

Marta MACIEJEWSKA, Paweł FUĆ, Marta GALANT, Monika KARDACH
Poznan University of Technology (Politechnika Poznańska)

USE OF FAULTLESSNESS INDICATOR TO RATE HUMAN RELIABILITY IN HUMAN – OPERATING AIRCRAFT SYSTEM

Wykorzystanie wskaźnika bezbłędności do oceny niezawodności człowieka w układzie człowiek – obsługa statku powietrznego

Abstract: In the M–T–E (man – technology – environment) system, human has a main influence on aircraft. In the article focused on M–T relations, which means human – technology, more accurately on a man impact on a plane, which is specify as human factor [3]. The role of human in this system can lead to an accident, caused by human mistake. In this article fa main question is how man effects on maintenance aircraft. To purpose the analysis the research was made with use of technical object – a simulator, which is located in Simulator Research Laboratory in Institute of Combustion Engines and Transport at Poznan University of Technology. The subject of analysis was a correctness of performing procedures, which every pilot is obligated to make before start operation. Based on tabular research result the analysis of chosen area was made.

Keywords: human mistake, aircraft support, faultlessness indicator

Streszczenie: W układzie M–T–E na obiekty techniczne główne oddziaływanie ma operator. W artykule skupiono się na relacji M–T, czyli człowiek – maszyna, a dokładniej na wpływie operatora na statek powietrzny, co określa się jako czynnik ludzki [3]. Rola jednostki w tym układzie może prowadzić do powstania wypadku spowodowanego błędem ludzkim. W artykule analizie poddano oddziaływanie człowieka na obsługę statku powietrznego. W celu dokonania analizy przeprowadzono badania z wykorzystaniem obiektu technicznego – symulatora, znajdującego w Laboratorium Badań Symulatorowych w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Analizie poddano poprawność wykonywania procedur, które każdy pilot realizuje przed operacją startu. Na podstawie tabelarycznych wyników badań dokonano analizy niezawodności wybranego obszaru przy użyciu wskaźnika bezbłędności.

Słowa kluczowe: błąd ludzki, obsługa statku powietrznego, wskaźnik bezbłędności

1. Introduction

In M–T–E (man – technology – environment) system, for technical object main effect has human. Around the 1950s, began research focuses on mistakes committed in the human-machine system, which largely concerned pilots. Based on the research Mr. P.M. Fitts created 4 categories of mistakes: quality mistakes, quantitative mistakes, mistakes consisting in stopping the work of the human-machine system, sequential mistakes [6]. The article focuses on the M–T relation (fig. 1), which means human - machine, or more precisely on the influence of the operator on the aircraft, which is referred to as the human factor [3]. The role of an individual in this system can lead to an accident caused by human mistakes, which is defined as: “the existence of a general agreement (agreement) that a man should have done something other than what he did” [3]. The article analyzes the impact of man on the operation of the aircraft. A mistake in operating can be defined as: “action (act) or lack of it (inaction) on the part of personnel that leads to problems on board the aircraft” [3].

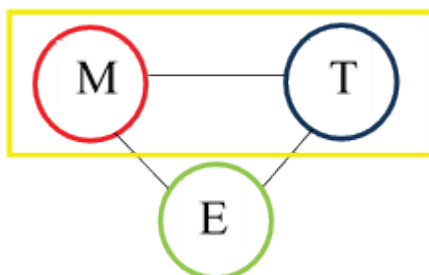


Fig. 1. Scheme of the M–T–E system with the analysis area selected

When analyzing human mistakes in the man - technology system, it is necessary to focus on the reliability of such a system. The reliability of a technical object in the normative sense is the property determined by the probability of fulfill the requirements. Therefore, it is an assessment of a given object expressed in the value of the probability [6]. On the other hand, human reliability is defined as: “the ability to perform entrusted tasks with the minimum risk of mistake, in certain conditions and at a specific time” [6]. Analyzing the reliability of the human-machine system, it should be remembering about all the special features that the object of analysis has, it means human.

2. Research methodology and analysis area

2.1. Research object

In order to assess the reliability of a man in a man – operating of the aircraft was carried out relevant studies. The research object performing the role of an aircraft was the Simulator CKAS MotionSim 5 located in the Laboratory of Simulator Research at the Poznan University of Technology (fig. 2).

The device has a system with the software and devices, which allows to combine the cockpit equipped and controls mapped to such as in a real airplane with the advantages of a desktop computer placed on the platform [5]. The simulator is programmed to recreate the operation of four types of light aircraft [4]:

- plane with one piston engine, e.g. Piper PA28 Arrow and Cessna 172,
- plane with two piston engines, e. g Piper PA44 Seminole and Beechcraft Baron,
- a plane with two turboprop engines, e.g. Beechcraft KingAir,
- a jet plane, e.g. Learjet 45 and Cessna Citation Jet.

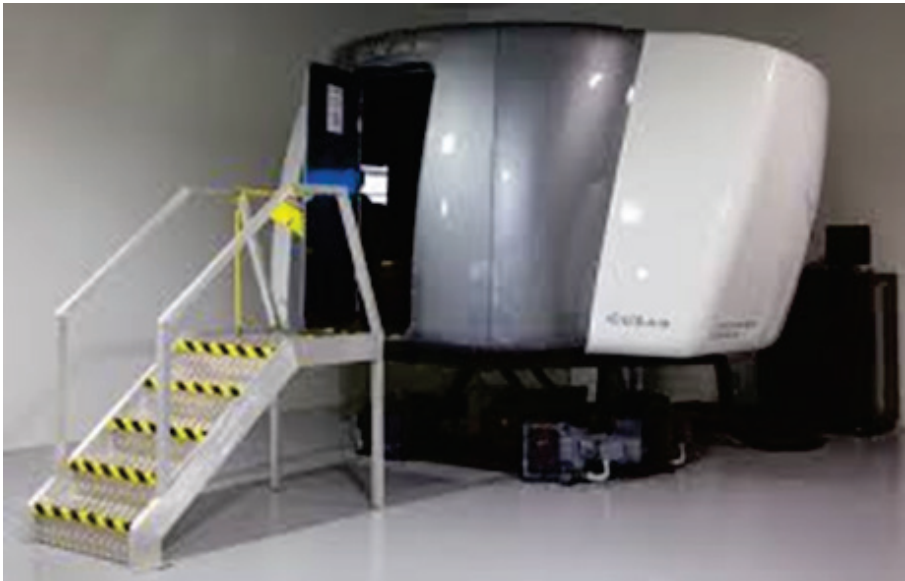


Fig. 2. Research object [4]

To carry out the research was used a module, which simulate the operation of an aircraft with one piston engine, such as Cessna 172. The research stand is shown in fig. 3.



Fig. 3. Research stand

2.2. Research process

The correctness of performing procedures that each pilot performs before the start operation was analyzed. These procedures were selected from the Manual Instruction of the Cessna 172 aircraft and adapted to the capabilities of the research object. The research group consisted of 24 simulator pilots. Persons from the research group were presented the procedures and their correctness. Then, by each of the respondents, procedures were carried out. According to the Manual Instruction procedures are divided into three groups: procedures before starting the engine, procedures for starting the engine and procedures before the start. List of simulator activities performed by pilots [1]:

Procedures before starting engine:

1. Armchairs, lap and shoulder belts - SET AND CLAMPED
2. Fuel supply shutoff valve - OFF
3. Radio switch and electrical equipment - OFF
4. Brakes - TRY AND WIN
5. Automatic fuses - CHECKED

Procedures for starting the engine:

6. Mixing lever - RICH
7. Throttle lever - OPEN ON 1/2 INCH
8. Main switch of the electrical system - ON (ON)
9. Starter switch - STARTING * release after starting the engine
10. Throttle lever - SET to 1000 rpm or less

11. Oil pressure – CHECK

Procedures before start:

12. Parking brake - SETTING

13. Door in the cabin - CLOSED AND BLOCKED

14. Control systems - FREE and CORRECTIVE

15. Pilot instruments - SETTING

16. Fuel shutoff valve - ON (ON)

17. Mixing lever - RICH

18. Height trimmers – TO START

19. Throttle lever - 1700 rpm

20. Engine instruments and ammeter - CHECKED

21. Under pressure indicator - CHECK if the indications are in the green field

22. Radio stations - SET

23. Brakes – RELEASE

3. Evaluation of the reliability of the selected analysis area, based on the faultlessness indicator

3.1. Human reliability indicators

Referring to the division of human mistakes according to categories created by P. M. Fitts, the analyzed mistake, made during the performing of procedures belong to the group of quantitative mistakes. According to B. F. Łomow, the quantitative indicators of human reliability are [2]: the readiness, restitution rate, faultlessness and timeliness. The readiness indicator is defined as the probability of the operator joining in at any moment and is described by the following formula:

$$K = 1 - \frac{T_0}{T}, \quad (1)$$

where: K - readiness indicator, T - full time of operator work, T_0 - time of turn off the operator from work, his absence in any moment.

Another indicator is the restitution indicator. It is the possibility of self-control of the operator and making corrections in operation [2]. Restitution is described as the probability of correcting mistakes made by the operator.

$$P_{pop} = P_k \cdot P_{wyk} \cdot P_p' \quad (2)$$

where: P_{pop} - the probability of the operator getting action after the mistake occurred, to correct it, P_k - the probability of sending a signal by controlling mechanism, P_{wyk} - the probability of the operator detecting a signal coming from the controlling device, P_p - the probability of correcting mistakes operation on their re-performed.

An important element in assessing human reliability is the timeliness indicator. This is the probability of completing tasks in time $\tau < t_l$. The timeliness indicator is described by formula [2]:

$$P_a = P\{\tau < t_l\} = \int_0^{t_l} f(\tau) d\tau \quad (3)$$

where: P_a - the probability of timeliness, $f(\tau)$ - function of the time schedule of task performed by the operator.

The most important indicator in the assessment is the faultlessness indicator. It is defined as the probability of non-mistakes operator's work and can be determined in relation to the individual operation as well as to the entire activity algorithm. When analyzing the reliability of the human – operating aircraft system, the faultlessness indicator was used, because based on it, the assessment of system reliability can be done most effectively.

The faultlessness indicator is described by follow formula [2]:

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j} \quad (4)$$

where: N_j - general number of performed operations, n_j - number of commit mistakes

3.2. Results and analysis of research

To achieve the analysis of reliability of the man - aircraft operating system data necessary to perform calculations is presented in tabular form (table 1).

Table 1

The data to carry out the analysis

Number of operators	24
Number of operations	23
Sum of performed actions	552
Sum of committed mistakes	67
Average number of mistakes	3

I was decided to related analysis to both options: o the whole algorithm of activities (performance by 23 simulator pilots) and to a particular operation (the number of mistakes committed per operation). Using the formula (4), the faultlessness indicator (P_j) was calculated, referring to the whole algorithm of activities, for each person from the research groups.

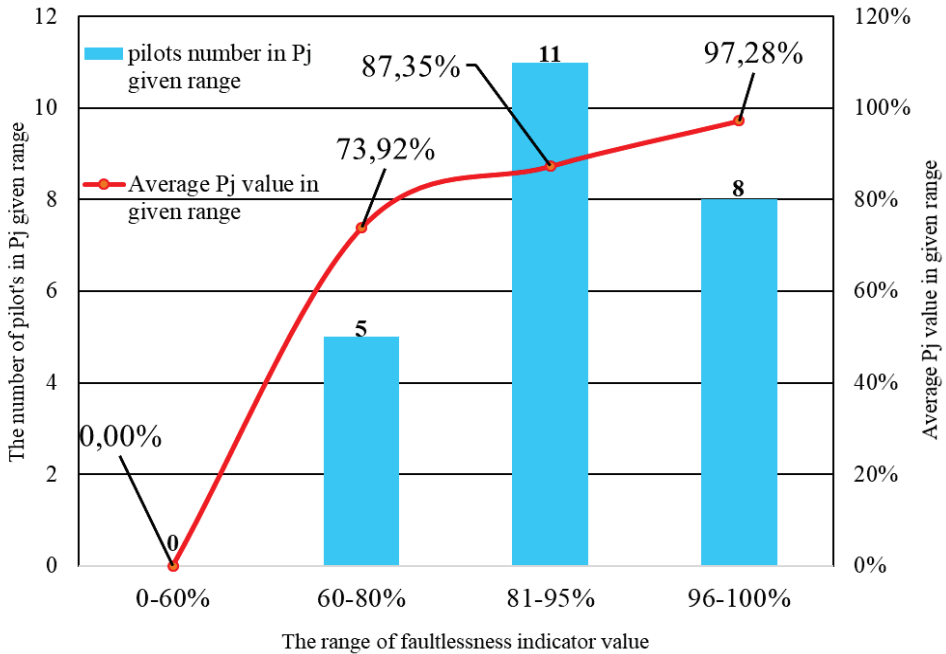


Fig. 4. Faultlessness indicator in chosen system

On the basis of the obtained results, the indicator values were divided into 4 groups: 0 - 60%, 61 - 80%, 81 - 95%, 96% - 100% (fig. 4). As it should be noted, the largest group is the values of the faultlessness indicator in the range of 81 - 95%, which is in line with the general average P_j indicator of 88%. None of the respondents reached the value of the faultlessness indicator below 60%, which indicates a high level of human reliability in the studied group and a good preparation of simulator pilots for performed operations. The standard deviation for the obtained result group was also calculated. It amounted to 9.2%. It can be deduced from this that the P_j indicator in the studied group is scattered slightly in relation to its average value.

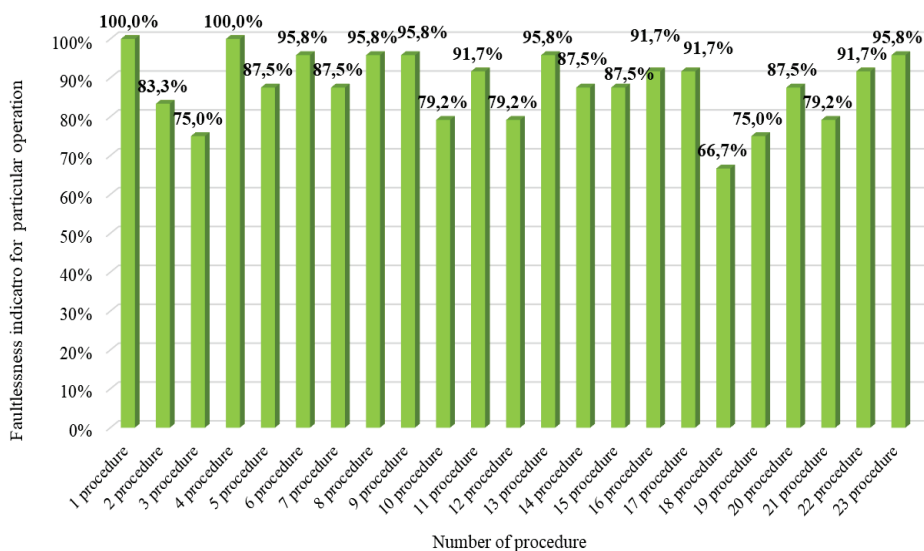


Fig. 5. Faultlessness indicator for particular operation

Using the same formula as previously (4), the analysis was referred to a particular operation. Fig. 5 shows the percentage value of the faultlessness indicator for each performed procedure. It should be noted that the lowest P_j indicator, which means the highest degree of difficulty in terms of correct performed, was procedure 18. This was a procedure related to the correct setting of the height trimmers to take off. The next procedures with the faultlessness indicator below 88% (the average value of the P_j indicator) were operations number 3 and 19. They concerned to the turn on radio station and the setting of the throttle at the appropriate rotational speed. In the case of procedure 19, the mistake generally referred the incorrect setting of the speed value, rather than the total omission of the operation. The procedure 10 and 12 was also difficult. In the first case, the irregularity of performance was the same as in procedure 19. In the second case, the simulator pilots forgot to set the parking brake.

4. Conclusions

The article reviews the reliability of the human - aircraft operating system. To achieve the assessment, research was carried out and an analysis of their results was carried out. The analysis was based on the use of the faultlessness indicator, which is one of the human reliability indicators. The article focuses on the faultlessness of simulator pilots whose task was to pre-start operating the aircraft. The analysis

was carried out in two aspects: in relation to the entire activity algorithm and to the particular operation.

The conclusions the analysis carried out in relation to the whole algorithm activity will concern the number of mistakes made by people from the research group. The average faultlessness indicator was high (88%), and none of the respondents reached the indicator below 60%. This proves that pilots are very well prepared for the activities performed. Based on the results, it should be stated that the information contained in the manual instructions for the use of aircraft are clear and precise, and pilots have no difficulty understanding and performing the procedures contained there.

The second part of the analysis referred to the faultlessness indicator for a particular operation. As can be seen, if any activity was incorrectly performed, then most often it concerned a few pilots (faultlessness indicator for the procedure 18 – 66%). However, only two procedures were performed without mistake. Due to the analysis from the side of a particular activity, can be notice some difficulties in performing particular operations, which was less visible in the case of the analysis of the entire algorithm.

In summary, we should strive to achieve the highest values of indicators in human-machine systems. The level of reliability of such systems is very "unstable", even seemingly insignificant errors interfere with the operation of the entire system. The most sensitive point in such a system is of course man. Focusing on the group of people who are pilots, it is necessary to constantly improve training and make pilots aware of how important it is to carry out the plane's operation in a pre-and-out manner, thus ensuring a high level of reliability of human-machine systems in aviation.

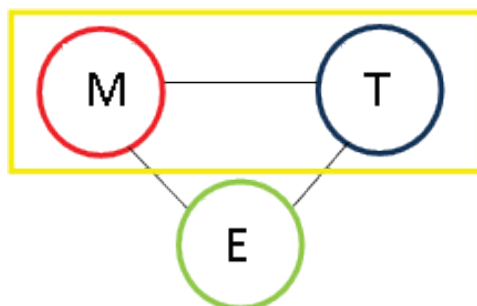
5. References

1. CKAS Flight Simulator Operating Manual.
2. Ignac-Nowicka J., Gembalska-Kwiecień A.: *Niezawodność człowieka i niezawodność techniczna w procesie pracy układu człowiek - maszyna*. Inżynieria Systemów technicznych, 2014.
3. Lewitowicz J., Żyłuk A.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*, tom 3. ITWL, Warszawa 2006.
4. Merkisz J., Galant M., Bieda M.: *Analysis of operating instrument landing system accuracy under simulated conditions*. Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp., vol. 94, 2017.
5. *Pilot's Operating Handbook Cessna 152*.
6. Ratajczak Z.: *Niezawodność człowieka w pracy*. Studium psychologiczne. PWN, Warszawa 1988.

WYKORZYSTANIE WSKAŹNIKA BEZBŁĘDNOŚCI DO OCENY NIEZAWODNOŚCI CZŁOWIEKA W UKŁADZIE CZŁOWIEK – OBSŁUGA STATKU POWIETRZNEGO

1. Wstęp

W układzie M–T–E (z ang. man – technology – environment) na obiekty techniczne główne oddziaływanie ma operator. Już około lat 50. XX wieku zaczęto prowadzić badania dotyczące błędów popełnianych w układzie człowiek – maszyna, które w dużej mierze dotyczyły pilotów. Na podstawie ówczesnych badań P.M. Fitts stworzył cztery kategorie błędów: błędy jakościowe, błędy ilościowe, błędy polegające na zatrzymaniu się pracy układu człowiek – maszyna, błędy sekwencyjne [6]. W artykule skupiono się na relacji M–T (rys. 1), czyli człowiek – maszyna, a dokładniej na wpływie operatora na statek powietrzny, co określa się jako czynnik ludzki [3]. Rola jednostki w tym układzie może prowadzić do powstania wypadku, spowodowanego błędem ludzkim, który definiuje się jako: „istnienie ogólnej zgody (porozumienia) co do tego, że człowiek powinien był zrobić coś innego niż to, co zrobił” [3]. W artykule analizie poddano oddziaływanie człowieka na obsługę statku powietrznego. Błąd w obsłudze można zdefiniować, jako: „działanie (czyn) lub jego brak (bezczynność) ze strony personelu, które prowadzi do problemów na pokładzie statku powietrznego” [3].



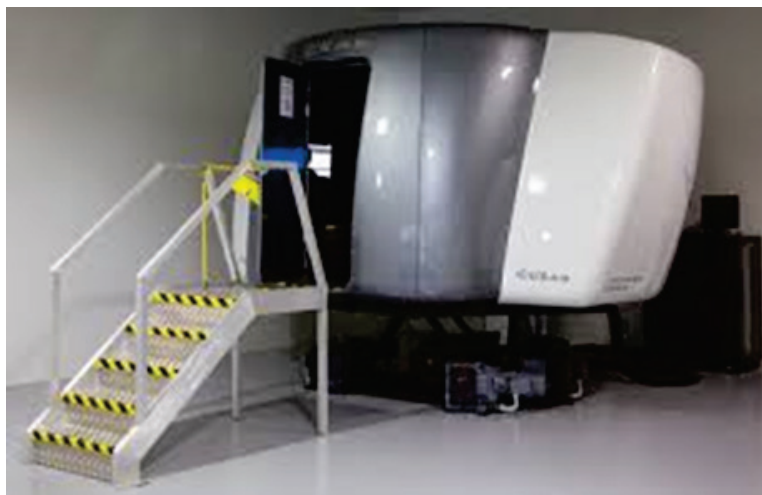
Rys. 1. Schemat układu M–T–E z zaznaczeniem wybranego obszaru analiz

Podczas analizy błędów człowieka w układzie człowiek – maszyna konieczne jest skupienie się na niezawodności takiego systemu. Niezawodność obiektu technicznego w sensie normatywnym to własność określona przez prawdopodobieństwo spełnienia wymagań. Jest więc oceną danego obiektu wyrażoną wielkością prawdopodobieństwa [6]. Niezawodność człowieka natomiast definiuje się jako „zdolność do wykonywania powierzonych zadań z minimalnym ryzykiem błędu, w określonych warunkach i w określonym czasie” [6]. Analizując niezawodność układu człowiek – maszyna, należy pamiętać o wszystkich szczególnych cechach, jakie posiada obiekt analiz, czyli człowiek.

2. Metodyka badań i obszar analiz

2.1. Obiekt badawczy

W celu oceny niezawodności człowieka w układzie człowiek – obsługa statku powietrznego przeprowadzono odpowiednie badania. Obiektem badawczym odgrywającym rolę statku powietrznego był symulator CKAS MotionSim 5 znajdujący się w Laboratorium Badań Symulatorowych na Politechnice Poznańskiej (rys. 2).



Rys. 2. Obiekt badawczy [4]

Urządzenie to posiada system z odpowiednim oprogramowaniem i urządzeniami, co pozwala połączyć kokpit wyposażony w sprzęt i elementy steru-

jące odwzorowane tak jak w prawdziwym samolocie z zaletami komputera stacjonarnego umieszczonego na platformie ruchowej [5]. Symulator jest zaprogramowany do odtwarzania pracy czterech typów samolotów lekkich [1]:

- samolot z jednym silnikiem tłokowym, np. Piper PA28 Arrow i Cessna 172,
- samolot z dwoma silnikami tłokowymi, np. Piper PA44 Seminole i Beechcraft Baron,
- samolot z dwoma silnikami turbośmigłowymi, np. Beechcraft KingAir,
- samolot odrzutowy, np. Learjet 45 i Cessna Citation Jet.

Do przeprowadzenia badań skorzystano z modułu umożliwiającego symulację pracy samolotu z jednym silnikiem tłokowym, takim jak Cessna 172. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Stanowisko badawcze

2.2. Przebieg badań

Analizie poddano poprawność wykonywania procedur, które każdy pilot realizuje przed operacją startu. Zostały one wybrane z instrukcji użytkownika samolotu typu Cessna 172 i dostosowane do możliwości obiektu badawczego. Grupa badawcza składała się z 24 pilotów symulatorowych. Osobom z grupy badawczej zostały przedstawione dokładnie procedury lotnicze oraz poprawność ich wykonywania. Następnie, przez każdego z badanych, wykonywane były procedury, które zgodnie z Instrukcją podzielone są na trzy grupy: procedury przed uruchomieniem silnika, procedury uruchomienia silnika oraz procedury przed startem. Spis wykonywanych przez pilotów symulatorowych czynności [1]:

Procedury przed uruchomieniem silnika:

1. Fotele oraz pasy biodrowe i barkowe – USTAWIONE I ZAPIĘTE
2. Zawór odcinający dopływ paliwa – WŁĄCZONY (ON)
3. Włącznik radiostacji i wyposażenie elektryczne – WYŁĄCZONE (OFF)
4. Hamulce – WYPRÓBUJ I ZACIĄGNIJ
5. Bezpieczniki automatyczne – SPRAWDZONE

Procedury uruchamiania silnika:

6. Dźwignia składu mieszanki – BOGATA
7. Dźwignia przepustnicy – OTWARTA NA 1/2 CALA
8. Główny włącznik instalacji elektrycznej – WŁĄCZONY (ON)
9. Włącznik rozrusznika – URUCHAMIANIE (START)* zwolnić po uruchomieniu silnika
10. Dźwignia przepustnicy – USTAW na 1000 obr/min lub mniejsze
11. Ciśnienie oleju – SPRAWDZIĆ

Procedury przed startem:

12. Hamulec postojowy – USTAWIONY
13. Drzwi w kabinie – ZAMKNIĘTE I ZABLOKOWANE
14. Układy sterowania – SWOBODNE I POPRAWNE
15. Przyrządy pilotażowe – USTAWIONE
16. Zawór odcinający dopływ paliwa – WŁĄCZONY (ON)
17. Dźwignia składu mieszanki – BOGATA
18. Trymery steru wysokości – DO STARTU
19. Dźwignia przepustnicy – 1700 obr/min
20. Przyrządy silnikowe i amperomierz – SPRAWDZONE
21. Wskaźnik podciśnienia – SPRAWDŹ, czy wskazania są na zielonym polu
22. Radiostacje – USTAWIONE
23. Hamulce – ZWOLNIONE

3. Ocena niezawodności wybranego obszaru analiz na podstawie wskaźnika bezbłędności

3.1. Wskaźniki niezawodności człowieka

Odnosząc się do podziału błędów ludzkich według kategorii stworzonych przez P. M. Fittsa, analizowane błędy podczas wykonywania procedur należą do grupy błędów ilościowych. Według B.F. Łomowa wskaźnikami ilościowymi nie-

zawodności człowieka są [2]: wskaźnik gotowości, restytucji, bezbłędności i aktualności. Wskaźnik gotowości definiuje się jako prawdopodobieństwo włączenia się operatora do działania w dowolnym momencie i wyraża się wzorem:

$$K = 1 - \frac{T_0}{T} \quad (1)$$

gdzie: K - wskaźnik gotowości, T - całkowity czas pracy operatora, T_0 - czas wyłączenia się operatora z pracy, jego nieobecności w dowolnym momencie.

Wskaźnik restytucji jest to możliwość samokontroli operatora i dokonywania poprawek w działaniu [2]. Restytucja wyrażona jest jako prawdopodobieństwo poprawienia dokonanych przez operatora błędów.

$$P_{pop} = P_k \cdot P_{wyk} \cdot P_p' \quad (2)$$

gdzie: P_{pop} - prawdopodobieństwo włączenia się operatora do działania po pojawieniu się błędu w celu skorygowania, P_k - prawdopodobieństwo wysłania sygnału przez mechanizm kontrolujący, P_{wyk} - prawdopodobieństwo wykrycia przez operatora sygnału pochodzącego z urządzenia kontrolującego, P_p' - prawdopodobieństwo skorygowania błędnych operacji przy powtórnym ich wykonaniu.

Istotnym elementem oceny niezawodności człowieka jest wskaźnik aktualności. Jest to prawdopodobieństwo wykonania zadań w czasie $\tau < t_l$. Wskaźnik aktualności wyraża się następująco [2]:

$$P_a = P\{\tau < t_l\} = \int_0^{t_l} f(\tau) d\tau \quad (3)$$

gdzie: P_a - prawdopodobieństwo aktualności, $f(\tau)$ - funkcja czasowego rozkładu wykonania zadania przez operatora.

Najistotniejszym wskaźnikiem w dokonywanej ocenie jest wskaźnik bezbłędności. Definiuje się go jako prawdopodobieństwo bezbłędnej pracy operatora i można je wyznaczyć w odniesieniu do poszczególnej operacji, jak i do całego algorytmu czynności. Analizując niezawodność układu człowiek – obsługa statku powietrznego wykorzystano wskaźnik bezbłędności, ponieważ na jego podstawie najefektywniej dokonuje się oceny niezawodnościowej układu.

Wskaźnik bezbłędności wyraża się wzorem [2]:

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j} \quad (4)$$

gdzie: N_j - ogólna liczba wykonanych operacji, n_j - liczba popełnionych błędów.

3.2. Wyniki i analiza wykonanych badań

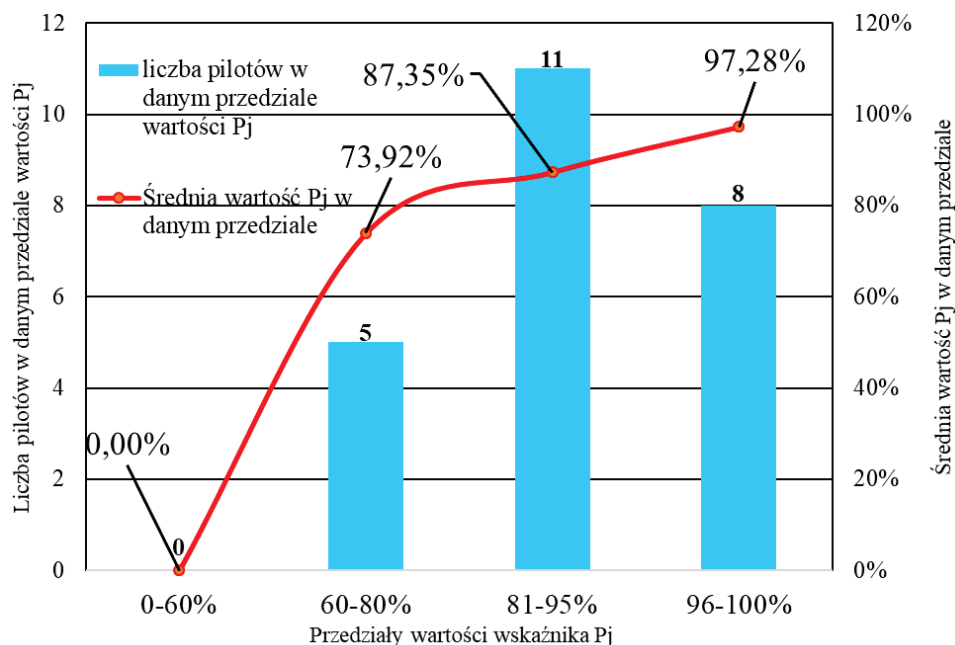
W celu dokonania analizy niezawodności układu człowiek – obsługa statku powietrznego dane niezbędne do wykonania obliczeń przedstawiono w postaci tabelarycznej (tabela 1).

Tabela 1

Dane do analizy

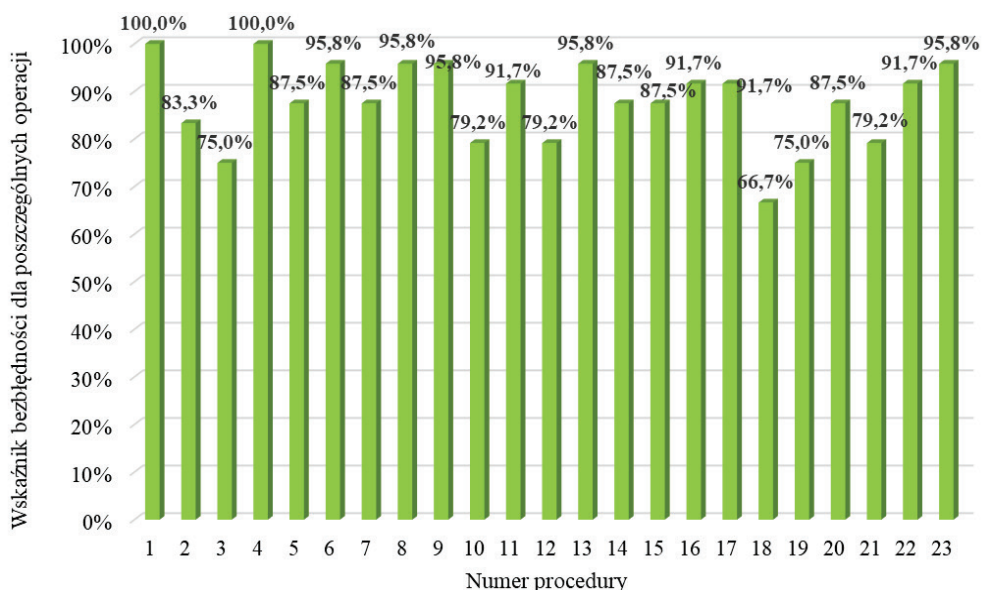
Liczba operatorów	24
Liczba operacji	23
Suma wykonanych operacji	552
Suma liczby błędów	67
Średnia liczba błędów	3

Analizę postanowiono odnieść zarówno do całego algorytmu czynności (wykonanie przez pilotów symulatorowych 23 czynności), jak i do poszczególnej operacji (liczba popełnionych błędów przypadająca na daną operację). Korzystając ze wzoru (4), obliczono wskaźnik bezbłędności (P_j) odnoszący się do całego algorytmu czynności, dla każdej osoby z grup badawczej.



Rys. 4. Wskaźnik bezbłędności w wybranym układzie

Na podstawie uzyskanych wyników podzielono wartości wskaźnika na cztery grupy: 0–60%, 61–80%, 81–95%, 96–100% (rys. 4). Jak należy zauważyć, największą grupę stanowią wartości wskaźnika bezbłędności w przedziale 81–95%, co jest zgodne z ogólnym średnim wskaźnikiem P_j wynoszącym 88%. Żaden z badanych nie osiągnął wartości wskaźnika bezbłędności poniżej 60%, co świadczy o wysokim stopniu niezawodności człowieka w badanej grupie i dobrym przygotowaniu pilotów symulatorowych do wykonywanych operacji. Dokonując analizy, obliczono także odchylenie standardowe dla uzyskanej grupy wyników. Wyniosło ono 9,2%. Można na tej podstawie wnioskować o niewielkim rozproszeniu wskaźnika P_j w badanej grupie w stosunku do jego wartości średniej.



Rys. 5. Wskaźnik bezbłędności dla poszczególnych operacji

Przy użyciu tego samego wzoru jak poprzednio (4) analizę odniesiono do poszczególnych operacji. Na rys. 5 przedstawiono procentową wartość wskaźnika bezbłędności dla każdej wykonywanej procedury. Należy zauważyć, iż najniższy wskaźnik P_j , czyli największy stopień trudności pod względem prawidłowego wykonania stanowiła procedura 18. Była to procedura związana z prawidłowym ustawieniem trymerów wysokości do startu. Kolejnymi procedurami z wskaźnikiem bezbłędności poniżej 88% (średnia wartość wskaźnika P_j) były operacje nr 3 i 19. Dotyczyły włączania radiostacji oraz ustawienia przepustnicy na odpowiednią prędkość obrotową. W przypadku procedury 19 błąd dotyczył głównie błędnego ustawienia wartości

prędkości obrotowej, a nie całkowitego pominięcia operacji. Trudność sprawiły również procedura 10 i 12. W pierwszym przypadku nieprawidłowość wykonania polegała na tym samym, co w procedurze 19. W drugim przypadku natomiast piloci symulatorowi zapominali o ustawieniu hamulca postojowego.

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule dokonano oceny niezawodności układu człowiek – obsługa statku powietrznego. W celu przeprowadzenia oceny wykonano odpowiednie badania i przeprowadzono analizę ich wyników. Analiza opierała się na wykorzystaniu wskaźnika bezbłędności, będącego jednym z wskaźników niezawodności człowieka. W artykule skupiono się na bezbłędności pilotów symulatorowych, których zadaniem była przedstartowa obsługa samolotu. Analizy dokonano w dwóch aspektach: w odniesieniu do całego algorytmu czynności oraz do poszczególnej operacji.

Wnioski z analizy przeprowadzonej w odniesieniu do całego algorytmu czynności będą dotyczyły liczby błędów wykonanych przez osoby z grupy badawczej. Średni wskaźnik bezbłędności był na wysokim poziomie (88%), a nikt z badanych nie osiągnął wskaźnika poniżej wartości 60%. Świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu pilotów do wykonywanych czynności. Na podstawie wyników należy stwierdzić, że informacje zawarte w instrukcjach użytkowania statków powietrznych są jasne i precyzyjne, a piloci nie mają trudności z ich rozumieniem i wykonywaniem poleceń w nich zawartych.

Druga część analizy odnosiła się do wskaźnika bezbłędności dla poszczególnej operacji. Jak można zauważyć, jeśli któraś czynność była niepoprawnie wykonywana, wówczas dotyczyło to przynajmniej kilku pilotów (wskaźnik bezbłędności dla procedury 18–66%). Jednak tylko dwie procedury zostały wykonane bezbłędnie. Dzięki podejściu do analizy od strony poszczególnej czynności można zauważyć pewne trudności w wykonywaniu poszczególnych operacji, co było mniej widoczne w przypadku analizy całego algorytmu.

Reasumując, należy dążyć do osiągania jak najwyższych wskaźników bezbłędności w układach człowiek – maszyna. Poziom niezawodności takich układów jest bardzo „niestabilny”, nawet z pozoru nieistotne błędy zaburzają pracę całego systemu. Najbardziej newralgicznym punktem w takim układzie jest oczywiście człowiek. Skupiając się na grupie ludzi, jaką są piloci, konieczne jest ciągłe ulepszanie szkoleń i uświadamianie pilotom, jak ważne jest, aby precyzyjnie i zgodnie ze wskazówkami wykonywać obsługę samolotu, tym samym zapewniając wysoki poziom niezawodności systemów człowiek – maszyna w lotnictwie.

5. Literatura

1. CKAS Flight Simulator Operating Manual. Instrukcja obsługi symulatora CKAS.
2. Ignac-Nowicka J., Gembalska-Kwiecień A.: Niezawodność człowieka i niezawodność techniczna w procesie pracy układu człowiek - maszyna. Inżynieria Systemów technicznych, 2014.
3. Lewitowicz J., Żyluk A.: Podstawy eksploatacji statków powietrznych, tom 3. ITWL, Warszawa 2006.
4. Merkiś J., Galant M., Bieda M.: Analysis of operating instrument landing system accuracy under simulated conditions. Sci. J. Silesian Univ. Technol. Ser. Transp., vol. 94, 2017.
5. Pilot's Operating Handbook Cessna 152. Instrukcja obsługi samolotu Cessna 152.
6. Ratajczak Z.: Niezawodność człowieka w pracy. Studium psychologiczne. PWN, Warszawa 1988.