

Henryk SMOLIŃSKI, Mariusz ZIEJA
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa

LOGICZNO-PROBABILISTYCZNA ANALIZA CZYNNIKÓW RYZYKA WYPADKÓW LOTNICZYCH

Słowa kluczowe

Bezpieczeństwo, ryzyko, wypadek lotniczy, ocena ryzyka.

Streszczenie

W artykule przedstawiono logiczno-probabilistyczne podejście do modelowania rozwoju wypadków lotniczych na podstawie analizy czynników ryzyka oraz czynników zapobiegających powstawaniu wypadków lotniczych. Przedstawiona metoda może być elementem proaktywnej strategii zapobiegania powstawaniu wypadkom lotniczym poprzez zarządzanie poziomem bezpieczeństwa lotów.

Wprowadzenie

Metody oceny ryzyka wypadków lotniczych są niezbędnym elementem w realizacji proaktywnej strategii zarządzania bezpieczeństwem. Jest ona stosowana w celu zapobiegania zdarzeniom lotniczym i polega między innymi na zbieraniu informacji z różnych źródeł, które poszerzają i poprawiają jej wiarygodność oraz stwarzają możliwość odpowiedniego jej przetworzenia i przeprowadzenia analizy bezpieczeństwa lotów. Wdrażanie proaktywnej strategii zarządzania bezpieczeństwem daje szansę zmniejszenia ryzyka wypadku poprzez podjęcie koniecznych działań (korygujących, zapobiegawczych, doskonalących) w celu minimalizacji zagrożeń. Podstawę proaktywnego zarządzania bezpieczeństwem stanowi formuła systematycznego podejmowania działań w zakresie:

- identyfikacji zagrożeń,
- analizy ryzyka,
- podejmowania działań zapobiegawczych adekwatnych do wyników analiz.

1. Analiza czynników ryzyka wypadku lotniczego

Analizując stan systemu „Statek powietrzny (SP) – Środowisko – Człowiek” należy wydzielić, zidentyfikować i sklasyfikować wszystkie istniejące czynniki ryzyka oraz czynniki zapobiegające powstawaniu wypadków lotniczych. Następnie należy ustalić i ocenić ilościowo ich wzajemne związki oraz wzajemne zależności w zbiorze trzech grup czynników: „Statek powietrzny – Środowisko – Człowiek”.

Z analizy materiałów dotyczących badania zdarzeń lotniczych wynika, że wypadek lotniczy jest zbiorem następujących po sobie skrajnie niesprzyjających zdarzeń, których wystąpienie ma charakter losowy. Zdarzenia losowe podlegają ocenie ilościowej w oparciu o wcześniej dostępne do analizy informacje aprioryczne. Ocena ilościowa jest również przeprowadzana bezpośrednio po zakończeniu badania wypadku lotniczego.

Przedstawiana metoda zakłada wykonanie przez statek powietrzny dwóch lotów oraz wystąpienie wypadku lotniczego statku powietrznego podczas wykonywania drugiego lotu. W obu przypadkach już na początku lotu wystąpiły błędne wskazania położenia przestrzennego samolotu (niesprawność bezwładnościowego systemu nawigacyjnego) z absolutnie jednakowymi objawami podczas startu. Jednak wystąpiły również czynniki, które spowodowały, że pierwszy lot zakończył się bezpiecznym lądowaniem a drugi katastrofą.

Jeżeli rozpatrujemy system „Statek powietrzny – Środowisko – Człowiek” za pomocą analizy czynnikowej zaistniałego wypadku lotniczego, nie rozpoznaje się losowości a jedynie prawidłowość jego rozwoju jako wynik szeregowego powstawania następujących sytuacji szczególnych, tj. zdarzeń:

- A – skomplikowanie warunków lotu (SWL);
- B – skomplikowana (złożona) sytuacja (SS);
- C – sytuacja awaryjna (SA);
- K – sytuacja katastroficzna (SK).

Każda z ww. sytuacji kształtuje się z pewnym prawdopodobieństwem wg odpowiednio określonego zbioru ocenianych ilościowo czynników należących do trzech grup klasyfikacyjnych („SP”, „Środowisko”, „Człowiek”).

1.1. Statek powietrzny

Przy ukształtowanej praktyce oceny zgodności typu statku powietrznego z normami zdatności do lotu za niepoprawne należy uznać ocenianie matematycznie sumarycznych prawdopodobieństw rozwoju sytuacji nadzwyczajnych z powodu systemów funkcjonalnych samolotu przyjmując przy tym niezawod-

ność funkcjonalną załogi za niezależną. Należy dokonać oceny stopnia obniżenia niezawodności funkcjonalnej załogi w wyniku oddziaływania dodatkowego obciążenia i odwrócenia uwagi członków załogi od działalności etatowej (przyjęcie i analiza informacji, opracowanie decyzji, działania przeciwstawiania się lub neutralizowania uszkodzeń). Ustalono, że na etapie projektowania i konstruowania samolotów wychodząc z ilości możliwych niesprawności, należy założyć błąd metodyczny określenia przedziałów normalnej i awaryjnej eksploatacji z uwzględnieniem czynnika ludzkiego. W celu obniżenia obciążenia roboczego załóg zaczęto tworzyć nową technologię automatyki cyfrowej. Poziom bezpieczeństwa lotów (BL) w aspekcie technicznym, to poziom bezpieczeństwa całego systemu „SP – Środowisko Człowiek”, który nieuchronnie obniża się przy uszkodzeniu nawet rezerwowanego wyposażenia pokładowego statku powietrznego.

Prawdopodobieństwo bezpiecznego lotu w aspekcie technicznym $P_i(BL)$ może być przyjęte tylko do oceny szczególnego kryterium pomyślnego przebiegu lotu, które określa się jako prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że technika lotnicza nie uległa uszkodzeniu, a jeżeli uszkodzenia już zaistniały, to załoga przeciwstawiła się wystąpieniu ich skutków. Prawdopodobieństwo bezpiecznego lotu w aspekcie technicznym można zapisać w postaci następującego równania:

$$P_i(BL) = \prod_1^n P_i + \left[Q_i P_i \left(\frac{BL}{Q_i} \right) \right] \quad (1)$$

gdzie: P_i – prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy i -tego systemu SP,

Q_i – prawdopodobieństwo uszkodzenia i -tego systemu SP,

$P_i \left(\frac{BL}{Q_i} \right)$ – prawdopodobieństwo przeciwdziałania przez pilota awaryjnej sytuacji wywołanej i -tym uszkodzeniem,

n – ogólna (możliwa) liczba takich uszkodzeń w locie.

Prawdopodobieństwo uszkodzenia (2), jak również prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy (3) pewnego i -go systemu w locie (lub na rozpatrywanym etapie lotu) w czasie t określa się przez intensywność uszkodzeń systemu (λ_i) wg danych, które są obliczane podczas etapu projektowania systemu. Następnie są one korygowane podczas badań i modyfikowane w procesie eksploatacji:

$$Q_{SP,i} \approx \lambda_i \cdot t \quad (2)$$

$$P_{SP,i} \approx 1 - \lambda_i \cdot t \quad (3)$$

Zatem, prawdopodobieństwo uszkodzenia systemu położenia przestrzennego w następnym locie możemy określić na podstawie następującej zależności:

$$Q_{SP,i,II} \approx q_{PN} \lambda_i \cdot t_I + \lambda_i \cdot t_{II} \quad (4)$$

gdzie: t_I – czas pierwszego lotu,

t_{II} – czas drugiego lotu,

q_{PN} – warunkowe prawdopodobieństwo nieusunięcia uszkodzenia do kolejnego lotu z winy personelu naziemnego.

Ostateczna ocena stopnia zwiększenia ryzyka wypadku lotniczego w wyniku wystąpienia uszkodzenia powinna być dokonywana okresowo przez eksploatatora (w miarę zdobywania doświadczeń z procesu eksploatacji) metodą ocen eksperckich z uwzględnieniem czynnika ludzkiego i czynników środowiskowych. Do grup eksperckich należy angażować doświadczonych pilotów bezpośrednio wykonujących użytkowanie danego typu statku powietrznego.

1.2. Środowisko

Wyznaczając prawdopodobieństwo zaistnienia wypadku lotniczego z przyczyn środowiskowych, należy uwzględnić widzialność, dolny pułap chmur oraz dodatkowe utrudnienia podczas startu, np. warunki dzienne/nocne, opady deszczu i inne.

W analizowanym przykładzie zakładamy, że widzialność podczas pierwszego startu była lepsza niż w drugim przypadku. Prawdopodobieństwo braku widzialności horyzontu w momencie zadziałania sygnalizacji na etapie startu w drugim locie a priori jest wyższe niż w pierwszym. Uwzględniając fakt braku absolutnej wiarygodności prognozy pogody przy apriorycznej ocenie ryzyka wypadku lotniczego prawdopodobieństwo braku widzialności horyzontu podczas startu w trudnych warunkach atmosferycznych (TWA), w momencie uszkodzenia bezwładnościowego systemu nawigacyjnego jako jeden z czynników skomplikowania warunków lotu (SWL) oznaczymy $Q(A_{TWA})$.

Prawdopodobieństwo skomplikowania warunków lotu można wyznaczyć korzystając z wyników badań dostępnych w literaturze lub poprzez zastosowanie metody ekspertów.

1.3. Człowiek

Dokonyjemy analizy następujących czynników ryzyka:

- naruszenie zasad obsługi technicznej przez personel naziemny przy usuwaniu niesprawności,
- nieopanowanie przez dowódcę statku powietrznego sytuacji typu skomplikowanie warunków lotu,
- niepokonanie przez załogę sytuacji awaryjnej.

Niesprawność indykacji położenia przestrzennego samolotu, dwukrotnie pojawiająca się w lotach należy do niesprawności, których nie można zidentyfikować podczas sprawdzenia systemu w warunkach naziemnych bez przymusowego wychylenia mechanizmów korekcyjnych, tj. bez imitacji manewrowania w locie. Warunkuje to konieczność usunięcia niesprawności w ścisłej zgodności z nakazami instrukcji technicznych. Doświadczenia z procesu eksploatacji oraz wyniki anonimowych przesłuchań personelu latającego i inżynierijno-technicznego pokazują, że przy intensywnej pracy w locie zwłaszcza w oderwaniu od lotniska macierzystego, 10–20% niesprawności wykrytych w locie (nieujętych w „Wykazie niesprawności, z którymi zezwala się na start z lotniska nie macierzystego”) nie zostaje usuniętych przed kolejnym wylotem z różnych powodów, w tym z winy personelu wykonującego obsługi techniczne.

Podczas powstawania sytuacji szczególnej w locie podstawowe funkcje związane z jej odparowaniem należą do obowiązków załogi. Odparowaniu podlegają nie tylko sytuacje uwarunkowane wpływem czynników technicznych (SP) i środowiskowych, lecz również błędy popełnione wskutek działań lub braku działań w odpowiednim czasie przez członków załogi. Zatem warunkowe prawdopodobieństwo nieopanowania przez dowódcę statku powietrznego sytuacji typu skomplikowanie warunków lotu (SWL) uwarunkowanej uszkodzeniem bezwładnościowego systemu nawigacyjnego (A_{bsn}) z nieokreśloną informacją o uszkodzeniu i brakiem widzialności horyzontu (warunki nocne, A_{TWA}) można zapisać w postaci następującego wyrażenia:

$$Q[B_D / (A_{bsn} \cdot A_{TWA})] \quad (5)$$

Z analizy współdziałania załogi w sytuacjach awaryjnych wynika, że tylko w kilkunastu procentach [4] załoga zgodnie współpracuje w sposób celowo ukierunkowany. W pozostałych przypadkach w warunkach oddziaływania zagrożenia proces uzgadniania działań załogi zostaje naruszony poprzez izolację jej członków, a przede wszystkim jej dowódcy, który podejmując decyzję polega wyłącznie na własnym doświadczeniu (A_{zal}). Zatem warunkowe prawdopodobieństwo niepokonania przez załogę sytuacji szczególnej typu sytuacja awaryjna można zapisać w postaci następującego wyrażenia:

$$Q\{C_{zal} / [B_D / (A_{bsn} \cdot A_{TWA} \cdot A_{zal})]\} \quad (6)$$

Należy mieć na uwadze, że objętość zbioru analizowanych czynników będzie uwarunkowana złożonością przyczyn wypadku lotniczego.

2. Ocena ryzyka wypadku lotniczego

W ogólnym przypadku wypadek lotniczy jest to losowe zdarzenie, którego prawdopodobieństwo zależy od istnienia zbioru czynników ryzyka wypadku lotniczego oraz od czynników zapobiegających jego zaistnieniu. Uwzględniając założenia dotyczące czynników ryzyka zaistnienia wypadku lotniczego w locie, przyjęte w analizowanym przykładzie, można prawdopodobieństwo wypadku lotniczego (WL) oszacować w oparciu o następującą zależność:

$$Q(WL) = Q(A_{bsn} A_{TWA} A_{zal} B_D C_{zal}) \quad (7)$$

Ponieważ zdarzenia $A_{bsn}, A_{TWA}, A_{zal}$ są zdarzeniami niezależnymi, a zdarzenia B_D, C_{zal} są zdarzeniami zależnymi, to

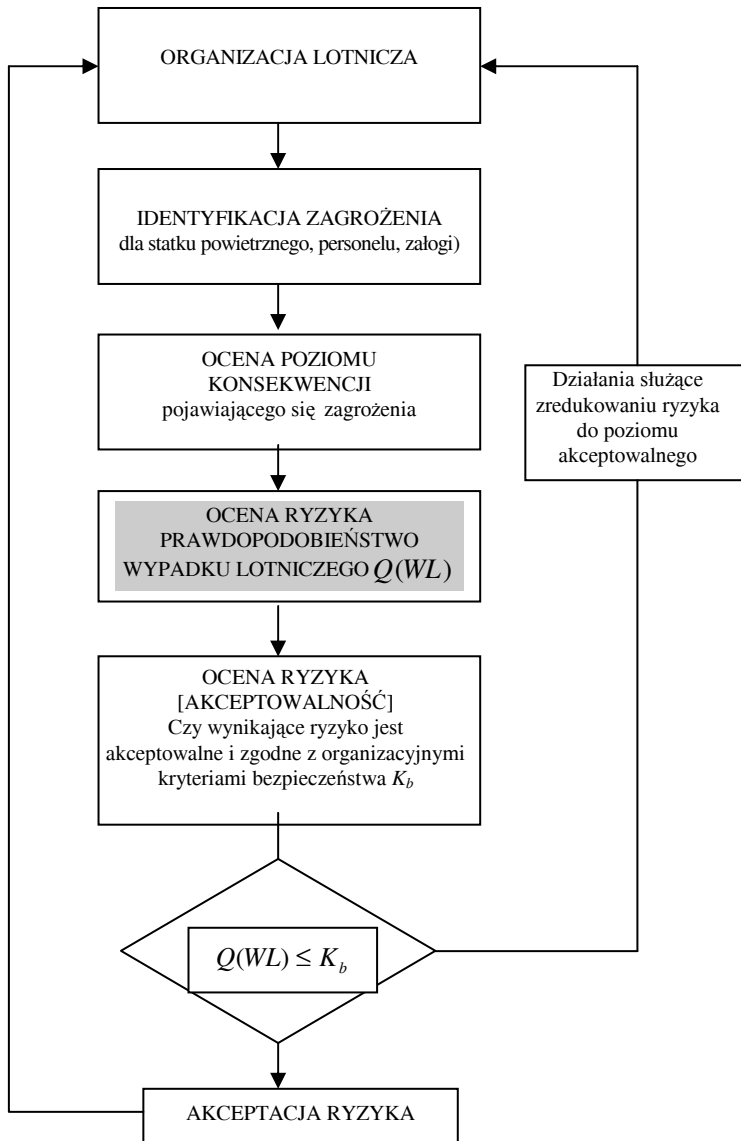
$$Q(WL) = Q(A_{bsn}) \cdot Q(A_{TWA}) \cdot Q(A_{zal}) \cdot Q\{B_D / (A_{bsn} A_{TWA} A_{zal})\} \cdot Q\{C_{zal} / [B_D / (A_{bsn} A_{TWA} A_{zal})]\} \quad (8)$$

gdzie: $Q(WL)$ – prawdopodobieństwo (ryzyko) wypadku lotniczego,
 $Q(A_{bsn})$ – prawdopodobieństwo uszkodzenia bezwładnościowego systemu nawigacyjnego w locie,
 $Q(A_{TWA})$ – prawdopodobieństwo braku widzialności horyzontu podczas startu w trudnych warunkach atmosferycznych (TWA),
 $Q[B_D / (A_{bsn} \cdot A_{TWA})]$ – warunkowe prawdopodobieństwo nieopanowania przez dowódcę załogi sytuacji typu skomplikowanie warunków lotu uwarunkowanej uszkodzeniem systemu nawigacyjnego i brakiem widzialności horyzontu w TWA,
 $Q\{C_{zal} / [B_D / (A_{bsn} A_{TWA})]\}$ – warunkowe prawdopodobieństwo niepokonania przez załogę sytuacji awaryjnej.

W powyższy sposób w oparciu o wymienione, znane na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego czynniki ryzyka można ustalać i analizować ryzyko wystąpienia wypadku lotniczego w kolejnych lotach. Analizę ryzyka wy-

padku lotniczego można uznać za ciągły i powtarzalny proces, na który składa się (rys. 1):

- identyfikacja zagrożeń (gromadzenie danych ilościowych i jakościowych),
- analiza danych, miar i wskaźników takich jak:
 - prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia,
 - skutki wywołane zaistnieniem zdarzenia,
 - oszacowanie poziomu ryzyka.



Rys. 1. Algorytm zarządzania ryzykiem

Wnioski

Przedstawiona metoda oceny ryzyka zaistnienia wypadku lotniczego ma zastosowanie w proaktywnym zarządzaniu bezpieczeństwem i umożliwia:

- wypracowanie przedsięwzięć mających na celu zapobieganie (obniżenie prawdopodobieństwa) zaistnienia wypadku lotniczego w oparciu o wyeliminowanie lub obniżenie prawdopodobieństwa (stopnia wpływu) wystąpienia czynników ryzyka;
- wybranie optymalnych wariantów sterowania (zarządzania) prognozowanym ryzykiem zaistnienia wypadku lotniczego.

Bibliografia

1. Milkiewicz A.: Podstawy organizacji i metodyki badania wypadków lotniczych w lotnictwie cywilnym. Warszawa 2001.
2. Praca zbiorowa. Organizacja i metodyka badania wypadków lotniczych w państwowym lotnictwie cywilnym. ITWL 2005.
3. Klich E.: Bezpieczeństwo lotów, wypadki, przyczyny, profilaktyka. Puławy 1998.
4. Guziej A.G., Puszkin A.M., Czujko T.A.: Oszacowanie a priori prawdopodobieństwa zdarzenia lotniczego w systemie sterowania bezpieczeństwem w przedsiębiorstwie lotniczym. Problemy Bezpasnosti Nr 2/2009.

Recenzent:
Jacek SKORUPSKI

A probabilistic method of the a priori assessment of air-accident risk

Key-words

Safety, risk analysis, air accident, safety assessment.

Summary

The paper has been intended to present a probabilistic approach to the a priori modelling of air-accident development, based on the analysis of risk factors and factors conducive to preventing air accidents. Methods of the assessment of air-accident risk are an indispensable component of the pro-active strategy for the safety-oriented management. The presented method may be such

a component of the pro-active strategy for preventing air accidents, since it allows of what follows:

- development of undertakings such as to prevent (reduce probability) of an air accident, based on the elimination of or reduction in the probability that risk factors occur;
- preliminary, competent assessment of the effectiveness of the planned undertakings, based on the ‘cost effectiveness – probability’ rate;
- selection of optimal variants of controlling (managing) the forecasted air-accident risk.

Implementation of the pro-active strategy for safety management gives a chance to reduce accident risk by means of initiating indispensable actions (corrective, preventive, improving ones) to minimise the hazards.

