

УДК 656.7.052:656.7.08(045)

Д.О. Корчунов, мол. наук. співроб.,
В.П. Харченко, д-р техн. наук, проф.

БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНА МОДЕЛЬ СИТУАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ

Розглянуто основні переваги багатоальтернативної моделі ситуаційного аналізу повітряної обстановки над використовуваною моделлю оцінки ризику зіткнення, приклад впливу середньоквадратичної похибки за азимутом на ймовірність виникнення ситуації.

Для підвищення рівня безпеки польотів в умовах упровадження скороченого вертикального ешелонування (RVSM) і «малих» потрібних навігаційних характеристик RNP зональної навігації (RNAV) виникає необхідність ввічливо виявляти конфліктні ситуації повітряної обстановки. При такому «ситуаційному» підході існує проблема пошуку кращої моделі, на основі якої буде відбуватися оцінка ризику зіткнення, і проблема вибору розв'язувального правила.

У міжнародній практиці для оцінки ризику зіткнень за стандартну модель вибирають двоальтернативну модель Рейха (ДМР), яка визначає дві ситуації повітряної обстановки: нормальну ситуацію (НС) і катастрофічну ситуацію (КС) [1; 2]. Двоальтернативна модель Рейха визначає також часові (імовірнісні) параметри перебування літального апарата (ЛА) у межах (поза) свого повітряного коридору: не менше 95 % польотного часу (з імовірністю 0,95) ЛА повинен знаходитися в межах траси (НС), а в інший час ($\leq 5\%$ чи, якщо через імовірність, $\leq 0,05$) допускається перебування ЛА поза своїм повітряним коридором (передумова до КС). Такий підхід має суттєві обмеження, тому що відбувається лише констатація факту наявності однієї з двох ситуацій.

У зв'язку з цим необхідна розробка нових підходів до побудови моделей оцінки ризику зіткнень, яка б дозволила не тільки констатувати наявність тієї чи іншої ситуації (діюча модель ІСАО), але і керувати середнім ризиком катастрофи з наступною його мінімізацією, особливо в умовах польотів згідно з RNAV та RVSM.

Введення більше степенів вільності (тобто більшу кількість ситуацій) дозволить прогнозувати та мінімізувати ризик катастрофи і підвищити точність його оцінки. Іншими словами, необхідно побудувати «буферну зону», яка складається з n -ї кількості ситуацій, між НС і КС, наприклад, ускладнені умови польоту (УУП), складна ситуація (СС) і аварійна ситуація (АС) [3; 4]. Це дозволить ввести елемент керування, що буде діяти як результат спостереження за виникненням тієї чи іншої ситуації залежно від її ваги. Вектор такого керування буде спрямований у бік зони НС.

Реалізувати дану схему оцінки і керування ризиком катастрофи дозволяє багатоальтернативна модель (БМ) з модифікованим послідовним розв'язувальним правилом [4; 5].

Нехай є N класів ситуацій S_1, \dots, S_N , $N \geq 3$. Якщо випадкова величина ξ належить ситуації S_k ($\xi \in S_k$), то вона має щільність $\rho_k(\xi)$, $k = \overline{1, N}$. Припускаємо також, що задані апіорні ймовірності виникнення класів ситуацій p_1, \dots, p_N , $\sum_{k=1}^N p_k = 1$.

Тоді для ν незалежних спостережень випадкової величини ξ із щільністю $\rho_k(\xi)$ вибірки ξ_1, \dots, ξ_ν сукупний вектор $\bar{\xi} = \{\xi_1, \dots, \xi_\nu\}$ має щільність розподілу

$$\rho_k^{(\nu)}(\bar{\xi}) = \rho_k(\xi_1) \rho_k(\xi_2) \dots \rho_k(\xi_\nu).$$

Зформуємо апостеріорну ймовірність:

$$q_k^{(v)}(\xi) = \frac{p_k \rho_k^{(v)}(\xi)}{\sum_{j=1}^N p_j \rho_j^{(v)}(\xi)}, \quad k = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Якщо задані додатні пороги b_1, \dots, b_N , то після v незалежних спостережень випадкової величини ξ приймається рішення щодо приналежності її ситуації S_k , $k = \overline{1, N}$ за умови

$$q_k^{(v)}(\xi) \geq b_k, \quad k = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Суть багатоальтернативного послідовного ситуаційного аналізу полягає в тому, що спостереження для побудови рівняння (1) виконуються до такого моменту v , поки не виконається нерівність (2).

При виборі розв'язувального правила виникає задача визначення вигідного співвідношення «тривалість розв'язувальної процедури/вірогідність рішення». Висока вірогідність рішення спричиняє збільшення тривалості розв'язувальної процедури, але у сучасних умовах розвитку транспортної системи такий підхід неприпустимий з погляду на особливу відповідальність системи. Потрібно отримати високу вірогідність при мінімальних тимчасових витратах розв'язувальної процедури.

Вилучимо основні чинники, за яких перевага віддається саме багатоальтернативному послідовному розв'язувальному правилу при розпізнаванні ситуацій під час руху ЛА.

1. Під час прийняття рішення про влучення ЛА в певну небезпечну ситуацію за одиночним спостереженням або за групою спостережень фіксованого обсягу можуть бути допущені помилки класифікації ситуацій. Особливо це стосується знаходження ЛА на межі двох небезпечних зон. У цьому випадку незрозуміло, до якої із зон віднести ЛА, і відповідні обчислювальні процедури з фіксованою тривалістю спостережень стають нестійкими. Фактично в цьому випадку необхідним є введення області відмови для розв'язувального правила: відмова від ухвалення рішення [5]. При послідовному аналізі спостереження продовжуються стільки, скільки потрібно для класифікації ситуації із заданою середньою ймовірністю похибки. Це означає, що під час перебування літака поблизу межі між двома небезпечними зонами потрібні додаткові спостереження для впевненої класифікації небезпечної ситуації, що є притаманним процедурі послідовного аналізу.

2. Формалізація наведених міркувань означає, що послідовне порогове багатоальтернативне розв'язувальне правило призводить до меншого ризику, ніж будь-яке інше правило з фіксованою тривалістю.

3. Багатоальтернативне послідовне розв'язувальне правило дозволяє досягти кращого співвідношення «тривалість розв'язувальної процедури/вірогідність рішення», ніж при використанні розв'язувальних процедур з фіксованою тривалістю.

Приклад. Розглянемо, як впливає середньоквадратична похибка за азимутом на ймовірності виникнення ситуацій повітряної обстановки для обох моделей (ДМР і БМ). За вихідні дані візьмемо варіанти: ДМР з елементами керування, БМ без елементів керування і БМ з елементами керування. У структурі повітряного простору виділимо дві повітряні траси без їхнього перетину (рис. 1). Політ виконується в умовах RNAV (RNP5 згідно з регіональними правилами [6]).

Результати імітаційного моделювання відповідно до цих умов (рис. 2–4) дають можливість зробити такі висновки.

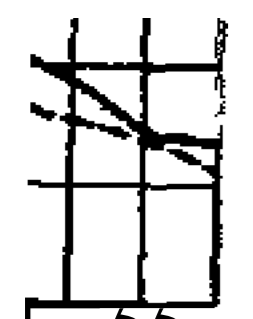
При зростанні величини похибки БМ підтримує ймовірність виникнення НС на постійно високому рівні (див. рис. 2). Із цього випливає інваріантність БМ до похибок інформаційно-вимірювальних систем. При відсутності керування ймовірність НС знаходиться на дуже низькому рівні порівняно з умовами, коли є керування (див. рис. 2).

1. ... 120-AN/89/2. - : ICAO, 1976.
2. ... : ICAO, 1998.
3. ... //
4. ... , 1996. - . 3 - 10.
5. ... // ... - 2000. 3-4. - , 255 - 260.
6. DOC 7030. - : ICAO, 1986.

08.02.02.

629.735.33

()



» (55)

5.5 ()

)

)