

УДК 629.735.067(045)

О.Є. Луппо, канд. пед. наук, доц.
О.М. Алексєєв, здобувач

НОВІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИЧИН АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ ТА ІНЦИДЕНТІВ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

Розглянуто класифікацію авіаційних подій та інцидентів, що дає змогу оцінити питому частку кожної структури в зниженні безпеки польоті. Виявлено головні причини та частоту повторюваності авіаційних подій та інцидентів. Оцінено ефективність раніше розроблених профілактичних заходів щодо попередження однотипних авіаційних подій та інцидентів у майбутньому.

Classification of accidents and incidents makes principle of hieratic collateral subordination, which determines separate classification of direct and main reasons that enables to estimate weight destiny of every structure in the decline of safety flight and expose most bottleneck in the aviation system. Exposure of main reasons and frequency of their repetition, for a concrete period, allows to define the role of each components in the decline of safety of flights and estimate efficiency of the before developed prophylactic measures from warning of the same type aviation events and incidents in a future.

Постановка проблеми

Установлення істинних причин авіаційних подій (АП) та інцидентів і розроблення на цій основі ефективних профілактичних заходів – кінцева мета будь-якого розслідування.

У Правилах розслідування авіаційних подій та інцидентів-2005 пропонується класифікація має чимало недоліків і тому її застосування непродуктивне, зважаючи на істотне спотворення причинно-наслідкових зв'язків розвитку особливої ситуації (ОС) і як наслідок зниження ефективності розслідування, внаслідок чого не розробляються ефективні профілактичні заходи.

Такий підхід до класифікації дозволяє виявити безпосередню, головну та супутню причини, що дає змогу виявити найвужчі місця в авіаційній системі.

Аналіз досліджень і публікацій

У використаних публікаціях висвітлюються проблеми, пов'язані з класифікацією АП та інцидентів, а також можливість упровадження профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки польотів (БП) в авіаційно-транспортній системі (АТС).

Постановка завдання

Установлення істинних причин АП та розроблення на цій основі ефективних заходів – кінцева мета кожного розслідування. Ураховуючи, що кожна АП багатofакторна, виникає питання, як диференціювати причини АП і що робити з причинами, які нагромаджуються у міру розвитку експлуатації повітряних суден (ПС).

Передусім потрібно упорядкувати безліч причин АП, тобто класифікувати.

Класифікація авіаційних подій та інцидентів

Кожному АП передують ланцюжок подій (порушень, відхилень у діяльності АТС). Тому діяльність щодо запобігання АП полягає у виявленні й усуненні причин до того, як замкнеться остання ланка в ланцюзі подій (рис. 1) [1].

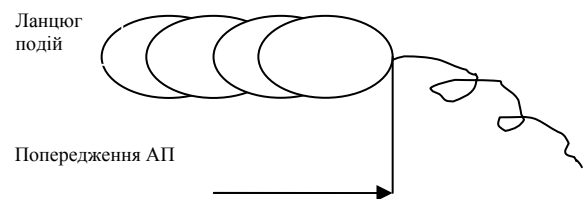


Рис. 1. Концепція ІКАО з попередження АП

Уведемо нову класифікацію визначень АП та інцидентів, а також інших випадків, пов'язаних з авіацією.

Авіаційна пригода – подія, пов'язана з використанням повітряного судна (ПС), яку підрозділяють на такі:

- авіаційні події (катастрофи, аварії);
- інциденти (серйозні інциденти);
- пошкодження ПС на землі;
- надзвичайні події.

Тепер розглянемо сукупність відомих функціональних станів, які призводять до ОС певної класифікації:

- ускладнення умов польоту (УУП) – ОС, що характеризується незначним збільшенням психофізіологічного навантаження на екіпаж та (або) незначним погіршенням льотних характеристик, стійкості і керованості;

– складна ситуація (СС) – ОС, за якої спостерігається помітне підвищення психофізіологічного навантаження на екіпаж, помітне погіршення льотних характеристик, стійкості й керованості;
 – аварійна ситуація (АС) – ОС, що характеризується значним підвищенням психофізіологічного навантаження на екіпаж, погіршенням льотних характеристик, стійкості й керованості, що приводить до досягнення або перевищення граничних обмежень чи умов;
 – катастрофічна ситуація (КС) – ОС, за якої запобігти руйнуванню ПС і загибелі людей майже неможливо.

Ускладнення умов польоту вимагає від екіпажу підвищеної уваги, але не перешкоджає безпечному завершенню польоту.

Запобігання переходу СС в аварійну або катастрофічну забезпечується своєчасними правильними діями екіпажу.

Запобігання переходу АС у катастрофічну вимагає високої професійної майстерності членів екіпажу.

Перехід з однієї ОС до іншої відбувається послідовно, проте можливі і прямі переходи, що зображено на рис. 2.

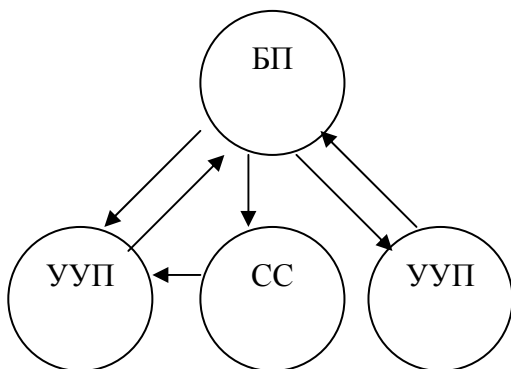


Рис. 2. Схема польотного стану

Проведення заходів щодо підвищення БП спрямовано на зменшення частоти переходів із стану БП у стани різних ОС.

Для опису переходів застосуємо марковські процеси з дискретним часом, що розширить можливість більш повно описати функціонування АТС спільно із системою забезпечення БП.

Інтервали часу між переходами та їх напрямку розглянемо як випадкові події.

Якщо відомий стан процесу $1j \in E$ в поточний момент часу, то майбутній стан залежить тільки від $1j$ і не залежить від стану $1i \in E$, якщо $tn(i < j < n)$ [2].

Оскільки кожний марковський потік повністю характеризується інтенсивністю, для опису систем з кінцевою кількістю станів N слід визначити інтенсивності переходів $a_{ij}(t)$ зі стану $1i$ у стан $1j$.

Інтенсивності переходів зручно записувати у вигляді квазістохастичної (інфінітивної) матриці [3; 4]:

$$A = \| \| a_{ij}(t) \| \| = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & \dots & a_{1N}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & \dots & a_{2N}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1}(t) & a_{N2}(t) & \dots & a_{NN}(t) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij}(t) = 0;$$

$$a_n(t) = -\sum_{j=1}^N a_{ij}(t).$$

Матриці (1) відповідає орієнтований розмічений граф станів, на якому крім напрямів переходів указано інтенсивності потоків подій.

А. Н. Колмогоровим [5] отримано систему диференціальних рівнянь щодо ймовірності перебування системи в будь-якому з можливих станів у певний момент часу:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^N a_{ij}(t)P_i(t) + \sum_{j=1}^N a_{ji}(t)P_j(t). \quad (2)$$

Система диференціальних рівнянь (2) – змінні коефіцієнти. Її розв'язання пов'язано зі значними труднощами. У процесі функціонування АТС її параметри змінюються поволі і пуассонівські потоки можна вважати стаціонарними, тобто покласти $a_{ij}(t) = a_{ij} = \text{const}$, а процес – однорідним.

Відповідно до цього припущення система (2) перетворюється на систему диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=1}^N a_{ij}P_i(t) + \sum_{j=1}^N a_{ji}P_j(t). \quad (3)$$

Її можна розв'язати використовуючи перетворення Лапласа:

$$P(S) = \int_0^{\infty} 1^{-st} P(t) dt = L\{P(t)\};$$

$$SP(S) - P(0) = \int_0^{\infty} 1^{-st} P'(t) dt = L\{P'(t)\},$$

яке дає змогу перейти до системи рівнянь алгебри:

$$SP_i(S) - P_i(0) = -\sum_{j=1}^N a_{ij}P_i(S) + \sum_{j=1}^N a_{ji}P_j(S). \quad (4)$$

З неї можна визначити $P_i(S)$ і, перейшовши до оригіналів, отримати залежність для визначення ймовірності $P_i(t)$. Аналітичне дослідження розв'язків системи (2) осяжно тільки для обмеженої кількості станів.

Для розвинутих систем аналіз показників марковських моделей зручніше виконувати в числовій формі.

У праці [6] наведено зручне правило складання систем диференціальних рівнянь з орієнтованим графом станів.

1. Похідна dP_i/dt ймовірності перебування системи в стані li дорівнює алгебричній сумі, кількість доданків якої дорівнює кількості ребер на графі станів, що сполучають стан li з іншими станами.

2. Якщо ребро направлено в стан li , то доданок в сумі береться зі знаком плюс; якщо ж із стану lj – то зі знаком мінус.

3. Кожний доданок дорівнює ймовірності того стану, з якого направлено ребро, на інтенсивність потоку подій, що переводить систему в цьому напрямі.

За цими правилами як приклад складено систему диференціальних рівнянь для графу, показаного на рис. 2:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(a_{12} + a_{13} + a_{14})P_1(t) + a_{21}P_2(t) + a_{31}P_3(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= a_{12}P_1(t) - a_{21}P_2(t) + a_{42}P_4(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= a_{13}P_1(t) - a_{31}P_3(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= a_{14}P_1(t) - a_{42}P_4(t). \end{aligned} \quad (5)$$

У системі диференціальних рівнянь (5) показниками якості системи забезпечення БП може служити ймовірності $P_1(t)$, ..., $P_i(t)$ знаходження системи екіпаж — ПС у всіх можливих станах $l(1)$, ..., $l(4)$.

Інтенсивності переходів aij виражаються через регульовані параметри системи забезпечення БП, які можна розглядати як активні дії.

Якщо кожний стан у графі є транзитивним, тобто має хоча б по одному вхідному і вихідному ребру, то після закінчення досить тривалого часу (теоретично при $t \rightarrow \infty$) ймовірності станів системи майже не залежать від того, в якому стані система перебуває в початковий момент $t = 0$ і не залежать від самого проміжку часу. Ця властивість ергодичності марковських процесів.

Виходячи з того, що

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP_i(t)}{dt} = 0,$$

а сама ймовірність $P_i(t)$ станів у стаціонарному режимі прагне набути своїх фінальних значень

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i,$$

система S вироджується в систему рівнянь алгебри

$$\sum_{j=1}^N a_{ij}P_i - \sum_{j=1}^N a_{ij}P_j = 0. \quad (6)$$

Використовуючи властивості марковських процесів, через інтенсивності переходів aij можна отримати числові характеристики марковських моделей [1], які зручно використовувати як показники якості системи забезпечення БП:

– ймовірність переходу $P_{ij}(t)$ зі стану li в lj за час t

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_j a_{ij}};$$

– функції розподілу часу перебування в i -му стані

$$F_i(t) = 1 - 1_i^{-at};$$

– середній час перебування в lj -му стані

$$\mu_1 = \int_0^{\infty} [1 - (1 - 1_i^{-at})] dt = \frac{1}{a_i}.$$

Функціонування системи забезпечення БП описується великою кількістю станів і переходів, ніж у цьому прикладі. У зв'язку з цим збільшуються кількість рівнянь у системах праць [3], [6] і обчислювальні труднощі. Для забезпечення аналізу якості систем забезпечення БП доцільно використовувати метод агрегування. Вся підмножина $E = \{li, 12, -, 1N\}$ можливих S станів розбивається на підмножину Ei , що подаються як окремі стани. Для встановлення системи причинно-наслідкових зв'язків, що призводять до авіаційних пригод виділимо в розвитку події:

- головну причину – створення потенційної можливості для виникнення авіаційних подій;
- безпосередню причину – створення реальних умов для перетворення потенційних можливостей в дійсність;
- супутню причину, що зумовлює появу безпосередньої причини.

Причини авіаційних подій перебувають не тільки в причинно-наслідкових зв'язках, але й мають ієрархічний характер, тобто причини низького рівня – безпосередні причини, причини високого рівня – головні, між ними можуть бути причини визначені як супутні. Отже, класифікувати причини авіаційних подій можна тільки з урахуванням їх належності до певного рівня і проводити в три етапи:

– перший етап – установлення безпосередньої причини авіаційних подій;

– другий етап – виявлення супутніх причин, які найбільше наближені до безпосередніх причин і зумовлюють їх;

– третій етап – виявлення головних причин авіаційних подій.

Перший найскладніший етап, потребує глибоких досліджень стану і характеристик елементів конструкції повітряних кораблів, медико-психологічної експертизи дій екіпажу, чинників зовнішнього середовища.

На другому етапі проводиться велика дослідницька і аналітична робота, спрямована на визначення причин помилкових дій, а так само і причин відмови та несприятливої дії зовнішніх чинників.

Третій етап спрямований на аналіз тих компонентів, у яких можуть приховуватись причини, наслідком яких стало виникнення безпосередньої причини.

Важливо відзначити, що безпосередня причина завжди одна, а проміжних і головних зазвичай декілька.

Висновки

Розслідування авіаційних подій має завершуватись встановленням головної причини, яка визначає основні напрями профілактичних заходів. Основу класифікації авіаційних подій становить принцип ієрархічної упорядкованості, яка визначає роздільну класифікацію безпосередніх та головних причин.

Визначення головних причин та виявлення частоти їх повторюваності за конкретний період дозволить визначити роль кожного фактора в зниженні безпеки польотів та ефективність раніше розроблених профілактичних заходів щодо запобігання однотипним авіаційним подіям у майбутньому.

Літератури

1. *Емелин Н.М.* Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.
2. *Тараканов И.В., Овчаров Л.А., Тарышкин А.И.* Аналитические методы исследования систем. – М.: Сов. радио, 1974. – 240 с.
3. *Сарымсаков Т.А.* Основы теории процессов Маркова. – Ташкент: Фан, 1998. – 248 с.
4. *Ито К.* Вероятностные процессы. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 133 с.
5. *Колмогоров А.Н.* Вероятностно-статистические методы исследования: Сб. ст. – М.: МГУ, 1983. – 160 с.
6. *Венцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 366 с.
7. *Майн Х., Осаки С.* Марковские процессы принятия решения. – М.: Наука, 1977. – 176 с.
8. *Ховард Р.А.* Динамическое программирование и марковские процессы. – М.: Сов. радио, 1964. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 09.11.07.