

Metodyka oceny ryzyka w badaniach statków powietrznych

1. WPROWADZENIE

Właściwe przeprowadzenie badań statków powietrznych (SP) warunkuje zapewnienie ich niezawodności i bezpieczeństwa eksploatacji. Celem badań jest więc potwierdzenie [7]:

- parametrów fizycznych i funkcjonalnych SP w aspekcie obsługiwalności, nieuszkodzalności,
- poprawności zaprojektowanych rozwiązań konstrukcyjnych,
- własności pilotażowych i eksploatacyjnych,
- poprawności pracy nowo zabudowanych urządzeń i instalacji, w tym zestawów wyposażenia indywidualnego i grupowego SP,
- zgodności charakterystyk prototypu z wymaganiami oraz określenie możliwości wdrożenia do produkcji seryjnej,
- zgodności SP i wyposażenia z wymaganiami dokumentacji technicznej, przepisów budowy SP, norm oraz wymagań klienta.

Nowe rozwiązania konstrukcyjne lub zmiany modernizacyjne SP obarczone są pewnym zakresem niewiedzy stanowiącym źródło niepewności i ryzyka. Dlatego konieczne jest przeanalizowanie wszystkich obszarów zagrożeń, powiązań i uwarunkowań, które mogą niekorzystnie wpłynąć na wykonanie badań lub na obniżenie poziomu bezpieczeństwa lotów statków powietrznych.

2. SZACOWANIE RYZYKA

Szacowanie ryzyka składa się z procesów identyfikacji (definiowania obszarów potencjalnych zagrożeń) oraz analizy, polegającej na przypisaniu odpowiednich wartości skutków i prawdopodobieństwa ich wystąpienia [1,2,4].

Wynikiem szacowania ryzyka jest klasyfikacja do określonych poziomów ryzyka (akceptowalnego, warunkowo akceptowalnego i nieakceptowalnego). Determinuje to hierarchię podejmowanych działań mających na celu redukcję ryzyka.

Podstawą realizacji badań SP jest identyfikacja zagrożeń na etapie planowania i opracowania programu badań, zawierającego [7]:

- wymagania klienta dotyczące zakresu badań, terminu, czasu realizacji, liczby lotów i godzin,
- miejsce prowadzenia badań (wyznaczone lotniska i rejon badań) z uwzględnieniem położenia geograficznego oraz analizy warunków atmosferycznych w planowanym okresie realizacji badań,
- parametry eksploatacyjne (obsługi i użytkowania) i nieuszkodzalności badanego SP,
- identyfikację dokumentów (dokumentacja techniczna, Założenia Taktyczno-Techniczne, Warunki Techniczne, itp.) stanowiących kryteria badań,
- zdefiniowane zasoby finansowe i środki zabezpieczenia logistycznego:
 - skład i liczebność zespołu badawczego (kierownika badań, personelu latającego, technicznego i analizującego wyniki badań),
 - wymagane wyposażenie pomiarowe,

¹ jjasinska@wat.edu.pl

² joanna.wojcik@itwl.pl

³ wlodzimierz.kosinski@itwl.pl

- wymagania dotyczące dokumentowania wyników badań.

W analizie potencjalnych problemów związanych z realizacją programu badań należy rozpatrzyć [7]:

- zmiany zakresu badań,
- zmiany konstrukcji,
- dostępność środków zabezpieczenia logistycznego,
- dostępność i awaryjność wyposażenia pomiarowego,
- stan wiedzy i wykszolenia zespołu badawczego (np. brak pilotów o odpowiednich kwalifikacjach do wykonania lotu),
- czas obsługi i częstotliwość przemieszczania SP, w tym dodatkowe obsługi bieżące, okresowe i specjalne SP w trakcie badań wynikające z lotów dodatkowych,
- konieczność przeprowadzenia dodatkowych lotów szkoleniowych związanych ze specyficznymi własnościami lotnymi SP,
- częstotliwość powstawania usterek lub konieczność wprowadzania zmian,
- kolejność badań z możliwością równoległego ich wykonania,
- konieczność powtórzenia badań z uwagi na:
 - rozbieżności pomiędzy posiadanymi a rzeczywistymi informacjami o warunkach atmosferycznych
 - niewykonanie prac przygotowawczych do lotu próbnego (np. brak montażu badanego wyposażenia, aparatury pomiarowej, podwieszeń, brak środków bojowych, niewykonanie niezbędnych obsług statku powietrznego lub jego wyposażenia),
 - wystąpienie niesprawności SP.
- zmiany warunków meteorologicznych w trakcie lotu,
- niewykonanie lotu zgodnie z programem badań (błąd pilota),
- kanały wymiany informacji pomiędzy projektantem i dostawcą SP w zakresie zmian konstrukcyjnych,
- sposób komunikacji z zamawiającym w zakresie zmian jego wymagań,
- błąd organizacyjny (np. niezabezpieczenie: środków ratunkowych, innego SP do obserwacji badanego SP, wyposażenia wysokościowo- ratowniczego, odpowiedniej liczby elementów zapasowych do niesprawnej aparatury badawczej lub właściwej liczby komputerów do analizy danych z lotów itp.)
- nieprzewidziane zdarzenia losowe.

Ocenę możliwości a zarazem optymalizacji realizacji poszczególnych etapów badań przeprowadza kierownik badań.

3. STEROWANIE RYZYKIEM

Sterowanie ryzykiem [4,6,9], to przede wszystkim bieżąca ocena oraz inicjowanie zmian, w zależności od poziomu zmaterializowanego ryzyka. Sterowanie ryzykiem opiera się na działaniach związanych z:

- planowaniem,
- redukcją,
- monitorowaniem ryzyka.

Planowanie polega na określeniu harmonogramu działań, wyznaczeniu osób odpowiedzialnych za ocenę ryzyka i środków niezbędnych na wdrożenie zaplanowanych działań obniżających ryzyko, w tym wystąpienia nieprzewidzianych sytuacji (specyficznego rodzaju ryzyka).

W zależności od wartości ryzyka, działania redukujące oznaczane mianem „redukcji” mogą przybierać różną formę [1,2,6,9]:

- unikanie ryzyka – odstąpienie od realizacji badań ze względu na brak możliwości spełnienia wymagań,
- łagodzenie ryzyka - wdrożenie działań prowadzących do obniżenia wartości ryzyka do poziomu akceptowalnego,
- przeniesienie ryzyka – transfer ryzyka na firmę ubezpieczeniową lub na partnera kontraktowego,

- akceptacja ryzyka lub jego kompensacja lub dywersyfikacja – świadome ponoszenie ryzyka bez podejmowania dodatkowych działań.

Monitorowanie ryzyka obejmuje [4,6,7,9]:

- ocenę prawidłowości zrealizowanych działań redukujących,
- identyfikację i szacowanie każdego nowego pojawiającego się rodzaju ryzyka,
- nadzorowanie ryzyka cząstkowego i szcztkowego,
- wdrożenie nowych działań, jeżeli aktualnie obowiązujące są uważane za niemiernodajne,
- analizę wpływu zmian związanych z:
 - terminem opracowania i wykonania prototypu oraz dostępnych zasobów,
 - parametrami technicznymi,
 - zakresem badań,
 - liczbą obiektów dostarczonych do badań,
 - wymaganiami zamawiającego dotyczącymi warunków eksploatacji,
 - warunkami atmosferycznymi i środowiskowymi wynikającymi ze zmiany terminu badań.

Monitorowanie powinno obejmować swym zakresem wszystkie zidentyfikowane poziomy ryzyka nawet te o niskich wartościach, w tym szcztkowe, ponieważ mogą one zmieniać swoje wartości i znacząco wpływać na realizację badań SP.

4. METODY OCENY RYZYKA BADAŃ SP

Aby proces badań SP mógł być skuteczny i efektywny, należy zastanowić się, jaka metoda oceny ryzyka będzie najlepsza. Jakie działania należy podjąć oraz jakie elementy realizowanego programu badań poddać analizie, jak wybrać tą właściwą metodę, pozwalającą na ustanowienie skutecznego procesu oceny ryzyka?

Wybór metod do oceny ryzyka związanego z wykonaniem badań SP jest nie jest prostym zadaniem ze względu różnorodność i wieloaspektowość zagadnień ujętych w programach badań. Umiejętność trafnego określenia wszelkich uwarunkowań mających wpływ na prawidłową identyfikację zagrożeń wymaga zastosowania odpowiedniej metody Minimalizacja zagrożeń a zarazem optymalizacja realizacji poszczególnych etapów programu badań w określonym zakresie i liczbie lotów, w wyznaczonym miejscu, terminie i nakładach finansowych, wymaga racjonalnego podejścia i dostosowania metod oceny.

Literatura przedmiotu prezentuje bogaty i zróżnicowany zestaw metod, począwszy od jakościowych, poprzez ilościowe, półilościowe a kończąc na ich kombinacji. Wykorzystanie ich może zapewnić nie tylko uporządkowanie, usystematyzowanie danych ale co najważniejsze - podjęcie obiektywnej decyzji i zaplanowanie dalszych działań.

Zastosowanie metod klasycznych (z grup starych i nowych narzędzi jakościowych) takich, jak [1,2,3,6,9]:

- metody „co – gdy”, czyli tworzenia listy kontrolnej, zawierającej pytania, na które odpowiedzi umożliwią proste i ogólne zidentyfikowanie ryzyka,
- „burzy mózgow” (brainwriting, metoda 6-3-5), czyli generowania przez ekspertów jak największej liczby pomysłów w celu wypracowania najlepszego rozwiązania problemu i zidentyfikowania jak największej liczby zagrożeń. Zaletą tej metody jest prostota i możliwość wykorzystania innowacyjnych rozwiązań,
- diagramu przebiegu procesu (schematu blokowego), czyli przedstawienia, w sposób graficzny, kolejnych etapów procesu identyfikacji ryzyka w powiązaniu z obszarami zagrożeń,
- metody PHA, czyli zastosowania listy kontrolnej zawierającej określone pytania, odpowiedzi na które (tak lub nie) umożliwiają proste określenie obszarów ryzyka,
- metody DELPHI, czyli kilkakrotnego zbierania opinii (w postaci kwestionariuszy) od ekspertów, w celu określenia jednomyślnej diagnozy na temat zagrożeń,

- analizy drzewa FTA, ETA, CCA czyli przedstawienia w postaci drzewa kombinacji i wzajemnych uzależnień między potencjalnymi wadami a także sekwencji zdarzeń,
- diagramu Pareto – Lorenza (analiza ABCD, 80/20), czyli metody opartej na prawidłowości, że 20-30% przyczyn decyduje o 70-80% skutków wystąpienia ryzyka. Należy przez to rozumieć, że większość wad zidentyfikowanych spowodowana jedynie przez kilka przyczyn. Zastosowanie diagramu obrazuje hierarchię ważności określonych grup ryzyka, którymi należy zająć się w pierwszej kolejności. Pomaga w zaplanowaniu określonych działań zapobiegawczych w celu minimalizacji ryzyka w tych najistotniejszych obszarach,
- diagramu Ishikawy, który pozwala w przejrzystej formie wskazać i uszeregować źródła zagrożeń, a następnie zakwalifikować je do właściwych grup.
- FMEA, czyli metody umożliwiającej określenie zależności między przyczynami i skutkami zagrożeń bazując na udowodnionej praktyce, że 75 % przyczyn wszystkich błędów dotyczy procesu projektowania a ich wykrywalność na tym etapie jest nieznaczną, o czym świadczą błędy zidentyfikowane w trakcie produkcji, kontroli czy podczas eksploatacji,
- karty kontrolnej, czyli przedstawienia, w sposób graficzny, na podstawie danych uzyskanych z realizacji procesu, zagrożeń w stosunku do wyznaczonych granic kontrolnych procesu. Karta kontrolna pomaga na bieżąco reagować na nieprawidłowości występujące w przebiegu procesu.
- arkusza analitycznego - zebrania i uporządkowania danych z pomiarów i obserwacji do rejestracji i wstępnego przetwarzania informacji źródłowych,
- histogramu - przedstawienia w postaci wykresu słupkowego zmienności określonego zbioru danych,
- punktowego diagramu korelacji (współzależności rozrzutu, rozproszenia - przedstawienia w układzie współrzędnych prostokątnych par zmiennych związanych pewną zależnością,

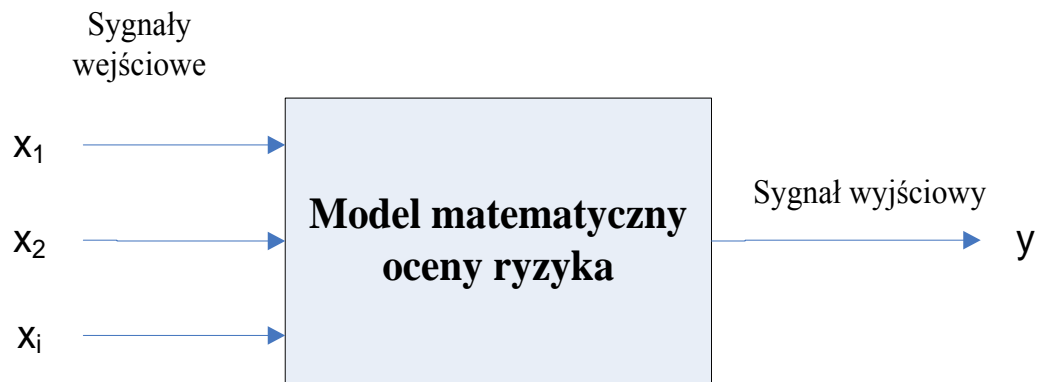
umożliwia dokonanie oceny jednak spełnienie norm niezawodnościowych i zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji SP wymaga metod szczególnych, eliminujących lub identyfikujących wszelkie możliwe błędy. Właśnie taką metodą umożliwiającą rozwiązanie problemów związanych z klasyfikacją, sterowaniem czy optymalizacją są sztuczne sieci neuronowe (SSN), które automatycznie przetwarzają dane aż do momentu pozyskania najlepiej odwzorowującej funkcji opisującej występujące zależności. Niezmiernie istotną zaletą sieci jest możliwość ich wykorzystania przy zagadnieniach wielowymiarowych i złożonych funkcji nieliniowych z dużą liczbą zmiennych niezależnych.

Ideą SSN jest naśladowanie działania neuronów w mózgu ludzkim na zasadzie (pseudo-równoległego) przetwarzania informacji przez neurony i wykorzystania możliwości uczenia się. SSN sprawdzają się w rozwiązywaniu problemów, które są zbyt skomplikowane dla konwencjonalnych technologii (np. problemy, które nie mają rozwiązania algorytmicznego, bądź takowe jest zbyt skomplikowane do znalezienia), sprawdzają się też dobrze tam, gdzie nie można zastosować tradycyjnych metod [3,5,8,10,11].

Sztuczne sieci analogicznie do biologicznych odpowiedników składają się z dużej liczby połączonych ze sobą neuronów. Do każdego neuronu dociera pewna liczba sygnałów tzw. „dane wejściowe” (dane wprowadzane do sieci) o określonej wartości progowej i wadze. W neuronie obliczana jest ważona suma wejść (suma wartości sygnałów wejściowych przemnażana przez odpowiednią wagę), od której odejmowana jest wartość progowa. Funkcja aktywacji neuronu pozwala na uzyskanie sygnału wyjściowego [5]. Ogólny model SSN przedstawia rys. 1.

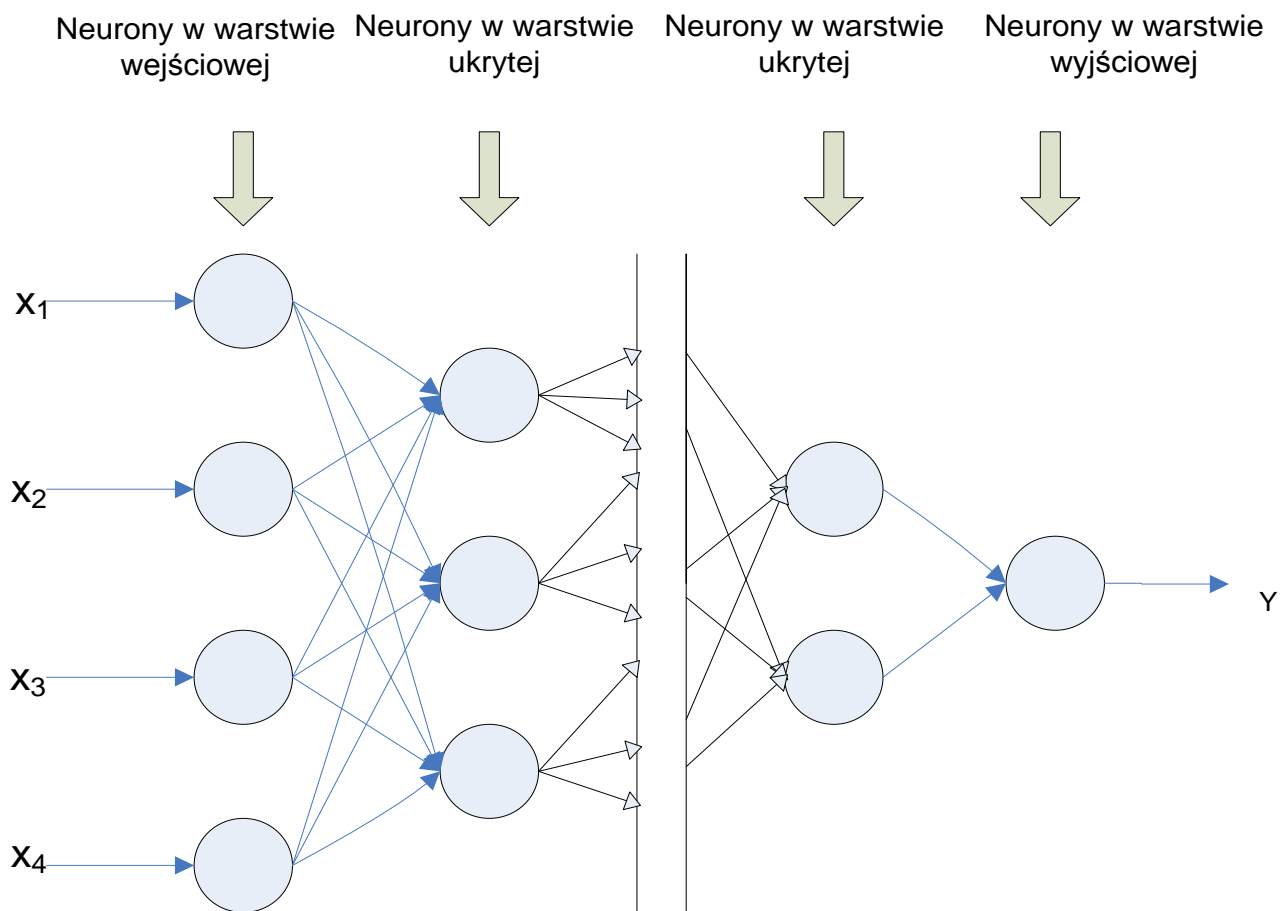
Projektowanie struktury sieci polega na określeniu liczby neuronów ułożonych w warstwach (rys. 2) [3,5,8,10,11]:

- wejściowej gdzie, liczba neuronów określona jest przez liczbę danych wejściowych,
- wyjściowej - liczba wyjść z sieci odpowiada rozwiązaniu problemu,
- ukrytej – pełniącej rolę pośrednika pomiędzy wejściem i wyjściem.



Rys. 1. Ogólny model SSN wykorzystany do oceny ryzyka

Źródło: [12].



Rys. 2. Struktura sieci neuronowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

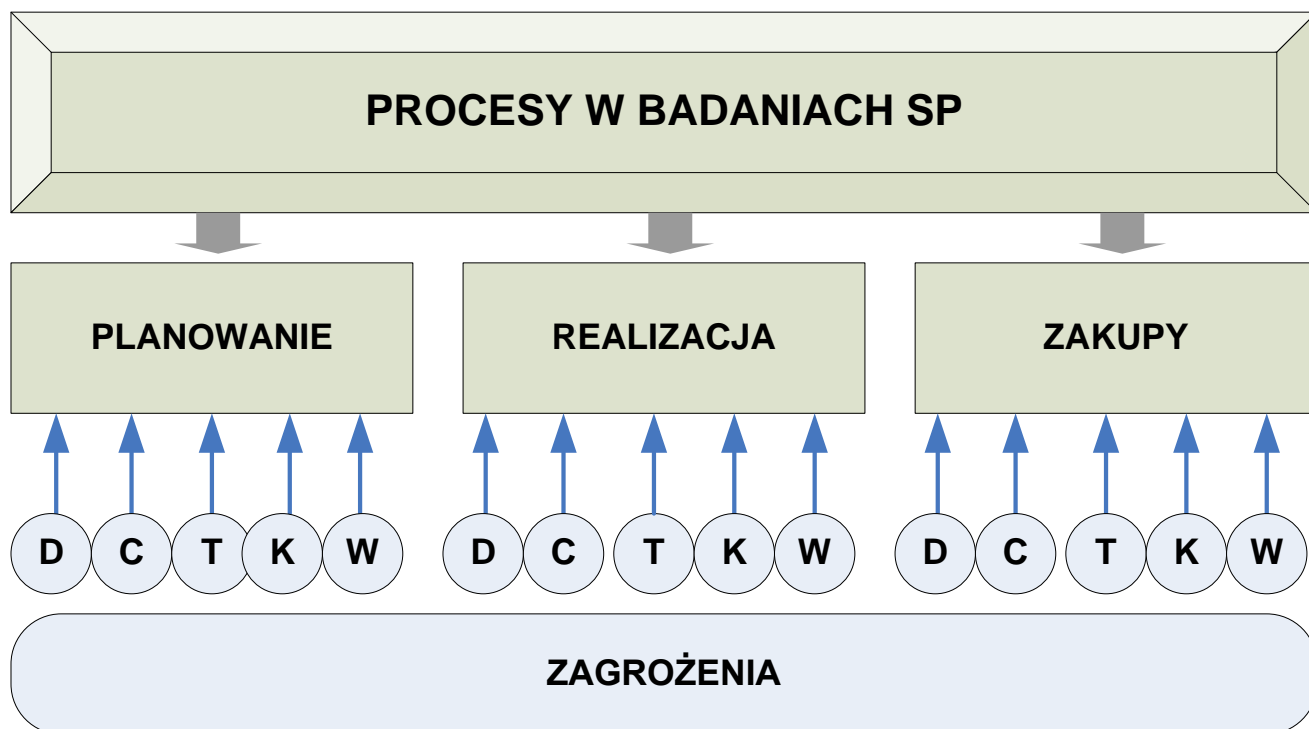
Do badań SP wykorzystano model procesowy (rys.3), w którym wyodrębniono procesy [4]:

- planowanie badań (α),
- realizację badań (β)
- zakupy związane z badaniami (γ).

W każdym z tych procesów analizuje się zagrożenia w aspekcie [4]:

- dokumentacyjnym (D) – kompletność i adekwatność dokumentacji niezbędnej do badań SP,
- terminowym (C) – możliwość realizacji badań w założonym czasie,

- technicznym (*T*) – spełnienie wymaganych parametrów SP oraz wymagań klienta,
- kompetencyjnym (*K*) – dostępność wykwalifikowanego personelu latającego, członków zespołu badawczego, kierownika badań, technicznego i analizującego wyniki badań,
- kosztowym (*W*) – wykonanie badań w zaplanowanych kosztach.



Rys.3. Model procesowy w badaniach SP

Źródło: opracowanie własne.

Model procesowy stał się podstawą do zbudowania SSN w badaniach SP, gdzie danymi wejściowymi są wartości ryzyk cząstkowych oszacowanych metodami klasycznymi w poszczególnych procesach realizacji programu badań, w zależności od aspektu.

Liczba neuronów w warstwie wejściowej zależy od złożoności problemu. Liczba neuronów i warstw ukrytych jest wyznaczana w sposób doświadczalny w trakcie uczenia poprzez modelowanie współczynnika uczenia (η) i momentum (α) oraz liczby iteracji [3,5]. W wyniku uczenia i testowania kształtuje się ostateczną strukturę sieci. Sygnałem wyjściowym jest końcowa wartość ryzyka (Y) dla całego programu badań SP.

Sztuczne sieci neuronowe pozwalają na rozwiązywanie złożonych problemów związanych z wieloaspektowością oceny ryzyka w procesach realizacji badań SP. SSN mogą zagwarantować uzyskanie spójnych i powtarzalnych wyników, wyłonić przyczyny błędów. Jest to metoda wygodna, a zarazem umożliwiająca bardziej racjonalne podejmowanie decyzji, niż przy zastosowaniu tylko metod klasycznych.

5. PODSUMOWANIE

Wysokie koszty niezrealizowania lub błędnego przygotowania programu badań SP determinują opracowanie sprawdzonej i wiarygodnej metodyki oceny ryzyka minimalizującej jego wartość do poziomu akceptowalnego. Z uwagi na to, że poprawność programu weryfikowana jest w trakcie realizacji badań, istotne są wyniki szacowania ryzyka na etapie tworzenia programu badań. Wyniki te przekładają się na rzeczywiście podejmowane działania w ramach sterowania ryzykiem. Najlepszym dowodem właściwej organizacji badań jest ich wykonanie w wyznaczonym czasie i przy określonych zasobach (ludzkich i finansowych).

Ocena ryzyka w tak złożonym procesie, jakim są badania SP, wymaga zastosowania właściwych metod szacowania i sterowania ryzykiem. Metody klasyczne i SSN mogą stanowić uzupełnienie. Te pierwsze są niezbędne do zebrania, uporządkowania, ujednoczenia i właściwego zaklasyfikowania do określonych grup aspektów. SSN przetwarzają dane, na podstawie których tworzony jest model odwzorowujący prawidłowość realizacji programu badań SP. Sieci neuronowe umożliwiają rozwiązanie problemów tam, gdzie występują złożone funkcje opisujące problem, a modelowanie liniowe nie zdaje egzaminu. Nie wymagają one pogłębionej wiedzy teoretycznej tak jak w przypadku klasycznych metod statystycznych, a jedynie doświadczenia w zakresie metodyki wyboru i przygotowania danych oraz wyboru odpowiedniego typu sieci neuronowej oraz sposobu interpretacji wyników. Ze względu na wymienione atrybuty, SSN stały się dobrym narzędziem do oceny ryzyka badań SP charakteryzujących się wysoką złożonością i wieloaspektowością zagadnień i procesów.

Streszczenie

W badaniach (naziemnych i w locie) statków powietrznych nowo opracowywanych, modernizowanych i wytwarzanych seryjnie mogą wystąpić czynniki negatywnie wpływające na skuteczność i efektywność ich realizacji. Złożoność procesów i szeroki zakres zagadnień badań wymaga opracowania optymalnego programu badań uwzględniającego m.in. aspekty organizacyjne, techniczne, warunki klimatyczne i geograficzne czy też związane z wyszkoleniem personelu badawczego. Zapewnienie bezpieczeństwa i efektywności lotów wymaga więc skutecznej identyfikacji zagrożeń i prawdopodobieństwa ich wystąpienia w planowanych badaniach. Do przeprowadzenia wiarygodnej ich oceny niezbędne jest dobranie odpowiednich metod szacowania i sterowania ryzykiem.

Słowa kluczowe: ryzyko, szacowanie ryzyka, sterowanie ryzykiem, program badań statków powietrznych.

Methodology of risk assessment in aircraft testing**Abstract**

In the course of both ground and flight tests of newly-developed and upgraded aircraft as well as those from the lot production disadvantageous factors may appear to negatively affect the testing work effectiveness. The complexity of processes engaged and the scope of issues covered by the testing work requires that an optimal ground/flight test plan is developed with account taken of, among other things, organizational and engineering aspects of the project, climatic and geographic conditions, and instruction/training to the testing staff to provide highly-skilled professionals to carry out the tests and handle the collected data. The flight safety and testing-work effectiveness need, therefore, successful identification of threats and hazards, and the probability that they occur during the tests. To reliably appraise these factors, one needs well suited methods of risk assessment and management.

Keywords: risk, risk assessment, risk management, aircraft ground/flight testing program.

LITERATURA

- [1] Cholewicka-Goździk K., Kompleksowa ocena jakości. Metody, przykłady. PWE, Warszawa, 1984.
- [2] Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka, PWN, Warszawa – Poznań 1999.
- [3] Jasińska J.: Innowacyjne metody oceny ryzyka w procesach realizacji wyrobu, Konferencja międzynarodowa, ZSJZ, Zakopane 2010.
- [4] Jasińska J, Krupnik D., Wójcik J., Kosiński W.: „Model procesowy szacowania ryzyka badań statków powietrznych”. Logistyka nr 4/2011, Poznań 2011.
- [5] Lula P., Tadeusiewicz R.: STATISTICA Neural Networks TM PL. Wprowadzenie do sieci neuronowych, wydawnictwo StatSoft Polska, Kraków.
- [6] Kaczmarek T., Zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Difin, Warszawa, 2010.
- [7] Kosiński W., Warchulski J., Wójcik J., Zieja M.: Zarządzanie ryzykiem w procesie planowania badań w locie statku powietrznego a optymalizacja programu badań. Konferencja PSAM&ESREL, Helsinki 2012.
- [9] Kosiński R.: Sztuczne sieci neuronowe, dynamika nieliniowa i chaos. WNT, Warszawa 2007.
- [10] Szczepańska K., Metody i techniki TQM, OWPW, Warszawa 2009.
- [11] Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji, PWN, Warszawa 2005.
- [12] Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Kraków 1993.
- [13] Świdorski A.: Koncepcja wspomagania procesu decyzyjnego w certyfikacji systemów zarządzania z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych”, Problemy Jakości nr 6, Warszawa 2006.

Acknowledgment

Opracowanie to zrealizowano w ramach projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.