

Wydział Odlewnictwa
Studia Doktoranckie
Wpłynęło dnia 28.09.17
podpis Kukułka

Warszawa, 19.09.2017

Prof. dr hab. inż. Marcin Perzyk
Wydział Inżynierii Produkcji
Politechnika Warszawska
Narbutta 85, 02-524 Warszawa
Tel.: 509093935
E-mail: M.Perzyk@wip.pw.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. **Pawła Śmierciaka**

p.t. „Analiza i ocena efektywności regulatorów rozmytych w układach sterowania odlewniczymi piecami oporowymi”

1. Ocena tematyki rozprawy

Recenzowana praca doktorska poświęcona jest ważnemu zagadnieniu sterowania procesami przemysłowymi, którego jakość w wielu przypadkach decyduje o jakości wyrobów oraz zużyciu zasobów w postaci energii, materiałów oraz urządzeń. O ile zagadnienia sterowania różnego typu obiektami są przedmiotem ogromnej liczby prac o charakterze zarówno naukowym jak i technicznym, to zagadnieniom sterowania procesami wytwarzania, w tym urządzeniami technologicznymi, poświęcono stosunkowo niewiele uwagi. W wielu gałęziach przemysłu, w tym odlewniczym, występuje konieczność dość precyzyjnie zaprogramowanego w czasie nagrzewania elementów w piecach do obróbki cieplnej metali, a także realizacji innych procesów nagrzewania, takich jak suszenie i wygrzewanie materiałów niemetalicznych. Tego typu procesy i obiekty charakteryzują się znaczną bezwładnością rozumianą jako znaczące opóźnienie zmiany temperatury w stosunku do zmiany mocy elementu grzewczego. Opiniowana rozprawa zajmuje się sterowaniem takimi właśnie procesami. Z uwagi na niewielką obecność tej problematyki w literaturze naukowej z jednej strony oraz na duże jej znaczenie praktyczne, wynikające ze znacznej energochłonności procesu i wymagań odnośnie dokładności przebiegu zmian

temperatury w czasie z drugiej, wybór przedmiotu rozprawy uważam za w pełni uzasadniony.

2. Zawartość rozprawy

Opiniowana praca doktorska prezentuje obszerne badania naukowe o charakterze obliczeniowo – analitycznym, opierające się na bardzo rozbudowanej i wielowątkowej wiedzy z zakresu teorii i praktyki sterowania. Jej istotą jest porównanie jakości funkcjonowania klasycznych regulatorów typu PID z regulatorami rozmytymi, na podstawie realizacji założonego, pożądanego przebiegu temperatury wybranego oporowego pieca odlewniczego w czasie. Opracowano kilka wersji regulatora rozmytego, którego parametry wyznaczano z zastosowaniem dwóch algorytmów optymalizacyjnych: genetycznego i poszukiwań prostych. Zdefiniowano i wyznaczono wskaźniki jakości sterowania, które posłużyły do porównania funkcjonowania obu typów regulatorów. Badania symulacyjne przeprowadzono zarówno bez obecności sygnałów zakłócających, jak również z uwzględnieniem zakłóceń sinusoidalnych i prostokątnych. W pracy zastosowano profesjonalny pakiet obliczeniowy MATLAB/Simulink.

2. Najważniejsze zalety i osiągnięcia pracy

Praca doktorska pana mgr inż. Pawła Śmierciaka stanowi moim zdaniem znaczące osiągnięcie naukowe i posiada szereg bardzo cennych cech, z których najważniejsze wymieniono poniżej.

- Kompleksowość i dogłębność potraktowania problemu. W szczególności należy tu podkreślić dobre rozeznanie literaturowe przedmiotu rozprawy oraz dogłębną znajomość podstaw teorii i praktyki sterowania.
- Klarowny i logiczny układ rozprawy, będący rezultatem poprawnego i wnikliwego sposobu rozumowania Autora, prowadzącego do sprecyzowania planu wszystkich działań wykonywanych w jej ramach. Jasne opisanie i dobre uzasadnienie rozumowania, jest niestety niezbyt powszechną cechą wielu innych prac naukowych.

- Bardzo dobra znajomość i umiejętność wykorzystania zaawansowanych metod i narzędzi informatycznych i matematycznych, zarówno w zakresie podstawowego pakietu MATLAB/Simulink, jak też korzystania z możliwości obliczeniowych superszybkich komputerów.
- Jednoznaczne udowodnienie postawionych tez rozprawy oraz jasne i precyzyjne przedstawienie wynikających z niej wniosków.
- Poprawny język i dobrze odbierany przez czytającego styl, a także bardzo staranne przygotowanie edytorskie drukowanej wersji pracy.

3. Krytyczna ocena rozprawy

Lektura pracy ujawnia zdaniem recenzenta kilka jej mankamentów oraz nasuwa pewne stwierdzenia dyskusyjne, wymienione i omówione poniżej.

W zakresie prezentacji stanu wiedzy brak jest systematycznego przeglądu i dyskusji dotyczącej metod uzyskiwania reguł dla potrzeb sterowania rozmytego. Z drugiej strony, zamieszczone w rozprawie bardzo rozbudowane opisy funkcjonowania sieci neuronowych oraz algorytmów genetycznych, cytowane za ogólnie dostępną literaturą, nie są zbytnio potrzebne.

Główna część uwag krytycznych dotyczy pewnych braków w uzasadnieniu przyjętych metod projektowania i testowania układów sterowania, które przedstawiono poniżej.

1. Autor wymienienia, jako alternatywne metody strojenia regulatorów rozmytych, 2 metody optymalizacyjne oraz sieci neuronowe (str. 71). Brak jest wyjaśnienia sposobu wykorzystania algorytmów optymalizacyjnych i sieci neuronowych do strojenia regulatorów rozmytych. Natura obu metod jest inna, sieć neuronowa zawiera w sobie model typu wejście – wyjście, zaś algorytmy optymalizacyjne wymagają niezależnego sformułowania tych relacji. Zrezygnowano z wykorzystania modeli neuronowych uzasadniając to jedynie następującym zdaniem: „*W celu prawidłowego, a szczególnie optymalnego doboru parametrów regulacji (strojenia) rozmytego układu sterowania, niektórzy autorzy, na przykład Piegat [110] zalecają, aby mając do dyspozycji*

algorytmy genetyczne i SSN, preferować te pierwsze". Ponadto należy zauważyć, że regulatory neuronowo - rozmyte, w których zbiór reguł logicznych typu „jeżeli ... to ...” zastąpiony jest nauczoną siecią neuronową są rozpowszechnione w różnych dziedzinach techniki. Zignorowanie tego typu regulatorów w rozprawie nie jest uzasadnione.

2. Autor testuje zaprojektowane typy regulatorów na podstawie tylko jednej, założonej krzywej sygnału zadanego. Jej kształt został wprawdzie specjalnie zaprojektowany i jest niewątpliwie dobrze uzasadniony, jednakże zastosowanie kilku innych, charakterystycznych dla różnych procesów nagrzewania krzywych pozwoliłoby na szersze uogólnienie wyników i potwierdzenie ich większej uniwersalności. Można by tego dokonać bez wielkiego nakładu pracy, np. sprawdzając tylko wybrane typy regulatorów.
3. Autor nie wyjaśnia, na jakiej podstawie przyjęto akurat zbiory reguł 9, 25, 49 i 81 elementowe, a zwłaszcza w oparciu o jakie przesłanki zaprojektowano te większe? Dlaczego np. nie wypróbowano nierównych ilości wartości rozmytych dla obu wielkości (temperatury zewnętrznej i wewnętrznej) oraz innych postaci i parametrów funkcji przynależności? Z uwagi na olbrzymią czasochłonność obliczeń Autor zrezygnował z ustalenia zbiorów reguł na drodze optymalizacji, ograniczając się do optymalizowania członów wzmacniających, jednak na stronie 94 zamieszcza następujące stwierdzenie: *„Uzyskana w wyniku optymalizacji, za pomocą algorytmu genetycznego, baza reguł ma postać pokazaną na rysunku 7.25”*.
4. Nie jest zrozumiałe, dlaczego do testowania stworzonych układów sterowania nie przyjęto także zakłóceń losowych (występujących w dość dużych odstępach czasu), bardzo prawdopodobnych w praktyce?
5. Rozprawa zawiera zbyt wiele technicznych opisów działania używanego oprogramowania (zawartości okienek), gdy tymczasem w pracy naukowej ważne są stosowane w nim metody obliczeniowe wraz z ich ewentualnymi ograniczeniami. W szczególności zabrakło merytorycznego opisu metod przyjętych w procedurze optymalizacyjnej parametrów PID stosowanych w

pakiecie MATLAB/Simulink. Potrzebny byłby także dokładny opis członu wzmocnienia w przypadku regulatora rozmytego, stanowiącego przecież jedyny parametr podlegający optymalizacji.

6. Brak jest uzasadnienia przyjętej postaci wskaźnika kompromisu. Nie jest jasne, dlaczego założono jednakowe znaczenie obu wskaźników, tj. dokładności i dynamiki sterowania.

Należy podkreślić, że wymienione powyżej uwagi krytyczne mają w znacznej mierze charakter dyskusyjny, zaś recenzent ma nadzieję, że mogą stanowić inspirację dla dalszej działalności naukowej Autora.

4. Podsumowanie recenzji i wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa stanowi niewątpliwie oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, w którym zastosowano nowoczesne metody badawcze i przeprowadzono analizy na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Dzięki uzyskanym w niej wynikom wiemy, że zastosowanie sterowania rozmytego w procesach nagrzewania będzie prawdopodobnie lepsze, niż z sterowanie z wykorzystaniem tradycyjnych regulatorów typu PID. Rozprawa jest zatem bardzo dobrym przykładem pracy, w której rozwiązanie złożonego problemu naukowego zaowocowało sformułowaniem ważnych wskazówek odnośnie przyszłych projektów przemysłowych. W kontekście innych znanych mi prac ze zbliżonych obszarów badawczych jej poziom uważam za wyróżniający się.

Biorąc powyższe pod uwagę, jak również fakt, iż doktorant wykazał należytą wiedzę teoretyczną z zakresu reprezentowanej przez siebie dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych uważam, że rozprawa doktorska pana mgr inż. Pawła Śmierciaka bezdyskusyjnie spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku z późniejszymi zmianami. Wnioskuje zatem o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie jej do publicznej obrony.

