

prof. dr hab. inż. Marek Gzik, prof. zw. w Pol. Śl.
Katedra Biomechatroniki
Wydział Inżynierii Biomedycznej
Politechnika Śląska

Gliwice 22.06.2018r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Gembalczyka
z tytułowanej
**„Dobór parametrów regulatorów w systemie sterowania urządzeniem
do reedukacji chodu ”**

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej nr RMT0-1033/D/006/17/18 z dnia 18.04.2018, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

1. Ocena aktualności wybranego tematu

Etiologia dysfunkcji narządu ruchu może być pochodną wad wrodzonych, przebytych chorób lub skutkiem pourazowym. Dużą część osób wymagających intensywnego leczenia i rehabilitacji stanowią pacjenci po przebytych udarach mózgu. Choroby naczyń mózgu to druga, co do skali przyczyna zgonów wśród osób po 40 roku życia w naszym kraju. Rozwój technologii medycznych stale poprawia przeżywalność po przebytych udarach, jednak w wielu przypadkach efektem incydentów jest wysoki stopień niepełnosprawności ruchowej. Powszechnym i skutecznym sposobem leczenia po udarze jest kinezyterapia, która powinna być podejmowana jak najwcześniej i obejmować wszystkich chorych. Coraz częściej tradycyjna rehabilitacja jest wspomagana osiągnięciami techniki. Nowe urządzenia pozwalają na indywidualizację zajęć terapeutycznych oraz obiektywną ocenę jej postępów. Analizując urządzenia rehabilitacyjne do kinezyterapii na przestrzeni kilkunastu lat można zauważyć, że jednym z istotnych elementów podlegającym ciągłym modyfikacjom jest układ odciążenia pacjenta. Na rynku można spotkać urządzenia o prostej konstrukcji, które umożliwiają odciążanie pacjenta w sposób pasywny, jak i zaawansowane technologicznie rozwiązania z aktywnymi systemami odciążającymi.

Jak zauważył Autor w wyniku przeglądu literatury istotną rolę w ćwiczeniach rehabilitacyjnych przywracających prawidłowy wzorzec chodu jest możliwość nieskrępowanych przemieszczeń bocznych miednicy pacjenta. Zaproponowana w pracy postać konstrukcyjna urządzenia do reedukacji chodu spełnia ten postulat.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 26.06.2018.....

nr 13.17.D.006. zat. 2

20.06.18

Przegląd dostępnych w literaturze algorytmów sterowania tak złożonymi układami wskazuje, że celowe jest poszukiwanie nowych i udoskonalanie istniejących algorytmów obliczeniowych w tym obszarze, obudowanych skutecznymi narzędziami numerycznymi.

Tak więc obszarem naukowym, wciąż nie w pełni rozpoznanym, są metody sterowania złożonych układów elektromechanicznych o wielu napędach. Opracowanie skutecznego narzędzia umożliwiającego dobór optymalnych parametrów regulatorów w takich systemach sterowania jest kluczową sprawą w aspekcie efektywności i poprawności działania takich urządzeń.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce. Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Mechanika”.

2. Przegląd treści pracy

W pracy zaprezentowano nowatorskie urządzenie przeznaczone dla osób ponownie uczących się chodzić. Autor opracował model matematyczny urządzenia, algorytm sterowania napędami urządzenia, dobrał w wyniku optymalizacji wartości parametrów regulatorów oraz dokonał weryfikacji poprawności działania urządzenia.

Rozprawę doktorską podzielono na dziewięć rozdziałów, uzupełnionych spisem literatury.

W rozdziale pierwszym, dwustronicowym, zatytułowanym „Wstęp”, zamieszczono wprowadzenie do pracy.

Rozdział drugi został poświęcony przedstawieniu rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń do reedukacji chodu w tym metod sterowania układem odcciążającym pacjenta. W rozdziale tym Autor przedstawił krótką charakterystykę metod optymalizacji wykorzystywanych w dalszej części pracy.

W rozdziale trzecim zawarto cel i zakres pracy. Cel pracy zdefiniowano jako opracowanie systemu sterowania układami napędowymi urządzenia i optymalizację parametrów zastosowanych regulatorów. W rozdziale tym Autor przedstawił schemat urządzenia ze wskazaniem innowacyjności na tle innych, spotykanych dotychczas na rynku.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „Opis budowy opracowanego urządzenia” opisano poszczególne moduły urządzenia: układ odcciążający, bieżnię treningową, szafę sterowniczą. Przedstawiono opracowane układy pomiarowe – pomiaru siły w linie oraz kąta wychylenia liny. W drugiej części rozdziału Autor zapoznaje czytelnika z architekturą komunikacji pomiędzy poszczególnymi podzespołami urządzenia. Przedstawia i omawia schemat działania mechatronicznego urządzenia do reedukacji chodu.

Rozdział piąty dotyczy opracowania modelu matematycznego napędów elektromechanicznych, w tym silników PMSM wraz z regulatorem prędkości, oraz części mechanicznej układu odcciążania pacjenta. Zaprezentowany model matematyczny układu odcciążania uzupełniony został o przedstawienie charakterystyk sztywności sprężyn i liny zawiesia w zależności od jej długości, ukazując nieliniowy charakter opracowanego modelu numerycznego.

Rozdział szósty poświęcony został przedstawieniu modelowania układów sterowania. Autor szeroko opisał zastosowany w pracy regulator rozmyty ukazując zasadność jego zastosowania w sterowaniu układem odciążającym pacjenta w rozpatrywanym urządzeniu. Ponadto w rozdziale tym Autor zawarł opis algorytmu sterowania bieżnią treningową, potwierdzając poprawność jego działania symulacjami numerycznymi.

W rozdziale siódmym, zatytułowanym "Dobór parametrów w układach sterowania", przedstawiono wyniki badań doboru optymalnych nastaw regulatorów zastosowanych w projektowanym urządzeniu. W pierwszej części rozdziału Autor dokonał walidacji modelu numerycznego urządzenia porównując przebiegi uzyskane z doświadczenia z przebiegami otrzymanymi z prowadzonych symulacji numerycznych. Wyznaczone tą drogą parametry modelu pozwoliły na bardzo dużą korelację modelu do obiektu rzeczywistego. W drugiej części rozdziału Autor zawarł wyniki procesu optymalizacji nastaw wzmocnień regulatorów PID oraz rozkładu funkcji przynależności w regulatorze rozmytym.

W rozdziale ósmym zawarto doświadczalną weryfikację opracowanego systemu sterowania. Zaproponowane przez Autora algorytmy sterowania wraz z wyznaczonymi nastawami regulatorów zostały zaimplementowane w urządzeniu docelowym i przetestowane z wykorzystaniem systemu czasu rzeczywistego. Przeprowadzone testy z udziałem osoby zdrowej wykazały poprawność zachowania systemów: odciążającego, nadążnego jak i regulacji prędkości taśmy bieżni.

Rozprawa kończy się przedstawieniem wniosków końcowych i wskazaniem dalszych kierunków badań.

3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Recenzowana rozprawa posiada przejrzysty układ treści. Doktorant stopniowo wprowadza czytelnika w problematykę, od zagadnień podstawowych jak przedstawienie konstrukcji omawianego urządzenia, opis zastosowanych napędów poprzez algorytmy sterowania do zagadnień złożonych, związanych z optymalizacją nastaw regulatorów w układach sterowania.

Analizując aktualny stan wiedzy dotyczącej istniejących rozwiązań konstrukcyjnych mechatronicznych urządzeń do reedukacji chodu, doktorant zaproponował własną postać takiego urządzenia, w którym urządzenie odciążające współpracuje z bieżnią treningową. Istotne w opracowanym rozwiązaniu jest to, że to nie bieżnia wymusza ruch pacjenta, ale ruch pacjenta pociąga za sobą ruch pasa bieżni. Ponadto Autor zaproponował unikatową metodę sterowania mechanizmem odciążania, polegającą na sprzężeniu regulatora rozmytego z regulatorem PID. Nastawy zastosowanych regulatorów zostały dobrane w procesie optymalizacji.

Główną wartością pracy jest to, że autor podjął się trudnego zadania: opracowania systemu sterowania i doboru nastaw regulatorów w złożonym z czterech napędów urządzeniu mechatronicznym, przeznaczonym do wspomaganie leczenia osób z dysfunkcją chodu. Urządzeniom takim stawia się wymogi dużego reżimu poprawności funkcjonowania. Trudności dodaje fakt nieprzewidywalności obiektu sterowania, którym w tym przypadku jest pacjent. Autor doskonale poradził sobie z rozwiązaniem tego zadania, wykorzystując w obliczeniach złożony aparat matematyczny oraz opierając proces projektowania systemu

sterowania na projektowaniu mechatronicznym zwanym Model-Based Design. Doktorant przeprowadził badania z wykorzystaniem odpowiednich modeli matematycznych i numerycznych, opracowanych w różnych środowiskach programowych takich jak Matlab czy Ansys. Opracowane algorytmy sterowania i dobrane parametry regulatorów zostały zweryfikowane w trakcie badań stanowiskowych.

Recenzowana praca wskazuje, że Doktorant wykazał się umiejętnością łączenia wiedzy teoretycznej i praktycznej pochodzącej z wielu dyscyplin nauki: mechaniki, biomechaniki, elektroniki i automatyki.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne. Dotyczy bowiem istotnych zagadnień, szczególnie dla starzejących się społeczeństw, związanych z rozwojem urządzeń medycznych usprawniających proces rehabilitacji osób z dysfunkcją narządu ruchu.

Na wyróżnienie zasługuje cytowana i omawiana bibliografia. Jej dobór przekonuje mnie, iż autor biegle porusza się w prezentowanym w rozprawie zagadnieniu. Dobór rysunków i wykresów uważam za właściwy.

Po zapoznaniu się z treścią dysertacji doktorskiej przedłożonej mi do recenzji, chciałbym zwrócić uwagę na pewne kwestie dyskusyjne, do których autor powinien się ustosunkować:

- autor przedstawia przebiegi parametrów urządzenia, weryfikując w ten sposób poprawność działania systemu, w tym opracowanych algorytmów i nastaw regulatorów, otrzymane w trakcie chodu dla osoby zdrowej. Pytanie jest zatem czy równie poprawnie układ będzie się zachowywał w trakcie ćwiczeń osoby niepełnosprawnej – dla której dedykowane jest to urządzenie.
- Autor nie odniósł się w pracy do możliwości kontrolowania przez system komputerowy postępów pacjenta w rehabilitacji. Rodzi się niepewność: czy w różnych fazach rehabilitacji wartości nastaw regulatorów mogą się zmieniać czy też mają pozostawać o tej samej wartości.

W pracy zauważono błędy redakcyjne, które zostały przekazane autorowi, np.:

- Str. 40, na rys. 33. stan niski sygnału cyfrowego trwa przez 0,3s, natomiast z opisu wynika, że powinien on trwać 0,15 s, natomiast cały cykl (stan niski i stan wysoki) 0,3 s.
- W tabelach na stronach 66, 68 i 91 niefortunnie pojawiła się litera „c” w oznaczeniu „ Δ UNL c - -”.
- Przyjęte w równaniach ruchu układu odciążającego (układ równań 32) oznaczenie sztywności liny k_l jest różne od oznaczenia przyjętego w równaniu 34 (K_{lin}), choć dotyczą one tego samego parametru.

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- wykazane przez autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne budowy modeli matematycznych i numerycznych opracowanych w środowiskach Matlab i ANSYS,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

4. Ocena końcowa

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę doktorską, należy podkreślić aktualność jej tematyki i przedstawienie unikatowych rozwiązań dotyczących konstrukcji i sterowania urządzeniami medycznymi, które wspomagają pracę lekarzy i rehabilitantów. Autor słusznie zauważa rosnące zapotrzebowanie rynkowe na sprzęt rehabilitacyjny wykorzystywany do reedukacji chodu. Ponadto, projektowanie nowoczesnych, mechatronicznych urządzeń wpisuje się w nowe trendy „Przemysłu przyszłości”.

Prezentowane treści pracy doktorskiej zawierają elementy, które można uznać za oryginalny wkład w rozwój dyscypliny „Mechanika”, a zwłaszcza wiedzy w zakresie projektowania mechatronicznego i optymalizacji systemów sterowania napędami elektromechanicznymi.

Uważam, że opiniowana praca mgr inż. Grzegorza Gembalczyka przedstawia metodologię rozwiązania złożonego problemu optymalnego sterowania urządzeniami mechatronicznymi, zwłaszcza urządzeniami do reedukacji chodu z mechanizmem odciażania pacjenta. Sposób rozwiązania zadania, opracowane algorytmy i programy komputerowe do badań symulacyjnych oraz sposób realizacji tych badań świadczą o odpowiednim przygotowaniu doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo-badawczej.

Recenzowana praca spełnia wymogi odnośnie do przewodu doktorskiego, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Marek Gzili
W