

## **Streszczenie**

W pracy doktorskiej poruszono problematykę integracji bezzałogowych nieautonomicznych statków powietrznych w przestrzeni powietrznej kontrolowanej. Celem pracy było określenie obwiedni osiągow i cech konstrukcyjnych RPA spełniających wymagania integracji z lotnictwem załogowym w jednolitej przestrzeni powietrznej. Obiektem badań były samoloty bezzałogowe małe i średnie (MTOM=25-450kg). Zidentyfikowano różnice w osiąгах RPA względem statków załogowych. Przeprowadzono badania wpływu obecności RPA na załogowy ruch lotniczy oraz możliwości integracji w procedurach projektowanych dla lotnictwa załogowego. Jako krytyczny element przestrzeni kontrolowanej wybrano procedury odejścia i podejścia z lotnisk kontrolowanych (SID i STAR) – posiadają segmenty zniżania, wznoszenia, lotu poziomego oraz zróżnicowane manewry.

Problem opisano w ujęciu analizy systemowej, wyodrębniając system RPA-SID/STAR-atmosfera. Zbudowano modele RPA oraz procedur SID i STAR. Model RPA uwzględniał trajektorię lotu, osiągi w locie ustalonym, geometrię płatowca, charakterystyki aerodynamiczne, zespół napędowy, masy i obciążenia. Określono minimalną liczbę trzech zmiennych decyzyjnych modelu RPA, tj. masy startowej, obciążenia powierzchni oraz obciążenia mocy. Model procedur SID i STAR uwzględniał proceduralną trajektorię oraz obszar tolerancji. Określono referencyjny kształt proceduralnej trajektorii wykorzystując statystykę istniejących procedur oraz wytyczne projektowania procedur. Wykorzystaną metodą badawczą były symulacje szybkie (FTS), która umożliwiła badanie wielu wariantów RPA w zróżnicowanych procedurach i warunkach wiatru. Zbudowano oprogramowanie symulacyjne w środowisku Matlab, w którym dokonano implementacji numerycznej modeli RPA, SID i STAR. Określono kryteria oceny integracji (PI) w dwóch obszarach rozwoju ATM, tj. bezpieczeństwa i efektywności. Metryką oceny bezpieczeństwa było podążanie RPA wzdłuż trajektorii proceduralnej (położenie względne). Metrykami oceny efektywności były czas lotu RPA względem samolotu załogowego w procedurach SID i STAR oraz zgodność z kategorią prędkościową A statków powietrznych (wg. ICAO).

Rezultatem pracy było zidentyfikowanie obwiedni charakterystyk operacyjnych RPA w realizacji procedur SID i STAR – czas lotu, prędkości lotu i sposób realizacji trajektorii proceduralnej. Wyniki przedstawiono jako obszary integracji w funkcji zmiennych decyzyjnych w formie wykresów i zależności matematycznych. Kluczowymi zmiennymi decyzyjnymi były obciążenie powierzchni i obciążenie mocy natomiast masa startowa w mniejszym stopniu warunkowała integrację. Wskazano krytyczne segmenty procedur – prosta do lądowania oraz początkowe wznoszenie. Określono krytyczną prędkość wiatru bocznego. Dokonano oceny wpływu prędkości i kierunków wiatru w poszczególnych typach procedur. Procedury podejścia z zakrętem oraz nawrotem dwu-zakrętowym wykazały najmniejszą rozbieżność osiągow RPA względem samolotu załogowego w zróżnicowanych warunkach wietrznych. Wykonano syntezę wyników symulacji określając obszar integracji RPA. Granicę obszaru wyznaczono kryteriami wpływu na załogowy ruch lotniczy oraz możliwością realizacji trajektorii lotu. Warianty RPA mieszczące się w obszarze integracji spełniały również kryteria kategorii prędkościowej A. Zaproponowano kierunki dalszych prac – badania złożonego ruchu lotniczego lub dostosowanie procedur do osiągow RPA.

W zestawieniu z podobnymi badaniami, rezultat pracy stanowi wkład w zagadnienie integracji ponieważ osiągi RPA przyjmowano zwykle na podstawie małej liczby znanych obiektów a procedury modelowano w zakresie trajektorii bez obszarów tolerancji.

*Słowa kluczowe: integracja RPAS, osiągi RPA, trajektoria lotu, symulacje szybkie FTS, procedury SID i STAR, przestrzeń jednolita, przestrzeń kontrolowana*