

Dr hab. inż. Cezary SZCZEPAŃSKI
Profesor Nadzwyczajny Politechniki Wrocławskiej

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała SOBOLEWSKIEGO

**p.t. „ANALIZA DYNAMIKI I STEROWANIA PLATFORMY
STABILIZUJĄCEJ URZĄDZENIA OBSERWACYJNO-
ŚLEDZĄCEGO UMIESZCZONEGO NA POKŁADZIE OBIEKTU
LATAJĄCEGO”**

Recenzję sporządzono na podstawie pisma MD-510/186/2016 z dnia 14.07.2016 z Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej.

Rozprawa doktorska mgr inż. Michała Sobolewskiego pod tytułem „Analiza dynamiki i sterowania platformy stabilizującej urządzenia obserwacyjno-śledzącego umieszczonego na pokładzie obiektu latającego” zawiera osiem rozdziałów, wykaz ważniejszych symboli i oznaczeń, wykaz literatury oraz załącznik. Przedstawiona została na 180 stronach, zaś wykaz zacytowanej literatury liczy 45 pozycji.

Rozdział 1 „Wprowadzenie”, zawiera określenie celu i zakresu pracy, a także omówienie jej zawartości. Kolejny podrozdział wypełnia przegląd historycznego rozwoju rozwiązań konstrukcyjnych aktywnych i pasywnych układów tłumiących drgania platform do zabudowy sprzętu obserwacyjnego, w postaci selektywnego przeglądu najistotniejszych patentów z tej dziedziny. Przegląd uzupełnia prezentacja wybranych konstrukcji urządzeń oferowanych na rynku. Przegląd ten zakończony jest podsumowaniem zawierającym wytyczne do dalszych badań i projektu układu stabilizacji i tłumienia niepożądanych drgań. Następny podrozdział poświęcony został opisowi warunków pracy pokładowych lotniczych układów obserwacyjnych. Pojawia

się tu pewna niezgodność z terminologią dotyczącą kątów orientacji przestrzennej statku powietrznego oraz jego elementów czy wyposażenia. Kąt nazywany w normach kątem przechylenia statku powietrznego Autor nazywa „kątem nachylenia”, chociaż w pracy nazwa ta odnosi się do kąta symulowanego na stanowisku pomiarowym, a nie bezpośrednio do statku powietrznego. Dla jednoznaczności zrozumienia pracy oraz zgodności z normami dotyczącymi lotu statków powietrznych lepiej było by stosować ogólnie przyjęte nazewnictwo. Takie standardowe nazewnictwo stosuje zresztą Doktorant w dalszej części pracy. W podrozdziale tym pojawia się także rysunek 1-24, cytowany za literaturą amerykańską, ilustrujący widmową gęstość mocy drgań zarejestrowanych na pokładzie różnych statków powietrznych. W tłumaczeniu opisu pojawiły się nazwy trzech różnych, jak określa Autor, typów statków powietrznych: „helikopter, odrzutowiec, śmigłowiec”. W nomenklaturze polskiej pojęcia śmigłowiec i helikopter są synonimami, więc należy wyjaśnić o jakie statki powietrzne tu chodzi. Ponadto pojęcie „odrzutowiec” jest bardzo niedokładne i może dotyczyć samolotów od wysoko manewrowych o niewielkich masach do dużych samolotów liniowych o masach kilkuset ton. Dobrze było by, o ile to możliwe, wyjaśnić jakiej klasy „odrzutowców” dotyczy zaprezentowana charakterystyka. Podrozdział kończą zdjęcia przedstawiające stanowisko laboratoryjne, na którym Doktorant przeprowadził badania. Ostatni podrozdział zawiera opis wymagań, jakie stawiane są lotniczym obserwacyjnym platformom stabilizującym.

Rozdział 2, zatytułowany „Metodologia badań” rozpoczyna podrozdział precyzujący tezę naukową prezentowanej pracy. Cel pracy Autor sformułował w następujący sposób: „Analiza kinematyki i dynamiki innowacyjnego rozwiązania platformy stabilizującej oraz opracowanie algorytmu zapewniającego efektywną stabilizację układu przy zoptymalizowanej konstrukcji”. Tezę sformułował w postaci: „Opracowany model matematyczny oraz algorytm sterowania platformą stabilizującą skraca czas stabilizacji oraz zwiększa efektywność działania urządzenia obserwacyjno-śledzącego pracującego na pokładzie obiektu latającego”. Zakres badań określony w tym rozdziale obejmuje opis konstrukcji platformy stabilizującej, opracowanej przez Autora oraz analizę jej dynamiki i sposobów jej sterowania. Praca ma więc charakter konstrukcyjno-doświadczalny.

Rozdział 3, zatytułowany „Budowa oraz zasada działania platformy stabilizującej UOS”, poświęcony został szeregowi zagadnień związanych z budową platformy badanej w dalszej części pracy. Część początkowa rozdziału przedstawia

założenia projektowe przyjęte dla opracowanej platformy oraz analizę wariantów konstrukcji. Przeprowadzona analiza cech różnych rozwiązań doprowadziła do sformułowania: „montaż „kardanowy” pozwala na osiągnięcie celu przy znacznie prostszej konstrukcji”, który to wariant Autor przyjął w opracowanej platformie. Jest to wniosek jak najbardziej słuszny, co potwierdzają liczne urządzenia tego typu oferowane na rynku światowym

W dalszym ciągu autor omawia szczegółowo budowę zaprojektowanej przez siebie platformy stabilizującej, przedstawiając konstrukcje i cechy poszczególnych jej bloków: zawieszenia zewnętrznego w postaci przegubu kardana o dwu stopniach swobody, osłony układu obserwacyjnego przed czynnikami zewnętrznymi, układu tłumienia drgań składającego się z części aktywnej i biernej (tu na stronie 51 Autor pomyłkowo wymienia jako drugą część tłumiącą układ czynny), zawieszenia wewnętrznego także w postaci przegubu kardana o dwu stopniach swobody oraz platformy, do której mocowany jest układ obserwacyjny. Na stronie 63, gdzie ponownie znajdujemy wykaz podstawowych elementów platformy stabilizowanej znikło z tego wykazu zawieszenie wewnętrzne – zostało scalone w jeden element z układem tłumienia. Należy przypuszczać, że nie jest to zamiar Autora, a jedynie błąd redaktorski.

W rozdziale 4, zgodnie z jego tytułem, Autor przedstawia opracowany przez siebie model fizyczny platformy stabilizującej. Opisuje założenia i uproszczenia przyjęte podczas formułowania tego modelu, a następnie wyznacza masy i momenty bezwładności poszczególnych elementów platformy stabilizowanej. Parametry te wyznaczone są dwoma metodami analitycznie oraz za pomocą narzędzi CAD, w celu weryfikacji uzyskanych wyników. Uzyskany poziom zgodności wyników obliczeń różnymi metodami pozwala przyjąć stwierdzenie poprawności tego modelu.

Rozdział 5 „Opracowanie modelu matematycznego platformy stabilizującej” rozpoczyna autor od omówienia założeń upraszczających, a następnie przechodzi do wyprowadzenia równań ruchu tej platformy. Równania te zostały wstępnie zweryfikowane, po czym Autor przystąpił do linearyzacji modelu matematycznego i zapisaniu go w przestrzeni stanów. Weryfikację zlinearyzowanego modelu przeprowadzono za pomocą pakietu Matlab – SimMechanics, potwierdzając poprawność przeprowadzonego procesu.

Rozdział 6 zatytułowany „Dobór optymalnego sterowania platformy stabilizującej” autor rozpoczyna od opisu metod, za pomocą których planuje sterować

platformą. Są to w kolejności: regulator PD i sterowanie optymalne LQR. Autor porównuje skuteczność obu tych metod w odniesieniu do platformy stabilizowanej. Rozdział kończy definicja obserwatora stanu platformy, w którym metoda LQR została wykorzystana do wyznaczenia macierzy wzmocnienia. O ile nie można mieć zastrzeżeń co do przyjętej metody i kolejności postępowania Autora, to użycie w rozdziale poświęconym sterowaniu optymalnemu sformułowania „najbardziej optymalna kontrola platformy” (strona 107) nie świadczy dobrze o stronie językowej pracy. Sformułowanie to jest merytorycznie błędne, gdyż uzyskanie sterowania optymalnego oznacza, że uzyskano najlepsze sterowanie w danych warunkach; nie może ono być „najbardziej najlepsze”. Z treści pracy wynika, że Doktorant rozumie znaczenie pojęcia sterowanie optymalne i jest to tylko duża niezręczność językowa.

Rozdział 7, zgodnie ze swoim tytułem „Projekt sterownika rozmytego estymującego stabilizację UOS”, zawiera opis układu eksperckiego, wykorzystującego doświadczenie Autora uzyskane podczas wcześniejszych badań urządzenia obserwacyjno-śledzącego. Wykorzystano tu logikę rozmytą: „do lingwistycznej definicji przedziałów opisujących warunki pracy układu i efektywności stabilizacji”. Umożliwiło to uogólnienie informacji uzyskiwanych podczas testów i wnioskowanie biorące pod uwagę przede wszystkim czynniki decydujące o skuteczności sterowania, uwzględniające doświadczenie badacza zdobyte podczas wcześniejszych testów urządzenia.

Dalsza część rozdziału poświęcona jest badaniom numerycznym dynamiki platformy stabilizowanej. Podano tu uzyskane wyniki symulacji zaproponowanych algorytmów sterowania, dla zakłóceń testowych zewnętrznych i wewnętrznych, mających swoje odniesienie w rzeczywistych zjawiskach pojawiających się podczas pracy urządzenia. Takie podejście bardzo zwiększa wiarygodność uzyskiwanych wyników symulacji numerycznych, ułatwiając interpretację fizyczną wyników oraz ma dużą wartość dla praktycznej realizacji testów urządzenia dla potrzeb optymalizacji jego konstrukcji.

Kończący podrozdział zawiera wyniki symulacji numerycznych sterownika cyfrowego, będącego istotnym dorobkiem Autora. Porównano je z wynikami pomiarów modelu matematycznego platformy. Jednak treść tego podrozdziału budzi niedosyt. Autor przedstawia wyniki w Tabeli 7-2, ale nie podaje wcześniej przyczyn przyjęcia zakresów zmian parametrów zakłóceń takich jak przedstawione. Dwa wiersze tabeli (2 i 3 od dołu) zawierają takie same wyniki, a ostatni odbiega znacznie od pozostałych i

nie wiadomo czy jest to wynik spoza zakresu prawdopodobnych zakłóceń, czy też jest to tylko przykładowy reprezentant działania układu stabilizacji dla bardzo dużych amplitud zakłóceń.

Autor podsumowuje uzyskane wyniki, ale nie próbuje podjąć się wyjaśnienia przyczyn uzyskania ich w takiej a nie innej postaci. Badane zagadnienia nie są spotykane na co dzień i warto było by pokusić się przynajmniej o próbę wyjaśnienia przyczyn uzyskania takich a nie innych wartości błędów sterowania. Pojawia się tu także stwierdzenie (str. 131): „Implementacja tego typu decydenta znacząco zmniejsza zużycie energii pobieranej przez aktywny system tłumienia platformy”. Nie ma jednak odniesienia pojęcia „znaczącego zmniejszenia” do jakiegokolwiek wartości lub choćby jakościowego określenia takiej istotnej przecież korzyści wynikającej z zastosowania proponowanego systemu sterowania.

Rozdział 8 – ostatni – „Podsumowanie i wnioski końcowe” Autor poświęcił na zebranie wniosków dotyczących przeprowadzonych badań. Mają one uogólniony charakter i uwagi do nich znajdują się w omówieniu treści poszczególnych rozdziałów pracy, w których się pojawiają.

W pracy zamieszczono ponadto rozdział 9 „Załączniki”, w których zawarto rysunki konstrukcyjne opracowanej przez Doktoranta platformy stabilizowanej oraz pełne postacie kątów opisujących położenie ramek tej platformy.

W tym miejscu należy stwierdzić, że Autor zrealizował w całym zakresie założenia konstrukcyjne i badawcze osiągając planowane cele naukowe. W sposób właściwy zaplanował i zrealizował badania eksperymentalne zaprojektowanego przez siebie układu o nowatorskim charakterze, a następnie wykorzystywał uzyskane wyniki w modelowaniu numerycznym wybranych metod sterowania platformą stabilizowaną. Potrafił zaproponować skuteczne rozwiązania problemów pojawiających się podczas symulacji numerycznych, a wynikających z ograniczeń stosowanych metod i narzędzi. Stworzył nowe rozwiązanie układu sterowania platformą stabilizowaną zdolnego do minimalizacji zakłóceń w zakresie większym niż spotykane na rynku rozwiązania.

W treści pracy pojawiają się liczne błędy redakcyjne, np. redakcja tekstu ze wzorami na stronie 60. Pojawiają się także błędy literowe i gramatyczne, niekiedy utrudniające zrozumienie myśli Autora. Podsumowując te uwagi, można stwierdzić, że choć w wielu miejscach zaburzają one zrozumienie toku myślenia Doktoranta, to nie umniejszają wysokiej oceny merytorycznej przedstawionej mi do oceny rozprawy doktorskiej. Oceniam jej poziom jako dobry i spełniający w całym zakresie wymagania

stawiane przed rozprawami doktorskimi. Autor wykazał się umiejętnością formułowania celu naukowego badań oraz znajomością metodyki prowadzenia badań naukowych, popartą znajomością wiedzy w obszarach objętych przedstawioną rozprawą.

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Michała Sobolewskiego do publicznej obrony przedstawionej mi pracy jako rozprawy doktorskiej.



Dr hab. inż. Cezary Szczepański
Profesor Nadzwyczajny Politechniki Wrocławskiej