

dr hab. inż. **Piotr Nazarko**, prof. PRZ
Katedra Mechaniki Konstrukcji
Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza
ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
e-mail: pnazarko@prz.edu.pl

Rzeszów, dnia 22.12.2021 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Schlietera pt. „Optimal design of mechanical systems for multiple criteria by means of soft computing methods”

1. Podstawa i przedmiot opracowania

Podstawę opracowania stanowi uchwała Rady Dyscypliny *Inżynieria Mechaniczna* Politechniki Śląskiej z dnia 22 września 2021 r. o powołaniu na recenzenta pracy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Schlietera (pismo RD(IME)-120/006/2020/2021 Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna z dnia 22.09.2021 r.).

Przedmiotem opracowania jest opinia dotycząca rozprawy doktorskiej pt. „Optimal design of mechanical systems for multiple criteria by means of soft computing methods” stanowiącej podsumowanie osiągnięć doktoranta oraz będącą podstawą ubiegania się o nadanie mu stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Inżynieria Mechaniczna (Mechanika)*. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Adam Długosz, prof. PŚ.

2. Ocena tematyki rozprawy

Tematyka rozprawy dotyczy bardzo ważnego obszaru inżynierii mechanicznej związanego z projektowaniem oraz wielokryterialną optymalizacją układów mechanicznych. Zagadnienie to, od wielu już lat, cieszy się zainteresowaniem naukowców i ośrodków badawczych. Potrzeba rozwijania tej tematyki wynika nie tylko z aspektów ekonomicznych projektowanych układów, ale także z konieczności uzyskania określonych ich cech i parametrów mechanicznych. Nie bez znaczenia jest fakt, że ze względu na znaczną liczbę różnych wariantów i złożoność takich układów znalezienie optymalnego rozwiązania wymaga niekiedy czasochłonnych i kosztownych obliczeń. Dlatego tak ważne staje się rozwijanie algorytmów, które w relatywnie krótkim czasie są w stanie znaleźć optymalny wariant w przestrzeni możliwych rozwiązań.

W ocenianej pracy zaproponowano wykorzystanie algorytmów określanych mianem miękkich metod obliczeniowych, których działanie inspirowane jest najczęściej pracą lub zachowaniem układów biologicznych. Ich działanie ma jednak pewne ograniczenia, dlatego

Biuro Dziekana

28 XII 2021

1

wpłynęło dnia
491RD/161006
nr 2021/2022 zat. 2 egzempl.

potrzeba udoskonalania istniejących podejść i poszukiwania nowych metod optymalizacji jest stale aktualna. W tym celu autor pracy zaproponował podejście bazujące na ewolucji różnicowej oraz elementach teorii gier, porównując jego skuteczność z metodami, które są z powodzeniem stosowane w zadaniach optymalizacji. W rozwijanym podejściu zwrócono także uwagę na prostotę definiowania parametrów algorytmu optymalizacji i wspomaganie wyboru optymalnego rozwiązania poprzez różne sposoby wizualizacji uzyskanych wyników.

Można zatem uznać, że podjęty przez doktoranta temat badań, mający na celu poszukiwanie skutecznych metod optymalizacji w odniesieniu do projektowanych układów mechanicznych, jest zasadny i potrzebny z praktycznego punktu widzenia.

W mojej ocenie tytuł rozprawy w odpowiednim stopniu oddaje zrealizowany jej zakres, choć przywołane w nim miękkie metody obliczeniowe mogą sugerować, że w pracy rozwijano więcej niż jeden algorytm optymalizacji. Tymczasem jedynie obliczenia związane z przykładami testowymi zawierają porównanie wyników optymalizacji z wykorzystaniem innych algorytmów miękkich. Praca nie straciłaby na wartości, gdyby jej temat przybrał formę np.: *Optimal design of mechanical systems for multiple criteria based on differential evolution and elements of game theory*.

Korespondowałoby to dobrze także z postawioną w pracy tezą, zawartą na str. 6, z której wynika, że (tłumaczenie własne): *Algorytm bazujący na ewolucji różnicowej oraz elementach teorii gier może być użyty jako skuteczne narzędzie optymalnego projektowania wielokryterialnego systemów mechanicznych*.

3. Charakterystyka rozprawy

Oceniana rozprawa doktorska napisana została w języku angielskim i obejmuje łącznie 137 stron, na które składają się: 120 stron tekstu podstawowego, 2 strony wykazu ważniejszych oznaczeń, wykaz literatury (179 pozycji), 74 rysunki, 26 tabel, 2 strony streszczenia w języku angielskim i polskim.

Praca składa się z 6 rozdziałów. Pierwszy z nich (2 strony) zawiera wprowadzenie w tematykę rozprawy. Zwrócono w nim uwagę na istotne z punktu widzenia podjętej problematyki zagadnienia, takie jak: optymalizacja wielokryterialna projektowanych układów mechanicznych, możliwość zastosowania nowego algorytmu bazującego na ewolucji różnicowej i elementach teorii gier, prostota określania parametrów rozwijanego algorytmu, różne sposoby wizualizacji wyników w celu wspierania wyboru optymalnego wariantu i analizowania zależności pomiędzy zdefiniowanymi kryteriami, weryfikacja rozwijanego algorytmu

na przykładach testowych oraz wybranych analitycznych i numerycznych zadaniach mechanicznych.

Drugi rozdział zawiera przegląd literatury związanej z zagadnieniem optymalnego projektowania układów mechanicznych. Wprowadzono w nim najważniejsze pojęcia dotyczące projektowania takich układów i metod wielokryterialnej optymalizacji, ze szczególnym uwzględnieniem miękkich metod obliczeniowych. Omówiono zagadnienia związane z modelowaniem numerycznym oraz technikami wizualizacji wspomagającymi podejmowanie decyzji. Ponadto zaprezentowano zadania używane do testowania algorytmów optymalizacji oraz metryki związane z oceną jakości ich testowania.

W rozdziale trzecim omówiono kluczowe założenia teorii gier (GT, ang. game theory) oraz algorytmów ewolucji różnicowej (DE, ang. differential evolution). Na prostym przykładzie teoretycznym przedstawiono też ideę zastosowania teorii gier w optymalizacji wielokryterialnej. Ponadto w rozdziale tym omówiono możliwości implementacji rozwijanego algorytmu DEGT z wykorzystaniem języka oprogramowania C++ oraz środowiska Visual Studio, włączając w to także aspekt komunikacji z oprogramowaniem służącym do modelowania zjawisk z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

Zasadniczą część pracy stanowią rozdziały czwarty i piąty, które zawierają rezultaty przeprowadzonych obliczeń oraz interpretację ich wyników. Rozdział czwarty zawiera porównanie skuteczności działania algorytmu DEGT w odniesieniu do dwóch wybranych algorytmów NSGA-II oraz NSGA-III, popularnie stosowanych w zadaniach wielokryterialnej optymalizacji. W przypadku algorytmu NSGA-II posłużono się oprogramowaniem Matlab, natomiast algorytm DEGT oraz NSGA-III zaimplementowano w postaci programów języka C++. W celu zrozumienia działania rozwijanego algorytmu, a przede wszystkim określenia jego mocnych i słabych stron, przeprowadzono obliczenia w odniesieniu do sześciu wybranych przykładów testowych o różnych poziomie złożoności. Na podstawie uzyskanych wyników dokonano ich porównania i wyciągnięto wnioski.

W rozdziale piątym zaproponowany algorytm został zastosowany w sześciu wybranych zadaniach optymalizacji układów mechanicznych. W przypadku trzech pierwszych zadań wartości funkcji celu obliczane były na podstawie formuł analitycznych (rozdział 5.1). Kolejne trzy rozpatrywane zadania wymagały przeprowadzania symulacji numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych i dotyczyły one optymalizacji: profilu lotniczego statku bezzałogowego, mikrośilownika elektrotermicznego oraz wielkoskalowego materiału porowatego. Uzyskane wyniki przedstawione zostały z wykorzystaniem technik

wizualizacji zbiorów wielowymiarowych. Na wybranym przykładzie zademonstrowano proces związany z podejmowaniem decyzji na podstawie uzyskanych wyników optymalizacji. Każde ze zrealizowanych zadań podsumowane zostało w formie wniosków.

Rozdział szesty zawiera podsumowanie pracy, w którym zebrano najistotniejsze wnioski oraz wskazano kierunki dalszych badań.

4. Ocena rozprawy doktorskiej

4.1. Ocena merytoryczna

Oceniana praca posiada przemyślany i logiczny układ. Blisko połowę jej objętości zajmuje przegląd literatury oraz wprowadzenie teoretyczne do zagadnień związanych z zadaniami optymalizacji, miękkimi metodami obliczeniowymi, używanymi w pracy wskaźnikami oceny skuteczności zastosowanych algorytmów optymalizacji oraz sposobami wizualnej prezentacji wielowymiarowych wyników optymalizacji. Autor dobrze umotywowował zasadność podjętej tematyki badań na tle aktualnego stanu wiedzy. Zrealizowane w pracy badania są też dobrze zaplanowane. Prawidłowo dobrano narzędzia i modele, a następnie przeprowadzono proces optymalizacji, formułując przy tym logiczne wnioski. W ten sposób doktorant wykazał się wysokim poziomem wiedzy i umiejętności w przeprowadzaniu badań oraz programowaniu z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi i metod numerycznych.

Głównym i oryginalnym osiągnięciem autora jest opracowanie nowego algorytmu optymalizacji wielokryterialnej, który można z powodzeniem stosować w procesie projektowania różnych układów mechanicznych, zarówno w odniesieniu do analitycznych, jak i numerycznych zadań mechaniki. Jedną z zalet zaproponowanego algorytmu, na którą autor zwrócił uwagę, jest prostota określania parametrów wpływających na jego działanie. Analiza wrażliwości tych parametrów na wynik optymalizacji wskazana została jako kierunek dalszych badań i z pewnością warto je podjąć, by zyskać szerszą wiedzę na temat skuteczności jego działania.

W kontekście definicji skuteczności zastosowanego algorytmu optymalizacji (str. 6, akapit 1, wiersz 5-6) autor wspomniał o czasie znalezienia satysfakcjonującego rozwiązania. Zagadnienie to nie zostało jednak poddane szerszej analizie w tekście pracy. Byłoby ono jednak wskazane np. w odniesieniu do zadań testowych, w których działanie algorytmu DEGT porównano z wynikami dwóch innych algorytmów optymalizacji wielokryterialnej, przedstawionych w rozdziale czwartym.

Choć formułowanie tezy rozprawy doktorskiej i jej udowodnienie nie stanowi wymogu formalnego, to jednak na podstawie zawartych w rozprawie wyników badań numerycznych stwierdzam, że zaproponowany przez autora algorytm bazujący na ewolucji różnicowej oraz elementach teorii gier może być użyty jako skuteczne narzędzie optymalnego projektowania wielokryterialnego systemów mechanicznych, niekiedy nawet skuteczniejsze od innych popularnie stosowanych algorytmów optymalizacji wielokryterialnej.

4.2. Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest w sposób zrozumiały i poprawny pod względem językowym. Autor na ogół poprawnie stosuje odwołania do rysunków i tabel. Wyjątek stanowi:

- str. 34, w zdaniu powyżej równania (21) powinno znaleźć się odwołanie do rys. 19 zamiast 18,
- brak podpisów i odwołań do tabel na str. 40 i 41,
- brak odwołania w tekście do rys. 22 i 23 znajdujących się na str. 41 i 42,
- str. 106, w akapicie pod wzorem 66 podano błędną jednostkę siły F_{cr} : prawdopodobnie powinno być „ μN ” zamiast „ μm ”,
- na str. 107, w zdaniu pod rys. 64 powinno być „them” zamiast „then”,
- brak numeru w odwołaniu do tabeli zawartym na str. 108 (akapit 2 od dołu).

Odwołania do pozycji literatury także stosowane są na ogół poprawnie. W tym przypadku wyjątek stanowią odwołania do kilku pozycji literatury, np. na str. 13 powinno być „[9, 10]” zamiast „[9], [10]” lub na str. 19 powinno być [33-35] zamiast [33]-[35]. Usterki te dotyczą całej pracy i warto na przyszłość je wyeliminować, choć mogą one wynikać ze specyfiki zastosowanego narzędzia bibliograficznego.

Jeśli zamieszczone w pracy rysunki opracowane zostały na podstawie innych źródeł, to powinno być to zaznaczone odpowiednim odnośnikiem do pozycji literatury. Taka wątpliwość pojawia się w przypadku rys. 1-4.

W tekście pracy występują też miejsca, w których można by wstawić odpowiednie przypisy do literatury. Pomogłyby one znaleźć więcej informacji na dany temat. Dotyczy to np. opisywanych ograniczeń algorytmu NSGA-II na str. 9, opisując różne metody na str. 14 (patrz akapit 2 od dołu) lub na końcu podanego w tekście pracy tytułu książki (zdanie to kończy się na górze str. 14), której nie znalazłem w wykazie literatury.

Inne zauważone drobne usterki tekstu:

- str. 6, akapit drugi od dołu, pierwsze zdanie: powinno być „In the fifth chapter” zamiast „In the fourth chapter”,

- na str. 20 wkradł się błąd łamania i składu, który spowodował, że tekst podpisu został oddzielony od rys. 7 fragmentem tekstu,
- w tabelach 13 i 14 przy definicji funkcji celu pojawiły się zmienne l_3 i l_4 , które nie występują na rysunku, ani w podanych formułach,
- na str. 39 występuje literówka w nazwie biasu: powinno być b_{flat} zamiast b_{falt} ,
- na str. 108 znajduje się też jedna z nielicznych usterek stylistycznych (ostatni akapit, ostatnie zdanie jest niezrozumiałe, prawdopodobnie w wyniku nanoszonych poprawek).

Podsumowując pragnę podkreślić, że wszystkie wykazane powyżej usterki tekstu nie umniejszają wysokiej wartości rozprawy i powinny stanowić dla autora przede wszystkim charakter informacyjny, zwłaszcza jeśli w przyszłości planowane jest opublikowanie wyników zrealizowanych badań w formie artykułów naukowych.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Schlietera pt. „Optimal design of mechanical systems for multiple criteria by means of soft computing methods” stwierdzam, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne dzieło naukowe, a doktorant wykazał się znajomością procedur związanych z planowaniem i prowadzeniem badań numerycznych (w szczególności wykorzystujących miękkie metody obliczeniowe) w celu optymalizacji układów mechanicznych oraz umiejętnością programowania i modelowanie za pomocą metody elementów skończonych. Poprawnie zinterpretował uzyskane w pracy wyniki formułując przy tym wnioski końcowe, istotne z naukowego i praktycznego punktu widzenia.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania zawarte w *Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 63, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami), dlatego wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony.

Piotr Nazarko