польотів (а), дистанції небезпечного зближення (б) для першої моделі

Друга модель. За критерій безпеки польотів в аеродромній зоні даної моделі приймається ймовірність зіткнення ПК у границях цієї зони.

Аналогічно, як і в попередній моделі, зона аеродрому має вигляд циліндра визначеного радіуса і висоти, і рух літаків розглядається тільки в межах цієї зони.

Ймовірність зіткнення ПК у границях зони оцінимо за формулою:

$$Q_3 = 1 - \exp\left[-S(N-1)^2 r_{кр} / R^2 H\right],$$

де S – шлях, що пролітає ПК у границях аеродромної зони; N – кількість ПК у межах аеродромної зони; $r_{кр}$ – радіус критичної зони навколо ПК, вхід в який іншого літака означає їхнє зіткнення; R – середній радіус зони; H – висота зони (рис. 2).

Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці.



Рис. 2. Залежність імовірності зіткнення ПК від радіуса зони КПР (а), висоти зони КПР (б) для другої моделі

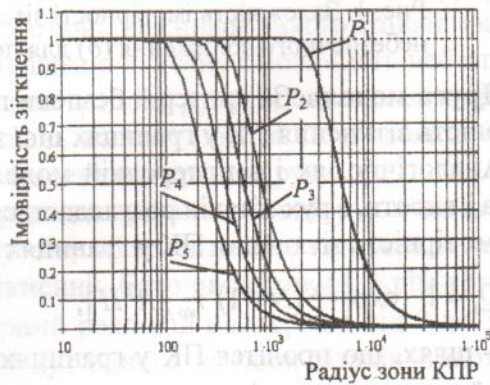
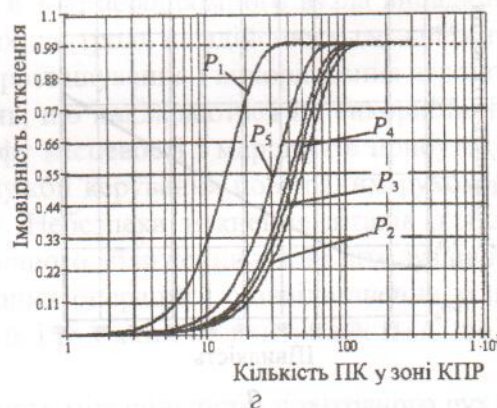
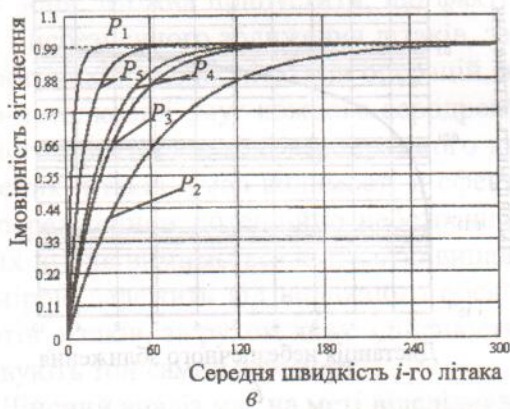
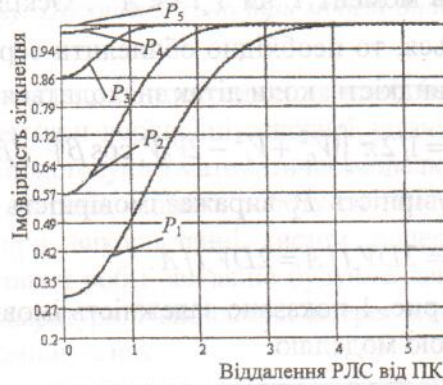
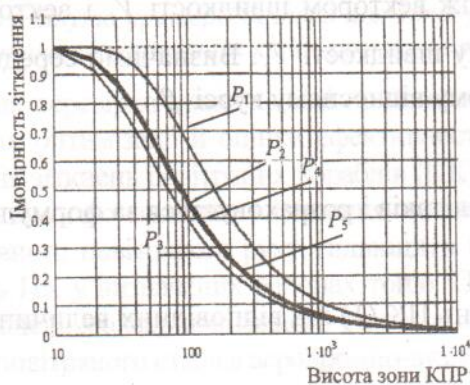


Рис. 3. Залежність імовірності зіткнення ПК від висоти зони (а), віддалення радіолокаційної станції від ПК (б), середньої швидкості ПК (в), кількості ПК (г), часу знаходження ПК у зоні КПР (д), радіуса зони КПР (е) для третьої моделі

Параметри для оцінки моделі аеродромної зони

Тип радіолокаційної станції	Кількість ПК			Середня швидкість ПК, W км/год	Час знаходження ПК у зоні t_i , год	Середній радіус зони R , км	Висота зони H , км	Віддалення радіолокаційної станції від ПК r , км
	$G_1(v_1)$	$G_2(v_2)$	$G_3(v_3)$					
ОРЛ-Т	>120	40÷120	<40	500	1,2	400	12	5
ОРЛ-ТА	>110	40÷110	<40	450	0,8	250	8	3
ОРЛ-А:								
В1	>90	30÷90	<30	300	0,6	150	5	2
В2	>80	20÷80	<20	300	0,4	90	5	1,5
В3	>60	20÷60	<20	250	0,2	46	3	1

Третя модель. Аеродромна зона являє собою циліндр із визначеним радіусом і висотою, як і в попередніх двох моделях.

Імовірність зіткнення обчислюється за формулою:

$$Q_3 = 1 - \exp\left[-\sum_{i=1}^N W_i t_i (N-1)^2 [G_R^2 + (G_a r / 57,3)^2] / NR^2 H\right],$$

де t_i – час знаходження i -го ПК у зоні; G_R – середньоквадратичне відхилення за дальністю ПК; G_a – середньоквадратичне відхилення за азимутом ПК.

На рис. 3, 4 наведено залежності ймовірності зіткнень ПК від різних параметрів (аналогічно графікам попередніх моделей).

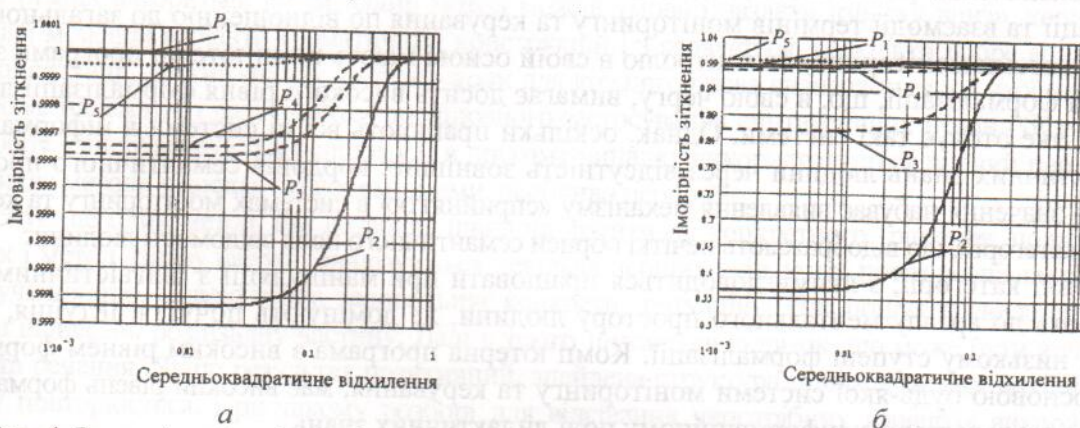


Рис. 4. Залежність імовірності зіткнення ПК від середньоквадратичного відхилення: а – за азимутом; б – за дальністю

Складність математичної моделі повітряного стану визначається необхідною точністю імітації, тобто залежать від рівня задач, які буде вирішувати дана модель.

Отже, можливо оцінити ризик зіткнення ПК в аеродромній зоні з метою визначення безпечного зближення ПК та наближення рівня безпеки до TLS.

Список літератури

1. Правила аэронавигационного обслуживания. Производство полетов ВС, DOC 8168-OPS/611. Т. II. Построение схем визуальных полетов и полетов по приборам. – 4-е изд. 1993.
2. Правила аэронавигационного обслуживания. Правила полетов и обслуживание воздушного движения. DOC 4444-RAC/501/12. – 12 изд. 1985.
3. Грэхем В., Орт Р. Воздушное движение и опасность столкновения самолетов в районе аэродромного узла // Т4 ЧЕР. – 1970. – Т. 58. № 3. – С. 47–56.

Стаття надійшла до редакції 29.10.02.