

Dr hab. inż. Leszek Płonecki, prof. PŚk.
Katedra Automatyki i Robotyki
Centrum Laserowych Technologii Metali
im. Henryka Frąckiewicza
Politechniki Świętokrzyskiej i PAN
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

Kielce, 02.06.2022r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej „Badanie właściwości hydrostatycznego układu skrętu przegubowych bezzałogowych platform lądowych w systemie podążania za przewodnikiem”

Autor: mgr inż. Karol Kończalski

Recenzję sporządzono na podstawie pisma przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna WAT z dnia 06.05.2022 roku.

1. Wstęp

Bezzałogowe platformy lądowe stanowiące odmianę robotów mobilnych znajdują coraz szersze zastosowanie zarówno jako maszyny do zastosowań wojskowych, jak i cywilnych. Często są to roboty dwuczłonowe z hydrostatycznym układem skrętu. Ze względu na sposób sterowania mogą być one podzielone na podgrupy wymienione na stronie 6 rozprawy, przy czym w recenzowanej pracy skupiono się na sterowaniu w systemie podążania za przewodnikiem, który można określić jako system sterowania z cechami sterowania półautonomicznego. Układ skrętu odgrywa istotną rolę w procesie podążania przegubowej bezzałogowej platformy za przewodnikiem. Dostępne pozycje literaturowe dotyczą głównie maszyn roboczych, takich jak np. ładowarki, w których budowa i wymagania stawiane układom skrętu są inne niż w bezzałogowych platformach przegubowych.

Można zatem stwierdzić, że wybór tematyki rozprawy jest właściwy, zaś rozpatrywane w niej zagadnienia stwarzają możliwość wykazania wiedzy Doktoranta i umiejętności rozwiązywania problemów naukowych.

2. Opis treści rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Karola Kończalskiego zawarta jest na 109 stronach i obejmuje wprowadzenie, sześć rozdziałów stanowiących główną część rozprawy (rozdziały 2 – 7) i zawierających opis, wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analizę, podsumowanie rozprawy, abstrakt oraz wykaz cytowanej literatury.

Wykaz literatury obejmuje 118 pozycji, w tym 12 odwołań do stron internetowych. Wśród cytowanych pozycji jest jedynie 1 pozycja współautorstwa Doktoranta. Być może Jego nazwisko znajduje się wśród autorów cytowanych sprawozdań z realizacji projektów badawczych.

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem, w którym Autor przedstawił ogólnie zagadnienie sterowania bezzałogowymi platformami lądowymi (BPL), i przedstawił czynniki określające zdolność realizacji skrętu w platformach przegubowych..

Rozdział drugi stanowi wyczerpującą analizę zagadnień związanych z działaniem systemów sterowania BPL podążających za przewodnikiem. Zawiera on opis działania takich systemów oraz schematy różnych odmian układów skrętu z określeniem ich manewrowości. Autor przedstawił także przykłady maszyn wykorzystujących hydrostatyczne układy skrętu. W większości były to maszyny robocze, więc rozdział ten zawiera także wykaz zagadnień, na jakie należy położyć nacisk projektując układ skrętu dla BPL.

Rozdział trzeci zawiera cel i zakres pracy, jak również wykaz 8 zadań, jakie należy zrealizować dla osiągnięcia głównego celu rozprawy. Zadania te są poprawnie sformułowane i tworzą logiczną całość.

Rozdział czwarty zawiera wyniki wstępnych badań na terenowym torze rzeczywistych maszyn – BPL Dromader zaprojektowanej w WAT oraz przegubowej ładowarki kołowej. Badania miały na celu rozpoznanie prędkości skrętu i wypracowanych kątów skrętu dla weryfikacji opisanego w dalszej części rozprawy modelu symulacyjnego. W trakcie badań BPL była zdalnie sterowana, natomiast ładowarką sterował kierowca znajdujący się w kabinie maszyny. Zebrane wyniki badań przedstawiono w tabeli 4.1 na str.44.

W rozdziale piątym rozprawy przedstawiono model przegubowej platformy lądowej Dromader, wyniki identyfikacji opracowanego modelu oraz ocenę zgodności przebiegów symulacyjnych i doświadczalnych. Model fizyczny platformy został opracowany z wykorzystaniem środowiska MSC Adams, przy czym model geometryczny platformy wykonano w programie Catia V5. Model hydrostatycznego układu napędu mechanizmu skrętu platformy opracowany został w programie Easy5. Rozdział ten zawiera także opis badań identyfikacyjnych hydrostatycznego układu skrętu oraz zastosowanego rozdzielacza proporcjonalnego PVG-32. Autor dokonał także oceny zgodności przebiegów doświadczalnych i symulacyjnych uznając zgodność tych przebiegów na poziomie pozwalającym na przeprowadzenie z wykorzystaniem zbudowanego modelu dalszych badań podążania bezzałogowej platformy lądowej za przewodnikiem.

Rozdział szósty rozprawy zawiera opis i wyniki badań doświadczalnych i symulacyjnych, których celem było określenie błędów odtwarzania zadanego toru jazdy po łuku oraz zbadanie kątów i prędkości skrętu oraz ciśnień w układzie hydrostatycznym. Wyniki badań doświadczalnych porównano z wynikami badań symulacyjnych, w wyniku czego wprowadzono modyfikacje opracowanego modelu, uzyskując dalszą poprawę zgodności przebiegów.

W rozdziale siódmym przedstawiono wyniki badań symulacyjnych w ramach których, wykorzystując przedstawiony uprzednio model platformy Dromader, badano podążanie tej BPL po określonym torze ruchu w postaci okręgu oraz po torach w kształcie sinusoid o różnych parametrach. Celem badań było wyznaczenie odchylenia uzyskiwanego toru ruchu przedniego i tylnego członu platformy od toru zadanego z rejestracją kąta i prędkości skrętu. Celem badań było również określenie wpływu parametrów układu hydrostatycznego skrętu (sztywność, szerokość strefy nieczułości rozdzielacza, opóźnienie układu skrętu) na błędy odtwarzania zadanego toru BPL. Ostatnią zbadaną modyfikacją układu skrętu było zastosowanie w układzie sterowania regulatora PID wykorzystującego jako sygnał uchybu różnicę pomiędzy współrzędnymi toru platformy a toru przewodnika. Autor zdefiniował kryteria oceny dokładności odtwarzania toru platformy (str. 73), a następnie wykorzystał je do oceny uzyskanych wyników badań symulacyjnych, dokonując także ich opisu. Wyniki badań przedstawił także w postaci tabel, co ułatwia ich ocenę.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie rozprawy oraz poprawnie sformułowane, w stosunku do zawartości rozprawy, wnioski końcowe. Doktorant przedstawił także możliwe kierunki dalszych badań w zakresie związanym z treścią rozprawy.

Rozprawę doktorską mgr inż. Karola Kończalskiego należy ocenić pozytywnie. Jest to praca o charakterze teoretyczno-doświadczalnym, dotycząca budowy dwuczłonowych bezzałogowych platform lądowych, zagadnień związanych z hydrostatycznymi układami napędowymi oraz zdalnym sterowaniem

tymi platformami. Autor przedstawił wyniki wielu badań symulacyjnych, eksperymentalnych oraz wnikliwą analizę ich wyników. Przeprowadzone eksperymenty miały złożony charakter i wymagały rozwiązania wielu problemów technicznych dla ich przeprowadzenia. Rozprawa jest poprawnie zredagowana i praktycznie nie zawiera usterek stylistycznych oraz błędów korektorskich.

3. Uwagi dotyczące rozprawy

Recenzowana praca jest wielowątkowa. Doktorant rozpatrzył w niej wiele zagadnień związanych z BPL, hydrostatycznymi układami napędowymi, przedstawił model rozpatrywanej platformy, wyniki wielu badań symulacyjnych, eksperymentalnych oraz analizę ich wyników. Można przypuszczać, że tak szeroki zakres działań spowodował, że po zapoznaniu się z treścią rozprawy można sformułować uwagi, które zostaną przedstawione poniżej.

1. W rozprawie brak jest kompleksowego schematu systemu wykorzystywanego w badaniach symulacyjnych. Schemat modelu części mechanicznej platformy jest szczegółowo przedstawiony na rys. 5.3 (str. 47), natomiast model napędu nie jest tak dokładnie omówiony, a przede wszystkim nie przedstawione są powiązania pomiędzy obydwoma częściami modelu z oznaczeniem odpowiednich sygnałów. W przypadku maszyny z hydrostatycznym układem napędowym, napęd ten oddziałuje na układ mechaniczny manipulatora, ale ten jednocześnie oddziałuje na układ hydrauliczny, choćby w wyniku zmian konfiguracji mas. W przypadku modelu strukturalnego maszyny, powiązania są uwzględnione w równaniach modelu, natomiast przy modelowaniu w sposób zastosowany w rozprawie taki schemat byłby przydatny przy analizie modelu.
2. Na stronie 51 Autor stwierdza konieczność dopasowania charakterystyki rozdzielacza podając przykładowe przebiegi charakterystyk częstotliwościowych takiego zaworu. W dalszej części rozdziału (str. 57) podaje, iż w układzie skreту badanej platformy zastosowano zawór proporcjonalny PVG-32, nie odnosząc się do kwestii doboru charakterystyk zaworu. Ponadto w rozprawie brak jest opisu przepływowych zaworów proporcjonalnych PVG32 wykorzystywanych w badaniach przedstawionych w pracy. Nie zamieszczono informacji, czy jest to zawór z pomiarem położenia suwaka i czy podczas jego pracy wykorzystywano układ regulacji położenia suwaka. Zamieszczenie karty katalogowej zaworu pozwoliłoby na wstępną ocenę jego właściwości (zwykle w karcie podawane są m. in. takie parametry jak histereza, powtarzalność pracy, czułość czy przesunięcie tzw. zera hydraulicznego oraz statyczne charakterystyki przepływowe). Jest to istotne zwłaszcza przy budowie zamkniętych układów sterowania położeniem siłownika hydraulicznego, gdzie właściwości zaworu w głównej mierze wpływają na możliwą do osiągnięcia jakość regulacji.
3. Omawiając identyfikację modelu platformy Doktorant nie podał, jakie zastosował procedury identyfikacji. Jak zatem należy rozumieć stwierdzenie „Przeprowadzono liczne testy symulacyjne zanim udało się skorelować symulacyjny układ hydrauliczny do wyników badań doświadczalnych” na str. 60 rozprawy.
4. Syntezę układu regulacji z regulatorem PID przeprowadzono metodą Zieglera-Nicholsa nie podając czy eksperyment przeprowadzony dla doboru parametrów regulatora zrealizowano z wykorzystaniem układu rzeczywistego, czy też jego modelu symulacyjnego.
5. W spisie ważniejszych oznaczeń, jak również w niektórych tabelach (np. tabela 5.2 na str. 61) nie podano jednostek, w jakich wyrażono zamieszczone wartości.

4. Wniosek końcowy

Przedstawione powyżej uwagi nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny przedstawionej rozprawy. Podsumowując, można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Karola Kończalskiego „Badanie właściwości hydrostatycznego układu skrętu przegubowych bezzałogowych platform lądowych w systemie podążania za przewodnikiem” spełnia w pełni wymogi Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnioskuje zatem o dopuszczenie mgr inż. Karola Kończalskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

