

Gdańsk 15.10.2016 r.

dr hab. inż. Lech Rowiński
Politechnika Gdańska
Narutowicza 11/12
80-952 Gdańsk

Recenzja

rozprawy doktorskiej por. mgr inż. Wojciecha Leśniewskiego

pt.: *„Ocena wpływu własności czynnika chłodzącego oraz geometrii i parametrów pracy wysokomomentowego silnika elektrycznego na sprawność podowego pędnika małej mocy”*

Do recenzji przedstawiono opracowanie o objętości 126 stron, składające się z ośmiu rozdziałów oraz bibliografii. Strona formalna opracowania jest poprawna.

1 Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie pisemnego zlecenia Dziekana Wydziału Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej Pana dr hab. inż. Janusza Kozaka,
L. Dz. WOiO/200/2016 z dnia 24 maja 2016 r.

2 Zawartość opracowania

2.1 W Rozdziale 1 - „Wstęp”

Autor przedstawił w sposób bardzo skrótowy, celowość podjęcia tematyki projektowania i eksploatacji okrętowych elektrycznych zespołów napędowych w postaci silników zintegrowanych z pędnikami śrubowymi występujących w literaturze pod nazwą napędów gondolowych lub podowych.

2.2 Rozdział 2 - „Obecny stan wiedzy”

W pierwszej części rozdziału autor scharakteryzował rodzaje silników elektrycznych stosowanych do napędu pędników śrubowych. W drugiej części scharakteryzowano układy napędowe złożone z silników układów przeniesienia napędów oraz pędników. W części

trzeciej skoncentrowano się na gondolowych zespołach napędowych dużych i małych mocy stosowanych do napędu jednostek pływających.

2.3 Rozdział 3 „Teza, cel i zakres pracy”

Zawiera informację o celach pracy oraz treści kolejnych rozdziałów.

2.4 Rozdział 4 „Badania eksperymentalne”

Rozdział poświęcono omówieniu 3 stanowisk do badań silników elektrycznych i zespołów napędowych opracowanych przez autora w kolejnych etapach badań. Stanowiska złożone one z układów obciążających pracujący silnik były oraz sprzętu do pomiaru i rejestracji parametrów pracy układu napędowego i warunków zewnętrznych (temperatury). Przedstawiono również stosowane przez autora metody kalibracji układów pomiarowych. Rozdział zakończono opisem jednego z badanych układów napędowych oraz omówieniem cieczy chłodzących wewnątrz zespołu napędowego wybranych do badań wpływu lepkości czynnika chłodzącego na parametry pracy przy różnych obciążeniach. Lepkość cieczy dobrano w sposób zapewniający jednoznaczne wykazanie trendów zmian parametrów.

2.5 Rozdział 5 - „Prezentacja wyników eksperymentu”

Zawiera wykresy zależności pomiędzy parametrami układu napędowego dla cieczy chłodzących wyszczególnionych w rozdziale 4. Zestawy wykresów zakończono komentarzami dotyczącymi przebiegu analizowanych zjawisk i ich parametrów.

2.6 Rozdział 6 - „Opis matematyczny”

Pierwsza część rozdziału przedstawia aproksymacje liniowe zależności sprawności badanych układów w funkcji mocy napędowej odbieranej dla różnych prędkości obrotowych. Do aproksymacji użyto wielomianów drugiego stopnia dla których dobrano stałe współczynniki.

W części drugiej rozdziału przedstawiono te same wyniki badań w formie aproksymacji zależności sprawności układu napędowego od prędkości obrotowej dla wybranych wartości mocy oddawanej przez zespół napędowy. Wykorzystano w tym celu wielomiany trzeciego stopnia.

W części trzeciej części rozdziału Autor zaproponował przedstawienie wyników badań w formie złożonego wielomianu aproksymującego.

2.7 Rozdział 7 - „Porównanie wyników”

Rozdział poświęcony jest porównaniu wyników pomiarów z wynikami obliczeń dokonanych za pomocą wyrażenia aproksymującego przedstawionego w rozdziale 6.

W pierwszej części przedstawiono porównania graficzne krzywych zmian sprawności uzyskanych bezpośrednio w wyniku aproksymacji wartości wyznaczonych w pomiarach oraz krzywych uzyskanych w wyniku obliczeń wykonanych z wykorzystaniem wyrażenia (równania) 8.

W drugiej części rozdziału w punktach 7.1 i 7.2 określono liczbowo wartości różnic między wartościami obliczonymi z wykorzystaniem wyrażenia (8), a wartościami aproksymowanymi w sposób przedstawiony w rozdziale 6.

2.8 Rozdział 8 - „Uwagi i wnioski końcowe”

Praca zakończona jest podsumowaniem, w którym zawarto wnioski z przeprowadzonych badań. Wnioski są zgodne z wynikami i eksperymentów przeprowadzonych na obiekcie rzeczywistym (zespole napędowym) na stanowisku opracowanym przez autora. Autor przedstawił również zamierzenia dotyczące dalszych badań nad zespołami napędowymi rozważanego typu.

2.9 Bibliografia

Bibliografia obejmuje 76 pozycji dobrze opisujących tematykę rozprawy i jest przygotowana poprawnie.

Doktorant jest autorem 1 pozycji i współautorem 5 pozycji. Udziału doktoranta w opracowaniach zbiorowych nie określono.

Ogólna ocena pracy

Przedstawiona praca dotyczy badań w bardzo aktualnym obszarze sprawności elektrycznych układów napędowych. Dzięki wielu pozytywnym cechom napędy elektryczne wypierają inne rodzaje napędów w wielu dziedzinach. Napędy jednostek pływających nie są żadnym wyjątkiem. Podstawą rozwoju napędów elektrycznych jest rozwój techniki przede wszystkim w obszarach energoelektroniki, inżynierii materiałowej, sensorów oraz algorytmów przetwarzania sygnałów i algorytmów regulacyjnych. Pozwoliło to na osiągnięcie gęstości mocy zespołów napędowych na poziomie napędów hydraulicznych oraz dużo wyższej sprawności energetycznej. Wysoka gęstość mocy jest przyczyną pojawiających się

problemów z odprowadzaniem ciepła strat elektrycznych. Jednym z rozwiązań tych problemów jest wypełnienie wnętrza silnika cieczą chłodzącą. Pojęcie cieczy chłodzącej jest bardzo szerokie i nieprecyzyjne. W silnikach stosowane są gazy (wodór, hel, powietrze), oleje mineralne i syntetyczne oraz woda (destylowana i morska). Stąd jednym z obszarów badań jest dobór płynów o optymalnych cechach dla rozważanego zastosowania. W przypadku zespołu napędowego z łożyskami i przekładniami zastosowany płyn musi mieć odpowiednie własności smarne, obok oczywistych własności cieplnych. Z powyższych względów podjęty przez autora temat badań jest bardzo istotny i aktualny. Definicja zadań cząstkowych oraz sposoby ich realizacji są zgodne z zasadami prowadzenia badań eksperymentalnych na obiektach rzeczywistych.

Niestety praca bardzo dobra w części eksperymentalnej nie jest pozbawiona wad w sferze opisowo analitycznej. W pracy brak szerszego spojrzenia na problem. Autor nie odniósł się do fizycznej istoty zespołu napędowego przenosząc problem do przyszłych badań. Brak komentarza do jakiego stopnia celowe jest określanie własności geometrycznych dla szacowania sprawności silnika.

Uzasadnieniem dla przyjętej przez Autora formy przedstawienia wyników jest prawdopodobnie obszerność opracowywanego problemu i chęć jasnego przedstawienia zagadnień. Jednak ocena uzyskanego rozwiązania nie może opierać się tylko na przedstawionych założeniach i końcowych wynikach skomplikowanych obliczeń. Dlatego też istotną wadą pracy jest przedstawienie ostatecznych wyników prowadzonych obliczeń co uniemożliwia ocenę wiarygodności wykonywanych pomiarów, przekształceń i obliczeń. Odpowiednie kopie przykładowych elementów raportów lub inne dokumenty winny zostać zamieszczone jako załączniki.

Brak jest wielu wniosków w tym wniosków dotyczących wytycznych projektowych lub użytkowych np. w rodzaju: korzystne jest stosowanie płynu o najniższej osiągalnej lepkości. Być może wydają się one autorowi zbyt oczywiste.

Za zasadnicze części pracy, stanowiące efekt własnej pracy doktoranta uznać należy:

1. Opracowanie stanowiska badawczego przedstawione w rozdziale 4 badania eksperymentalne
2. Wykonanie pomiarów których wyniki przedstawiono w rozdziale 5
3. Przygotowanie wzorów aproksymacyjnych w rozdziale 6

3 Szczegółowe pytania i uwagi:

Poniżej przedstawiono uwagi szczegółowe dotyczące treści poszczególnych części pracy.

Z punktu widzenia merytorycznej wartości pracy niektóre mają znaczenie drugorzędne pozostałe wymagają jednak wyjaśnienia ze strony doktoranta lub przedstawienia załączników i raportów.

Podstawową uwagą do pracy, a właściwie jej autora jest brak chęci podzielenia się z czytelnikiem posiadaną wiedzą i wnioskami, które autor wyciągał na różnych etapach badań. Dotyczy to zarówno omówienia stanu wiedzy w rozważanej dziedzinie jak i dotyczących wykonywanych lub nie wykonywanych przez autora czynności oraz wyników tych działań.

Uwagi edytorskie:

- Brak spisu oznaczeń i skrótów stosowanych w tekście.

Praca nosi charakter wybitnie eksperymentalny z pominięciem jakiegokolwiek opisu analitycznego omawianych zjawisk. Mimo to autor winien przedstawić spis stosowanych skrótów i oznaczeń.

- Brak spisu rysunków i tabel.
- Na cytowanych rysunkach zachowano opisy w języku angielskim

Do Rozdziału 1 - „Wstęp”:

Wstęp składa się z dwóch części. Pierwsza część, do strony 6, jest rzeczywiście wstępem, w którym uzasadniono celowość realizacji pracy przedstawionej w dysertacji. W drugiej części wstępu autor zaczął omawiać szczegóły stanu techniki. Treść zawarta w tej części winna być przeniesiona do rozdziału 2, który jest poświęcony tej tematyce w całości.

Do Rozdziału 2 - „Obecny stan wiedzy”

- Autor winien zdefiniować pojęcia jakich używa w opisach i komentarzach. Jako specjalista w rozważanej dziedzinie winien dbać o jednoznaczność nazewnictwa. Analizę przedstawionych informacji utrudnia brak systematyzacji zagadnień i rozwiązań technicznych. Bez ustalenia nazewnictwa trudno omówić poszczególne elementy układu napędowego i ich funkcje.
- Przede wszystkim autor nie zdefiniował pojęć:

- *silnik wysokomomentowy małej mocy (występujący w tytule pracy)*
- *Pędnik gondolowy, pędnik podowy* - Autor używa określenia „pędnik” w odniesieniu do kompletnego (zintegrowanego) zespołu napędowego złożonego z obudowy, silnika elektrycznego przekładni i czasem zasilacza. Nazwa pędnik stosowane jest zwykle do elementu mechanicznego oddziałującego z wodą w celu wygenerowania naporu (np. pędnik łopatkowy, pędnik śrubowy).
- Na rysunku 2.1 przedstawiono dwa urządzenia które nazwano silnikami. Na podstawie zdjęć trudno wyciągnąć wniosek sugerowany przez autora, natomiast w opisie błędnie (prawdopodobnie) podano wartość mocy silnika napędowego statku Normadie (0,3 MW) co mogło by sugerować, że osiągnięto stukrotne zwiększenie mocy silników o podobnej masie i gabarytach. Moc napędowa statku Normadie wynosiła 100 MW.
- na stronie 19 autor używa określenia „saildrive” nie podając jego definicji. Natomiast na stronie 26 to samo określenie użyte jest do innego rozwiązania.
- Na stronie 32 autor użył określenia „klasyczny ster bierny”, które nie zostało zdefiniowane.
- Zdanie drugie na stronie 33 jest niezrozumiałe.
- W drugim akapicie punktu 2.4 zwrócono uwagę na trudności z magazynowaniem energii elektrycznej na statkach, co nie ma nic wspólnego z tematyką pracy. Natomiast stwierdzenie, że można magazynować energię na małym statku, a na dużym nie, jest niczym nie uzasadnione.
- Na stronie 40 przedstawiono uszkodzenie zasilacza silnika wywołane zalaniem wodą co nie ma związku z tematem pracy. Każde otwarte urządzenie elektryczne ulega uszkodzeniu po zalaniu wodą w czasie pracy (ze względu na występujące w nim różnice potencjałów).

Do Rozdziału 3 - „Teza, cel i zakres pracy”:

- Zgodnie z przyjętymi zasadami tezy i cel pracy winny być przedstawione w Rozdziale 2. Było by to dobrym uzasadnieniem dla rozdziału opisującego stan wiedzy (obecnie rozdział 2).
- Autor używa skrótów myślowych które zmuszają do domyślania się jakie autor miał intencje. Można się więc domyślać, że teza dotyczy możliwości opracowania opisu matematycznego zespołu napędowego zapewniającego „bezpieczną i sprawną eksploatację”.

Do Rozdziału 4 - „Badania eksperymentalne”:

- Na str. 52 p. 4.3 autor zatytułował "Opis badanego układu napędowego". W treści punktu podano parametry łodzi.
- Na stronie 53 podano pewne parametry badanego silnika nie wskazując rodzaju zastosowanego silnika (z wirnikiem wewnętrznym czy wirnikiem zewnętrznym), co ma istotne znaczenia w przypadku wypełniania wnętrza silnika cieczą.
- W zasadzie rozważania przedstawione w kolejnych częściach pracy dotyczą obiektu o jednej (jedynej), konfiguracji w dodatku bardzo słabo udokumentowanej (nieznanej).
- Na fotografiach autor przedstawia stanowisko pomiarowe z różnymi silnikami nie wskazując jednoznacznie, którego silnika dotyczą wyniki badań.
- Problematiczna jest sprawność silnika wynosząca 94%. Nie podano dla jakich parametrów. W badaniach osiągnięto sprawność rzędu 75%. Autor nie podał dlaczego tak niską?
- W punkcie 4.3.1. Użyto określenia „elektryczny silnik głębinowy” nie podając definicji.
- W tytule punktu 4.4- „opis warunków pracy” nie określono czego warunki pracy dotyczą
- W punkcie 4.4 użyto określenia „kompletny pędnik z pominięciem skrzydeł śruby napędowej”. Czy oznacza to że zachowano piastę?
- W punkcie 4.4 - „opis warunków pracy” nie podano informacji o regulacji temperatury wokół pracującego zespołu napędowego.
- Nie określono punktu pomiaru temperatury silnika lub innego elementu zespołu napędowego. Na rysunku 4.11 pokazano 3 różne punkty.
- Nie określono sposobu uszczelnienia wału napędowego silnika lub zespołu napędowego. Element ten może mieć wpływ na sprawność układu.
- Moc mechaniczna oddawana przez badany układ nie była mierzona tylko obliczana.
- Nie podano dokładności pomiaru momentu i prędkości obrotowej.
- Nie przedstawiono sposobu regulacji mocy silnika jako wartości stałej w seriach pomiarów nie podano też błędu regulacji.

- Sprawność układu nie była mierzona tylko obliczana na podstawie mierzonych parametrów elektrycznych i mechanicznych. Nie podano jakich metod pomiarowych użyto do pomiaru wielkości elektrycznych i z jaką dokładnością je mierzono.
- W przypadku zasilania silnika elektrycznego z zasilacza impulsowego z ze zmienną szerokością impulsu (PWM) zarówno miejsce pomiaru jak i narzędzie użyte do pomiaru mają wpływ na uzyskiwane wyniki.
- Nie określono jaka jest sprawność nominalna układu napędowego z zasilaczem i kablami. Być może można uznać, że sprawność układu napędowego z silnikiem wypełnionym powietrzem jest wartością odniesienia dla innych pomiarów. Jest to wtedy maksymalna wynikowa sprawność tego układu. Sprawność ta jest obniżana przez straty wynikające ze stosowania cieczy o różnej gęstości, ale jest to tylko domniemanie.

Do rozdziału 5 - „Prezentacja wyników eksperymentu”:

- Brak oceny dokładności wyznaczenia wartości parametrów pracy badanego układu, czyli błędów wynikających z operacji matematycznych na wartościach obarczonych błędami.
- Wykresy nie są jednoznacznie opisane. O zawartości wykresów (rysunków) można się zorientować jedynie po pozycji w tekście. Natomiast zamieszczanie wszystkich wykresów w pracy jest nieuzasadnione. Można je przenieść do załącznika.
- autor nie podaje przyczyny ograniczenia temperatury pracy silnika do 45°C, skoro na stronie 14 stwierdza, że magnesy stosowane w silnikach tracą własności w temperaturze 130 °C. Zarówno zastosowane oleje smarne jak i materiały izolacyjne uzwojenia silnika są odporne na temperatury wyższe niż 45°C. Nie można stwierdzić czy chłodzenie silnika wypełnionego powietrzem jest wystarczające czy nie.

Do rozdziału 6 - „Opis matematyczny”

Nie oceniono przydatności zobrazowania wyników dokonanej w części pierwszej.

Nie podano jak ustalono wartości współczynników występujących w wyrażeniach.

Niestety dążąc do jednolitego podejścia do wyznaczania współczynników wielomianów aproksymujących Autor przedstawia wartości typu $1,6499 \cdot 10^{-20}$

Do rozdziału 7 - „Porównanie wyników”

Rozdział poświęcony jest porównaniu wyników pomiarów z wynikami obliczeń dokonanych za pomocą wyrażenia aproksymującego (8), przedstawionego w rozdziale 6.

W pierwszej części przedstawiono porównania graficzne krzywych zmian sprawności uzyskanych bezpośrednio w wyniku aproksymacji wartości wyznaczonych w pomiarach oraz krzywych uzyskanych w wyniku obliczeń wykonanych z wykorzystaniem wyrażenia (równania) 8.

W drugiej części rozdziału w punktach 7.1 i 7.2 określono liczbowo wartości różnic między wartościami obliczonymi z wykorzystaniem wyrażenia (8), a wartościami aproksymowanymi w sposób przedstawiony w rozdziale 6.

- Trudno odnieść się do zastosowanego aparatu matematycznego przywołano jedynie ogólny schemat algorytmu.
- Nie przedstawiono oceny dokładności pomiarów
- Nie przedstawiono bowiem kryteriów oceny zbieżności wyników symulacji z wynikami pomiarów.
- Jeżeli wyrażenie lub krzywa jest aproksymacją wyników to w oczywisty sposób jest tożsama z wynikami. Nie można oceniać dokładności pomiarów jeżeli jej nie określono. Błąd aproksymacji nic nie mówi o dokładności wyznaczania wartości parametru.

Autor w minimalnym stopniu skomentował przedstawione wyniki obliczeń.

W żadnym punkcie autor nie podjął się uogólnienia wniosków na podstawie wyników swojej pracy. W zasadzie rozważania dotyczą obiektu o jednej konfiguracji w dodatku bardzo słabo udokumentowanej.

Do rozdziału 8 - „Uwagi i wnioski końcowe”

Jak stwierdzono powyżej można się domyślać, że teza pracy dotyczyła możliwości opracowania opisu matematycznego zespołu napędowego zapewniającego „bezpieczną i sprawną eksploatację”.

- Wykonano badania i obliczenia niezbędne do określenia wpływu nominalnej lepkości cieczy wypełniającej silnik na wybrane parametry pracy związane z parametrami użytkowymi.
- Nie badano wpływu parametrów geometrycznych silników (zespołów napędowych) co było jednym z założonych celów. Autor nie przedstawił przyczyny dla której zmienił zakres badań. Dla czytelności cel ten winien zostać usunięty z rozdziału 3.
- We wnioskach nie odniesiono się w niezbędnym zakresie do drugiej części tezy pracy, dotyczącej bezpieczeństwa eksploatacji zespołu napędowego. Można tego

dokonać np. przykład przez ustalenie, na podstawie opracowanego wyrażenia (8), parametrów pracy prowadzących do przekroczenia temperatury dopuszczalnej.

- Z punktu widzenia wykorzystania wyników przedstawione rozważania mają wartość jakościową. W zasadzie rozważania dotyczą obiektu o jednej konfiguracji, która konfiguracja jest w dodatku bardzo słabo udokumentowana.

Do bibliografii

- Przywołana literatura nie zawiera odwołań do raportów z realizowanych przez autora badań i przeprowadzonych symulacji. Autor wspomina o symulacjach przeprowadzonych podczas przygotowywania pracy magisterskiej ale nie przedstawia związków między wynikami tych symulacji a wynikami badań przedstawionych w recenzowanym opracowaniu

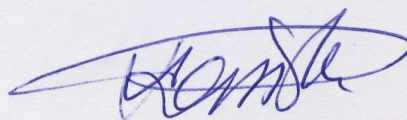
4 Wnioski końcowe

Mimo wymienionych uwag przedstawiona praca wykazuje akceptowalny poziom opanowania przez doktoranta problematyki nowoczesnych napędów elektrycznych w zastosowaniach okrętowych oraz znajomość metod wyznaczania wielkości niezbędnych do oceny własności szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych. Doktorant posiada również umiejętności niezbędne do kojarzenia wyników badań symulacyjnych z wynikami badań rzeczywistych modeli obiektów rozważanej klasy.

Za nowe z punktu widzenia naukowego i stanowiące własny dorobek doktoranta należy uznać:

1. Opracowanie metody badania zespołów napędowych w warunkach bliskich warunków eksploatacyjnych.
2. Opracowanie koncepcji stanowiska do badań zespołów napędowych w warunkach bliskich warunków eksploatacyjnych.
3. Algorytm postępowania udoskonalony podczas przedstawionych badań może być podstawą do dalszych prac na drodze do wyznaczenia wpływu innych parametrów konstrukcji zespołów napędowych.
4. Cenny jest również jest również wynik opisu charakteru zjawisk w postaci jednego wyrażenia gdzie zmiennymi niezależnymi są tylko obroty silnika i lepkość cieczy wypełniającej zespół napędowy.

Na podstawie powyższych wniosków stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawne (Ustawa z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. nr 65 poz.595) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Lech Rowiński