

УДК 656.71.06:629.7.08(075.8)

ІДК 0513-082.65-56. +0585.025416641.6  
 415

І.К. Жаров, О.О. Семенов, В.Г. Мелкумян

## АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СЛУЖБИ АвіАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

*Розроблена аналітична модель впливу характеристик технічних засобів служби авіаційної безпеки на регулярність вильотів літаків цивільної авіації.*

Служба авіаційної безпеки (САБ) є безперечно найважливішою ланкою в забезпеченні повітряного руху цивільної авіації. Застосування сучасних установок та систем виявлення вибухівки та зброї може істотно підвищити безпеку аеропортів.

Ідеалізований потік повітряних кораблів (ПК) за розкладом можна змоделювати як пуассонівський процес.

Розподіл Пуассона застосовують для знаходження ймовірності появи випадкових подій, що створюють найпростіший або нестационарний (за умови ординарності та відсутності післядії) потоки. Щодо задач моделювання повітряного руху, його застосування дозволяє визначити ймовірність  $p_k(t)$  появи рівно  $k$  подій на інтервалі часу  $t$  простішого потоку подій

$$p_k = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

де  $\lambda$  – мірило розподілу;  $(\lambda t)$  – математичне сподівання числа  $k$  подій за час  $t$ .

За невеликої щільності повітряного руху ПК цивільної авіації й за відсутності збоїв технічних засобів усіх складових ланок системи, що забезпечує стабільний рух, будь-яка невелика перерва за рахунок відмови тієї чи іншої радіотехнічної системи компенсується подальшим розвитком процесу з невеликим збільшенням як математичного сподівання  $1/\lambda$ , так і розкиду – дисперсії.

При збільшенні щільності повітряного руху будь-який збій вже не так безболісно усувається в подальшому за рахунок наявності інтервалів запасу часу – часового резервування. Доводиться примусово збільшувати на деякий час параметри щільності повітряного руху. При певній насиченості повітряного простору або аеродромної зони будь-який нетривалий збій вносить суттєву нестационарність і на тривалий час.

За умови включення технічних засобів перевірки пасажирів та багажу САБ до комплексу радіотехнічного забезпечення обслуговування повітряного руху цивільної авіації їхні характеристики дають суттєвий вплив на дотримання регулярності та ефективності польотів ПК. Невитримання заданих розмірів цих характеристик протягом обслуговування повітряного руху може істотно порушити його регулярність та інтенсивність. Авіалінії мають скоротити на 30 % чисельність своїх вильотів при 100 %-ній перевірці багажу пасажирів, як того вимагають документи ІКАО, якщо не застосовують певні засоби догляду.

На цей час кожний пункт догляду авіапасажирів та їхнього багажу має укомплектуватися такими засобами [1]:

– рентгенотелевізійними інспекційними системами з багатьма енергетичними рівнями випромінювання (як мінімум двох рівнів – жорсткого та м'якого випромінювання Х-променів) для належного виявлення вибухівки, зброї, наркотиків, валюти тощо;

– металодетекторами на основі вихороструменевої технології, бажано багатозонними – 8...64 зони, з достатньою чутливістю та інерційністю виявлення металевих предметів у пасажира з індикацією місця знаходження цих об'єктів на тілі пасажира або у багажі, бажано із класифікацією типу металу;

– портативними металошукачами, якими оператор перевіряє пасажирів та їхній багаж у разі відмови стаціонарних металодетекторів або при помилковому його спрацьовуванні;  
 – газоаналітичними приладами, які підтверджують виявлення вибухівки рентгенівськими системами;

– радіаційними виявлячами, які з великою достовірністю виявляють радіонукліди в контейнерах, ампулах, іншій тарі або при забрудненні пасажира чи його багажу або одягу.

Кожна апаратура має свою продуктивність, яка визначається його чутливістю, роздільною здатністю тощо. Зазвичай продуктивність пов'язана з чутливістю зворотно пропорційно: чим вище задана чутливість того чи іншого приладу, тим більше часу необхідно витратити на інспекційне спостереження й обстеження авіапасажира.

Чутливість апаратури налаштовується дистанційно з пульту керування. Її рівень виставляється згідно з рекомендаціями повноважних органів і, в першу чергу, залежить від ситуації в регіоні, де знаходиться аеропорт. Найбільша чутливість цих технічних засобів САБ налаштовується лише за спеціальним наказом. Зазвичай застосування приладів САБ з найвищими показниками чутливості та здатності виявлення певної групи об'єктів не передбачається стаціонарним розкладом руху аеропорту. У цьому стані збільшується час обробки багажу та реєстрації авіапасажирів.

Якщо металодетектор у нормальному режимі контролює наявність у пасажирів металевих предметів розмірами  $100 \times 20 \times 3$  мм, то визначення їх здійснюється з ймовірністю правильного виявлення 0,99 та помилкової тривоги 0,01. Зменшення габаритів об'єктів контролю призводить до збільшення помилкових спрацьовувань (0,1...0,3), які не є помилковими спрацьовуваннями радіоелектронної системи (вона так налаштована), а є реагуванням на менші металеві предмети, дозвіл на пронесення яких вже дає людина-оператор. Неодноразове перепускання пасажира крізь металодетектор збільшує час обстеження у кілька разів.

Чинним регламентом обслуговування пасажирських потоків диспетчерською службою перевезень визначені строки обробки всіх пасажирів конкретних рейсів розкладу, виконуваних певними типами ПК. Для середньомагістральних ПК початок реєстрації та контролю передбачений за півтори години до зазначеного у розкладі часу вильоту ПК.

Зважаючи на продуктивність технічних засобів, зазначеного терміну обробки пасажирів авіарейсу тощо, обирається чисельність пунктів догляду САБ аби стаціонарність повітряного руху ні в якому разі не порушувалася.

Якщо математичні сподівання часів обробки одного пасажира та паралельної обробки вантажу визначається параметром розподілу Пуассона та дорівнює  $1/\lambda_1$ , то загальний час обробки всього рейсу матиме своє математичне сподівання й, саме найголовніше, свій розкид, який визначається дисперсією суми випадкових інтервалів, початково розподілених за експоненціальним законом

$$m(T) = Nm_1 = \frac{N}{\lambda_1}; \quad \psi_T = \int w_N(T)(T - m_1)^2 dT,$$

де  $m(T)$  – математичне сподівання часу обробки всього контингенту пасажирів  $N$ ;  $m_1$  – математичне сподівання часу обробки одного пасажира та паралельної обробки вантажу;  $\lambda_1$  – параметр розподілу ймовірності обробки одного пасажира;  $\psi_T$  – розкид підсумкової статистики;  $T$  – час обробки.

Підсумковий час обробки  $N$  пасажирів має не виходити за межі визначеного розміру – того часу, що встановлений для реєстрації та обробки пасажирів певного рейсу.

Конкретизація розрахунків пов'язана з введенням понять точкових та інтервальних оцінок випадкових величин [2].

Кількісні показники ефективності та надійності можна отримати лише після досліду (експерименту). Джерелами інформації для обчислення показників якості радіотехнічного забезпечення є: статистичні дані, які одержали в процесі експлуатації зразків радіотехнічного

забезпечення, і статистичні дані, які одержали як наслідок спеціальних випробувань радіотехнічного забезпечення або елементів.

У роботі [2] наведені значення коефіцієнтів точності для інтервальної оцінки математичного сподівання випадкових величин з відомим породжуючим розподілом для експоненціального розподілу. Відомі таблиці коефіцієнтів точності для експоненціального породжуючого розподілу необхідні для обчислення середніх значень. За цими коефіцієнтами можна обчислити не тільки довірчий інтервал, тобто те значення меж, у яких з певною ймовірністю знаходиться невідоме нам математичне сподівання породжуючої сукупності випадкових величин, а й ту ймовірність, з якою підсумкова статистика вийде чи не вийде за межі встановленого інтервалу. У нашому випадку – за межі часу, який виділений регламентом для обробки пасажирів рейсу.

Якщо обробка кожного пасажирів, наприклад, становить 1 хв, чи вийде за наших умов час обробки 80 авіапасажирів за встановлені півтори години, тобто за 90 хв?

Математичне сподівання обробки становить 80 хв. Для ймовірності 0,99 коефіцієнти точності дорівнюють для об'єму вибірки 80 відповідно 0,72 та 1,25. Тобто розрахункове математичне сподівання становить 60 хв, і наше обчислене раніше 80 не відповідає цій ймовірності.

Час не вийде за межі встановленого інтервалу, якщо нас задовольняє ймовірність 0,9. Для неї розрахункове значення математичного сподівання дорівнюватиме 80. Тобто середній час обробки одного пасажирів 1 хв для рейсу ПК з 80 пасажирів відповідає вимогам встановленого часу обробки рейсу з ймовірністю його дотримання 0,9. З цього випливає, що кожний десятий рейс матиме запізнення, а для більш жорстких умов треба зменшувати час обробки одного пасажирів.

Задача обрахування моделі обробки потоку авіапасажирів доглядовими постами САБ розв'язується у декілька етапів.

Середній час обробки металодетектором та рентгенотелевізійною інспекційною системою визначається через параметри експоненціального розподілу:

$$T = \frac{1}{\lambda_{\text{мд}}} + \frac{1}{\lambda_{\text{ртс}}}$$

Тоді параметр узагальненого розподілу дорівнюватиме

$$\Lambda = \frac{\lambda_{\text{мд}} \lambda_{\text{ртс}}}{\lambda_{\text{мд}} + \lambda_{\text{ртс}}}$$

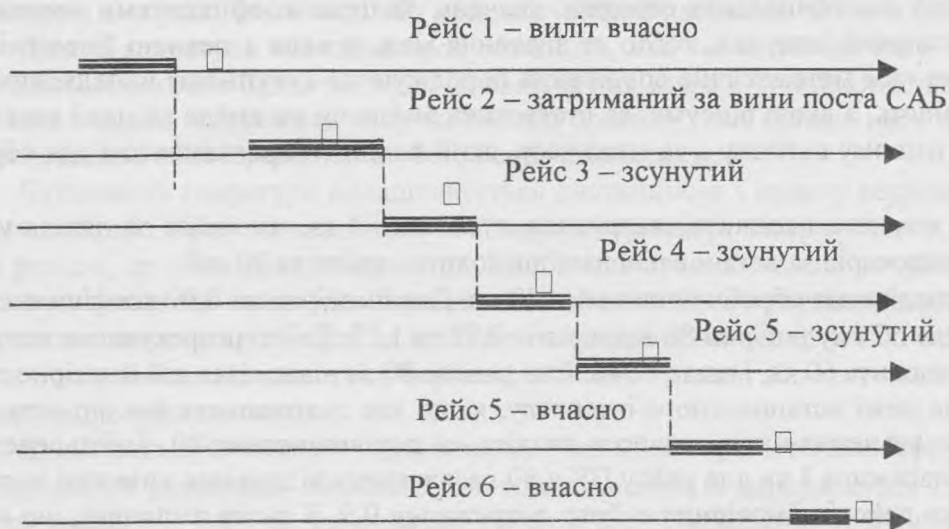
До уваги можна брати лише параметри металодетектора та інтроскопа, які вважаємо увімкнені послідовно у сенсі надійності. Тобто відмова одного приладу призводить до відмови доглядового поста. А це – втрати часу на перехід до нової стерильної зони, якщо така є, або збільшення часу обробки внаслідок контролю людиною–оператором кожного пасажирів та його багажу. Інші прилади, які вмикаються додатково при спрацьовуванні основної апаратури, лише змінюють вихідні параметри. Тобто на певних ділянках з'являється деяка нестационарність, яку за Е.А. Корнільєвим [3] можна рандомізувати, обчисливши середній параметр  $\lambda_{\text{мд}}^*$  чи  $\lambda_{\text{ртс}}^*$  інтегруванням його за всім інтервалом існування. Така рандомізація лише дещо збільшить їхні розміри. Це збільшення може бути визначено апостеріорно за результатами експерименту в аеропортах.

На другому етапі за чисельністю пасажирів та математичним сподіванням часу обробки одного пасажирів визначають середній час обробки всього рейсу і вводять довірчу ймовірність. Для точкових оцінок ця ймовірність дорівнює нулю, для всього інтервалу існування випадкової величини вона дорівнює одиниці. Чим більша вибірка, тим більшою можна вибрати довірчу ймовірність (див. рисунок).

На практиці довірча ймовірність має значення близьке до одиниці і затримка рейсів випадає лише тоді, коли збігаються всі негативні фактори: нестационарність потоку пасажирів (велика група авіапасажирів з'явилася перед кінцем реєстрації, що формально не порушує

правила, але затримка забезпечена), велика чутливість приладів (повноважні органи оголосили час Ч), відмова основної апаратури доглядового поста (резервної немає), затримки попередніх за чергою рейсів тощо.

На рисунку наведена схема руху за розкладом, коли інтервали дотримані і не дотримані.



Розклад руху та його збої:  
 □ – час вильоту за розкладом

Внаслідок затримки рейсу 2 наступні рейси 3 – 5 виявилися зсунуті, бо у розкладі непередбачений був інтервал, який би компенсував збільшення часу перевірки рейсу 2. Лише рейс 5 і наступні рейси вилетіли за розкладом. Рейс 6 виконується іншим типом ПК, тому інтервал перевірки на рисунку зменшений.

Ця ситуація гіпотетична, але за великої щільності вильотів ПК будь-яка затримка рейсів впливає на деяку кількість наступних рейсів. Чим більша була первинна затримка, тим більша кількість порушень розкладу. Чим більша щільність розкладу, тим більше буде порушень розкладу.

Повний процес моделювання керування повітряним рухом за багатьма факторами (радіотехнічне обслуговування, метеообставини тощо) можна доповнити випадковим впливом на затримку вильотів ПК внаслідок збоїв у роботі постів догляду САБ.

### Список літератури

1. Семенов А.А., Мелкумян В.Г. Технічні засоби служби авіаційної безпеки: Навч. посіб. – К.: НАУ, 2000. – 184 с.
2. Семенов А.А., Мелкумян В.Г. Основи теорії надійності: Навч. посіб. – К.: КМУЦА, 1998. – 84 с.
3. Корнильєв Э.А. Рандомизация случайных характеристик в радиолокации//Межвуз. сб. науч. тр. – Рига: РКИИГА, 1976. – Вып. – 2. – С. 3–8.

Стаття надійшла до редакції 28.04.01.