

Zdzisław SZYMAŃSKI
Instytut Lotnictwa

KWESTIE BEZPIECZEŃSTWA W KONSTRUKCJI URZĄDZEŃ AWIONICZNYCH

Konstruktor urządzeń pokładowych samolotu lub śmigłowca uwzględnia przede wszystkim dokładność i sposób działania tych urządzeń w zmiennych warunkach środowiskowych, czego wymagają obowiązujące normy lotnicze. Jednak powinien on również brać pod uwagę skrajne sytuacje, w jakich może znaleźć się urządzenie. Należą do nich awaryjne lądowanie lub pożar statku powietrznego, a także awaria zaprojektowanego urządzenia – samoistna lub wywołana przez otoczenie. Wówczas urządzenie nie może stwarzać zagrożenia bezpośredniego, jak i pośredniego poprzez generowane elektryczne sygnały wyjściowe, które mogłyby zmylić pilota lub spowodować fałszywe zadziałanie pokładowych układów sterowania.

Wstęp

Pokładowe urządzenia awioniki dokonują pomiaru i zobrazowania parametrów lotu, a także wskazują stan pracy różnorodnych urządzeń pokładowych. Ich wielkości wyjściowe stanowią podstawę decyzji podejmowanych przez pilota, są też wykorzystywane przez automatyczne układy regulacji i sterowania statkiem powietrznym. Dlatego istotne jest, aby urządzenia te:

- zachowywały założone parametry pracy w przyjętych warunkach środowiskowych,
- w przypadku własnego uszkodzenia nie przekazywały mylących informacji pilotowi lub innym urządzeniom pokładowym,
- w warunkach awarii statku powietrznego (np. pożar, awaryjne lądowanie) nie stanowiły zagrożenia dla załogi i pasażerów.

Ponadto urządzenia nie mogą wywierać niekorzystnego wpływu na inne urządzenia pokładowe podczas pracy w każdych warunkach.

1. Praca w obowiązujących warunkach eksploatacji

W zależności od przewidywanych zastosowań każde urządzenie awioniczne ma przyporządkowaną kategorię środowiskową określającą:

- warunki, w których urządzenie to powinno pracować niezawodnie z zachowaniem założonych parametrów,
- ewentualne warunki skrajne, w których urządzenie powinno również pracować, lecz z mniejszą dokładnością,
- sytuacje, w których urządzenie nie jest zobowiązane do pracy, lecz nie powinno ulec uszkodzeniu.

Praca z zachowaniem parametrów obowiązuje zwykle w warunkach środowiska, określanych jako normalne lub „nienormalne”. Znormalizowane warunki środowiskowe i odpowiadające im kategorie urządzeń są określone w normach lotniczych, np. DO-160E [3] lub MIL Standard [1, 2]. Spośród tych warunków uwzględnia się co najmniej:

- zakres temperatury otoczenia podczas ciągłej i krótkotrwałej pracy,
- maksymalną szybkość zmian temperatury w pełnym zakresie,
- maksymalną wysokość lotu, czyli minimalne ciśnienie powietrza,
- wilgotność w otoczeniu urządzenia,
- wibracje urządzenia,
- wartość napięcia zasilania,
- zakłócenia przewodzone i indukowane o częstotliwości akustycznej dostające się z sieci zasilającej,
- zakłócenia wysokoczęstotliwościowe (radiowe) przewodzone i promieniowane.

Skrajne (lub awaryjne) warunki pracy, w których urządzenie awioniczne powinno pracować, lecz bez konieczności zachowania założonych parametrów, dotyczą zwykle:

- temperatury otoczenia,
- wartości napięcia zasilania i jego chwilowych zmian,
- wyładowań elektrostatycznych.

Urządzenie awioniczne może chwilowo zaprzestać pracy podczas wystąpienia narażeń w postaci:

- uderów eksploatacyjnych,
- przejściowych zaników lub znacznych spadków napięcia zasilania,
- wyładowań atmosferycznych,
- impulsów elektromagnetycznych wywołanych wybuchem jądrowym.

Konstruktor powinien zwrócić szczególną uwagę, aby na skutek pojawiającego się narażenia urządzenie nie generowało błędnych sygnałów lub wskazań, które mogą zmylić pilota lub spowodować fałszywe działanie urządzeń współpracujących. Wskazane jest, aby urządzenie przerywające pracę wytwarzało automatycznie sygnał błędu, który pozwoli na detekcję tego stanu przez inne przyrządy pokładowe. Gdy narażenie takie minie, urządzenie powinno samoczynnie wrócić do pracy z zachowaniem uprzednich parametrów (dla niektórych urządzeń dopuszcza się resetowanie przez załogę).

Eksplloatowane są również urządzenia niższej rangi, niemające bezpośredniego wpływu na bezpieczeństwo lotu, które mogą nie być wytrzymałe na ekstremalne narażenia. Dla nich nie jest konieczne wykonywanie prób w skrajnych, rzadko występujących warunkach.

Zachowanie się urządzeń awionicznych podczas zmiennych warunków środowiskowych jest badane podczas prób typu, przeprowadzanych obowiązkowo dla wyrobów lotniczych na podstawie obowiązujących norm. Starannie opracowane warunki techniczne, stanowiące podstawę badań, pozwalają na sprawdzenie pracy urządzeń w każdych przewidywanych warunkach eksploatacji. Przeprowadzane badania powinny uwzględniać też oddziaływanie urządzeń na otoczenie, w szczególności poprzez pomiar wytwarzanych zakłóceń elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości (przewodzonych i promieniowanych) i zakłóceń pola magnetycznego i dokonanie oceny, czy nie przekraczają one dopuszczalnych wartości.

2. Zachowanie się urządzeń w przypadku ich awarii

Eksplloatowane urządzenie może ulec awarii samoczynnie, np. w wyniku małej trwałości użytych elementów, albo na skutek nieprzewidywanych czynników zewnętrznych lub ich superpozycji. W przypadku nowoczesnych urządzeń awaria jest najczęściej wykrywana automatycznie, a pojawiający się sygnał błędu zapobiega błędnej interpretacji generowanych wskazań. Wykrywaniu awarii sprzyjają występujące najczęściej uszkodzenia katastroficzne, podczas których dochodzi do pełnego uszkodzenia elementów, powodującego pojawienie się sygnałów o skrajnej, nieprawdopodobnej wartości. Rzadziej występujące uszkodzenia parametryczne mogą być wykrywane podczas diagnostyki naziemnej wykonywanej okresowo. Nie mają one zazwyczaj dużego wpływu na bezpieczeństwo lotu, gdyż zmiany parametrów elementów (i w ślad za nimi wzrost błędów wskazań) następują powoli.

Rolą konstruktora jest zaprojektowanie takiego „self-testu” urządzenia, który pozwoli na wykrycie możliwie dużej części potencjalnych uszkodzeń. Nie ma jednak jednolitych zasad postępowania. Nieocenione pozostaje tu doświadczenie konstruktora, jego dokładna znajomość sposobu pracy urządzenia, zakresu zmienności wewnętrznych sygnałów, bardziej zawodnych elementów składowych (pomocne mogą być tu współczynniki niezawodności elementów). Konstruktor powinien umieć dokonać analizy wpływu uszkodzenia elementu na sygnały wyjściowe urządzenia oraz ocenić wpływ uszkodzenia na możliwość bezpiecznej kontynuacji lotu.

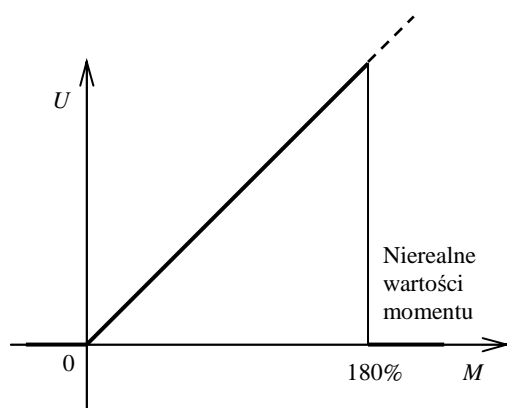
Wiele z eksplloatowanych urządzeń nie ma wbudowanych układów do wykrywania uszkodzeń, względnie kontrolują one tylko wybrany parametr. Dobrze, gdy mają one nieskomplikowaną konstrukcję, a tym samym większą niezawodność. Konstruktor analizujący ich pracę powinien zwrócić uwagę na możliwość

wystąpienia awarii, pociągającej za sobą pojawienie się sygnałów wyjściowych o istotnym znaczeniu, których nietypowa wartość może zaważyć na dalszym przebiegu lotu.

Nie każde uszkodzenie urządzenia pokładowego wpływa na bezpieczeństwo lotu statku powietrznego, zależne jest ono również od warunków lotu. Dlatego konstruktor powinien znać nie tylko wybrane urządzenie, ale też zasady jego współpracy z innymi przyrządami lub systemami pokładowymi. Powinien dążyć do wyeliminowania możliwości przypadkowego pojawienia się takich sygnałów, które grożą niebezpiecznymi konsekwencjami. W kolejnych akapitach przedstawiono kilka przykładów z praktyki autora.

Momentomierz UPM-100M

Momentomierz UPM-100M służy do pomiaru i wskazań wartości momentu obrotowego (M) dwóch silników śmigłowca, którego sygnały napięciowe (U) (rys. 1.) wykorzystuje się do wskazań momentu i automatycznej regulacji mocy tych silników. Ponadto wytwarza on pomocnicze sygnały dostarczające świetlnej informacji o przekroczeniu progów momentu każdego silnika, a także wykorzystywane przy rejestracji czasów pracy silników w wybranych zakresach momentu.



Rys. 1. Sygnał napięciowy w funkcji sygnału z czujnika momentu

Pojawienie się w warunkach awarii napięciowego sygnału momentu jednego silnika o wartości wyższej od rzeczywistej może doprowadzić do odcięcia paliwa do tego silnika, a nawet do jego wyłączenia w locie. Wewnętrzny układ kontrolny momentomierza ocenia, czy sygnał momentu ma wartość realną, w przeciwnym przypadku następuje jego zerowanie (przyjęto tu zakres pomiaru momentu od 0 do 180% wartości nominalnej, wartości ujemne nie występują w locie). Jednocześnie pojawia się czerwona chorągiewka na wskaźniku momentu WM-32DC świadcząca o awarii. Brak sygnału momentu, czyli jego zerowa wartość, nie stanowi zagrożenia, oznacza jednak konieczność ręcznego

sterowania mocą silników przez pilota. W tych warunkach możliwy jest lot do najbliższego lotniska.

W momentomierzu pilot ma możliwość sprawdzenia sprawności toru pomiarowego podczas lotu poprzez naciśnięcie przycisku TEST na wskaźniku. Brak sygnału pomocniczego (lub jego błędne wystąpienie), służącego do sygnalizacji świetlnej wejścia silnika w zakres momentu nadzwyczajnego (żółta lampka 1 lub 2 na wskaźniku) lub przekroczenia dopuszczalnej wartości momentu (czerwona lampka 1 lub 2), albo brak sygnału sterującego zliczaniem czasu pracy silnika w zakresie momentu startowego czy nadzwyczajnego stwarza pewną niedogodność w eksploatacji śmigłowca, nie ma jednak istotnego wpływu na bezpieczeństwo lotu, który powinien być kontynuowany zgodnie z planem.

Paliwomierz PPM-1

Paliwomierz realizuje pomiar masy paliwa w zbiornikach samolotu M-28 metodą pojemnościową. Składa się z 22 czujników poziomu paliwa obsługujących 8 zbiorników, z bloku pomiarowego, 2 wskaźników cyfrowych i wskaźnika analogowo-cyfrowego masy paliwa pozostałej w głównych zbiornikach. Największym zagrożeniem w pracy paliwomierza w przypadku awarii może być wskazanie większej ilości paliwa niż jest dostępna w rzeczywistości. Dlatego w torze pomiarowym każdego zbiornika układ kontrolny sprawdza, czy sygnał napięciowy ma realną wartość. Przyjęto, że pojawienie się sygnału przekraczającego pojemność zbiornika o kilkanaście procent świadczy już o wystąpieniu błędu, wtedy odbywa się zerowanie tego sygnału i pokazanie informacji o błędzie na odpowiednim wskaźniku. Sumaryczna mierzona masa paliwa jest wtedy niższa od rzeczywistej. Nie stwarza to większego niebezpieczeństwa, może jednak mobilizować pilota do skrócenia trasy lotu w niektórych sytuacjach.

Potencjalnie najczęściej może wystąpić uszkodzenie polegające na przerwaniu połączenia z jednym z czujników. Skutkuje to wskazaniem mniejszej ilości paliwa od rzeczywistej, stwarzając sytuację podobną do sygnalizowanej wcześniej. Paliwomierz posiada wbudowany układ testujący, który pozwala na kontrolę wskazań wskaźnika analogowego i sprawdzenie wyświetlaczy wskaźników cyfrowych.

Blok oświetlenia BRO-2

Jest to regulator napięcia przestrajany potencjometrem, który służy do ręcznego doboru jasności oświetlenia przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych w kabinie samolotu. Lot samolotu może być zagrożony na skutek pojawienia się maksymalnego oświetlenia przyrządów – oślepiającego pilota podczas lotu ciemną nocą, jak również braku oświetlenia – gdy nie widać wskazań przyrządów. Najbardziej zawodnym elementem w bloku jest potencjometr, w którym może wystąpić brak kontaktu suwaka. Aby zminimalizować skutki awarii, w bloku zastosowano takie połączenie potencjometru, przy którym wymienione

uszkodzenie skutkuje ustaleniem się napięcia zasilającego lampki przyrządów na minimalnej stosowanej wartości.

3. Minimalizacja skutków w przypadku awarii statku powietrznego

Konstrukcja urządzeń awionicznych powinna uwzględniać także ich zachowanie w sytuacji, gdy znajdują się na pokładzie statku powietrznego ulegającego awarii. Zagadnienia te zostały ujęte w normach lotniczych, ale ich pełne uwzględnienie wymaga też wiedzy i wyobraźni konstruktora.

Sytuacją taką jest awaryjne lądowanie, gdy występują znaczne udary (do 15 g) i przeciążenia liniowe (do 12 g) [3]. Wówczas pokładowe urządzenia awioniczne nie mogą powodować zagrożenia mechanicznego: wyrwać się z zamocowań, rozpaść się na części itp. Naturalnym zjawiskiem jest zaś ich uszkodzenie. Konstruktor powinien też rozważyć, czy nie będą one stanowiły wtórnego zagrożenia, np. przez samozapłon czy pojawienie się na ich złączach sygnałów elektrycznych o nieprawidłowej wartości, które mogą spowodować w następstwie niebezpieczną reakcję innych urządzeń pokładowych.

Jeżeli urządzenia te znajdują się w zasięgu personelu lub pasażerów, ich konstrukcja powinna zapobiegać poważnemu zranieniu w przypadku zderzenia z ciałem człowieka. Dlatego nie powinny one mieć ostrych krawędzi ani innych wystających, ostrych części. Awaryjną sytuacją jest też pożar na pokładzie samolotu. Urządzenia awioniczne nie mogą być wykonane z materiałów łatwopalnych, które podtrzymywałyby oddziałujący na nie płomień.

4. Uwagi końcowe

Konstruktor urządzeń awionicznych powinien uwzględniać ich zachowanie nie tylko podczas eksploatacji w różnych warunkach środowiskowych, ale także w możliwych do przewidzenia awaryjnych sytuacjach. Nieocenione są tu wiedza i doświadczenie, a często też intuicja konstruktora, wykraczające poza znajomość zaprojektowanego urządzenia, lecz obejmujące działanie innych przyrządów pokładowych. W przeciwnym przypadku urządzenie to może stać się elementem w łańcuchu zdarzeń pogłębiających skutki zaistniałej awarii lub katastrofy.

Literatura

- [1] Joint Aviation Authorities, JAR-21, Certification procedures for aircraft and related products and parts, Amendment, no 7, 2007.
- [2] MIL Standards.

- [3] RTCA/DO-160E: Environmental conditions and test procedures for airborne equipment, Washington 2004.

QUESTION OF SAFETY IN DESIGNING OF AVIONIC DEVICES

A b s t r a c t

The design engineer of aircraft board devices, usually considers their accuracy and manner of operation in various environmental conditions, what is required by applied aviation standards. However, he should also take into consideration extreme situations, which the device may meet. These are composed of crash landing, fire on deck, as well as break-down of designed device, self-dependend or caused by surroundings. Then the device cannot make any hazard for people by itself, including indirect effect, by generating of output electric signals, which could mislead the pilot or cause the malfunction of flying controls.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w sierpniu 2011 r.