

Lublin, 09.09.2022

Prof. dr hab. inż. Antoni Świć
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
mgr inż. Rafała Czoka
p.t.

Właściwości trakcyjne pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym

Promotor: dr hab. inż. Sebastian Brol, prof. Uczelni

Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Opolskiej z dnia 08.07.2022 r., pismo RDDIM/147/22.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje 136 stron, zawiera 52 rysunki i 17 tabel.

W jej skład wchodzi wykaz ważniejszych akronimów i oznaczeń, wykaz pojęć i nazw, wstęp, sześć rozdziałów (ostatni rozdział to wnioski), literatura oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

We wstępie Autor konkluduje, że podjęta tematyka jest istotna i, że przeprowadzone badania umożliwią opracowanie metodyki projektowania układu napędowego hydrauliczno-pneumatycznego pojazdu, a także konstrukcji takiego układu napędowego i określenie parametrów trakcyjnych pojazdu.

W rozdziale pierwszym (analizie literatury) przeanalizowano właściwości trakcyjne pojazdów z napędem pneumatycznym, hydraulicznym oraz hydrauliczno-pneumatycznym. Scharakteryzowano poszczególne rodzaje napędów w pojazdach, takie jak: elektryczny, spalinowy, pneumatyczny, hydrauliczny i pneumatyczno-hydrauliczny, ich zalety i wady. Na podstawie analizy literatury Autor stwierdza,

Wpłynęło dn. 1.2.2022
L. Cz. RDDIM/159/2022

że istotne jest zbadanie zależności parametrów konstrukcyjnych między elementami układu pneumatyczno-hydraulicznego i wykazanie ich wpływ na własności trakcyjne.

Rozdział drugi zawiera cel, tezę i zakres pracy.

W rozdziale 3 Autor wyszczególnia etapy badań. Przedstawił powszechnie znane modele matematyczne do określania sił oddziałujących na pojazd w fazach ruchu oraz modele przemian fazowych i przepływu gazu przez wybrany ośrodek. Zostały one wykorzystane do przeprowadzenia symulacji. Zbudowany został prototyp pojazdu, na bazie pojazdu ATV firmy Adly, w którym silnik cieplny został zastąpiony jednostką pneumatyczno-hydrauliczną. Przeprowadzone zostały badania drogowe na odcinku testowym na powierzchni płaskiej asfaltowej, bez ubytków. Badania pojazdu z jednostką pneumatyczno-hydrauliczną zostały przeprowadzone w przypadku ruchu przyspieszonego oraz w stanie ustalonym.

Rozdział 4 prezentuje wyniki badań drogowych oraz badań symulacyjnych. Przebadano zmiany ciśnienia w konwerterze w przypadku takich samych warunków pracy, różnice ciśnienia gazu pomiędzy konwerterami w cyklu, proces rozprężania gazu ze zbiornika głównego do konwertera, wpływ parametrów konstrukcyjnych na wskaźniki pracy jednostki napędowej. Przedstawiono wpływ chłonności silnika hydraulicznego, a także parametrów konstrukcyjnych konwertera na właściwości trakcyjne pojazdu. Określono sprawność pojazdu prototypowego.

W rozdziale 5 autor przedstawił algorytm doboru parametrów elementów składowych układu PH.

Spis literatury zawiera 120 pozycji, w tym 21 Doktoranta współautorskich z Promotorem.

2. Wybór tematu pracy, cel i zakres pracy

Badania własne Doktoranta zostały poprzedzone analizą aktualnego stanu wiedzy na podstawie reprezentatywnej w przypadku problematyki rozprawy literatury, w większości pochodzącej z ostatnich lat, w oparciu, o którą Autor uzasadnił ważność i celowość podjętej tematyki pracy.

Treść rozprawy jest zgodna z tematem. Problemy rozwiązywane w pracy są istotne i aktualne, dotyczą jednostki napędowej pneumatyczno-hydraulicznej o synergicznych właściwościach energetycznych i trakcyjnych.

Autor podjął się, moim zdaniem z powodzeniem, rozwiązania problemu naukowego i użytecznego dotyczącego badań nad konstrukcją układu napędowego pneumatyczno-hydraulicznego, parametrami trakcyjnymi pojazdu z takim układem oraz opracowania metodyki projektowania układu napędowego pojazdu z układem pneumatyczno-hydraulicznym.

Przeprowadzona przez Autora analiza literaturowa pokazuje, że jest możliwa poprawa własności jednostki napędowej w kontekście charakterystyk układu napędowego nią napędzanego. Można tego dokonać na podstawie doboru parametrów konstrukcyjnych elementów napędowych układu pneumatyczno-hydraulicznego. Dobór ten ma wpływ tak na stronę mechaniczną jak i pneumatyczno-

hydrauliczną układu napędowego i powinien się odbywać przy utrzymaniu zależności między parametrami elementów składowych układu.

Doktorant stwierdza, że zależności te nie są znane. Praca dotyczy więc określenia zależności parametrów konstrukcyjnych między elementami układu napędowego i wykazania ich wpływu na własności trakcyjne w sposób bezpośredni bądź pośredni lub na obwiednie obiegu termodynamicznego w konwertorach energii.

Na podstawie analizy literatury i wyników wstępnych badań został sformułowany cel, teza i zakres pracy:

Cel pracy należałoby sformułować bardziej jednoznacznie, a mianowicie co w wyniku realizacji pracy Autor chce uzyskać. Autor wyszczególnił w nim kolejne kroki, które prowadzą do osiągnięcia celu w 6 punktach, punkty 1, 2 i 5 zawierają jeszcze podpunkty, w dużej części są to zadania wchodzące w zakres pracy.

Teza pracy: Możliwe jest zwiększenie sprawności układu napędowego pneumatyczno-hydraulicznego poprzez zmianę jego konstrukcji oraz racjonalny dobór parametrów komponentów układu.

Teza pracy została sformułowana właściwie i nie budzi zastrzeżeń.

Potwierdzenie tezy pracy wymaga realizacji zadań wyszczególnionych w zakresie pracy, takich jak:

- opracowanie modelu matematycznego jednostki pneumatyczno-hydraulicznej oraz określenie przebiegu zjawisk występujących podczas pracy układu napędowego,
- opracowanie modelu symulacyjnego jednostki pneumatyczno-hydraulicznej w celu przygotowania prototypu;
- badania symulacyjne wpływu: objętości i ciśnienia zbiornika głównego na zasięg i sprawność pojazdu oraz zaworów pneumatycznych, a także parametrów pracy konwertora na sprawność całkowitą oraz wybrane wyróżniki charakteryzujące pracę układu napędowego;
- badania eksperymentalne dotyczące wpływu: różnicy ciśnień gazu pomiędzy zbiornikiem głównym i konwerterem na sprawność całkowitą oraz zasięg pojazdu, chwilowego ciśnienia gazu w konwertorach na sprawność całkowitą oraz wybrane wyróżniki charakteryzujące pracę układu napędowego. Zbadanie skutków zjawiska dławienia i duszenia konwertorów w kontekście wybranych parametrów trakcyjnych pojazdu oraz sprawności ogólnej pojazdu prototypowego w ruchu przyspieszonymi ze stałą prędkością.

W pracy Autor wykorzystał następujące metody badawcze:

- badania symulacyjne;
- badanie eksperymentalne: stanowiskowe i drogowe;

oraz narzędzie, czyli:

- program Matlab/Simulink.

Zakres pracy Doktorant określił właściwie.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Doktorant opracował modele matematyczny i symulacyjny jednostki pneumatyczno-hydraulicznej, na podstawie których zrealizował badania symulacyjne. Wykonał eksperymentalne badania stanowiskowe i drogowe z wykorzystaniem prototypu. Opracował również algorytm ustalania parametrów elementów składowych jednostki pneumatyczno-hydraulicznej.

Autor ustalił, iż w przypadku występowania efektu „dławienia” należy zwiększyć przepływ gazu w wyniku zwiększenia współczynnika zaworu pneumatycznego napełniającego i średnicy zastępczej przewodów doprowadzających gaz ze zbiornika głównego do konwertora, natomiast w przypadku wystąpienia efektu „duszenia” konwertora trzeba zwiększyć przepływ gazu z konwertora na zewnątrz układu, poprzez zwiększenie współczynnika zaworu pneumatycznego upustowego i średnicy rur.

Określił wpływ objętości początkowej konwertora na górną część pracy obiegu w układzie pV i na czas niezbędny do uzyskania wymaganego ciśnienia i objętości końcowej konwertora na dolną część pola pracy obiegu w układzie pV oraz, iż zapobiega ona możliwości napowietrzania się cieczy w układzie hydraulicznym podczas pracy. Ustalił również, że objętości początkowa i końcowa konwektora muszą być równe i że praca układu pneumatyczno-hydraulicznego jest symetryczna.

Określił także, iż w przypadku wystąpienia dużego wzrostu przyśpieszenia, wolniejszego wzrostu ciśnienia w konwertorze niż zakładany, wycieku cieczy hydraulicznej z układu pneumatycznego lub też zapowietrzenia się układu hydraulicznego należy wyrównać objętości początkowe i końcowe konwektorów.

Doktorant opracował zalecenia projektowe do projektowania układów z jednostkami pneumatyczno-hydraulicznymi.

Przeprowadzone badania oprócz walorów poznawczych mają również charakter użyteczny, ich wykorzystanie umożliwi ulepszenie konstrukcji i polepszenie właściwości trakcyjnych pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym.

Doktorant wykazał się znajomością podstawowej literatury przedmiotu rozprawy, umiejętnością jej właściwej oceny w celu określenia problemów niedostatecznie zbadanych i rozwiązanych, a następnie określenia właściwych i ich rozwiązania.

4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

Uwagi ogólne:

Rozdział 3 pracy to *Metodyka badań*, a 4 *Wyniki badań*. Brak jest rozdziału prezentującego badania. Badania są przedstawione w rozdziale 3, uważam że powinny być one wyodrębnione jako oddzielny rozdział pracy.

Czytelność pracy znacznie polepszyłoby podsumowanie i wnioski po każdym rozdziale pracy, wyodrębnione, jako oddzielne podrozdziały (tak jak w przypadku rozdziału 1).

Autor napisał, iż *podwójny układ zaworów został przedstawiony na rys. 13*, w pracy brak jest rysunku 13, str. 52, 4d.

Doktorant stwierdza, że ocenę wskaźników trakcyjnych pojazdu z jednostką pneumatyczno-hydrauliczną wykonano w oparciu o rys.19, natomiast brak jest wyjaśnienia dlaczego wybrano go do oceny wskaźników trakcyjnych. W podpisie rysunku napisano: *wybrany przebieg prędkości pojazdu w czasie dla stanu nieustalonego i ustalonego z zaznaczonymi wskaźnikami do oceny prędkości pojazdu*. Brak uzasadnienia dlaczego został wybrany właśnie ten przebieg i czy jest on reprezentatywny (str.62-63).

Rozdział piąty jest *zatytułowany Algorytmy doboru parametrów elementów składowych układu PH*, natomiast w tym, rozdziale jest przedstawiony tylko jeden algorytm i jego opis.

We wnioskach Autor wyodrębnia wnioski użyteczne. Nie ma w nich natomiast informacji w jakich pojazdach zastosowano czy też może być zastosowana jednostka napędowa pneumatyczno-hydrauliczna i jakie ma zalety w stosunku do stosowanych dotychczas napędów.

Styl niektórych fragmentów pracy jest nie do końca poprawny, zdarzają się niepełne zdania (przykłady pokazałem w uwagach szczegółowych).

W spisie literatury dobrze byłoby najpierw umieścić pozycje książkowe i artykuły naukowe, a dopiero potem adresy stron internetowych. Nazwiska niektórych autorów oraz tytułów prac są napisane dużymi literami, inne natomiast nie. Po niektórych tytułach prac brak jest przecinka (stosowanego w spisie).

W streszczeniach pracy w językach polskim i angielskim powinno się także zamieścić również tytuł pracy.

Uwagi szczegółowe

Na końcu linijek nie powinno się pozostawiać pojedynczych liter.

W pracy po niektórych numerach rysunków są kropki (na przykład Rys. 1., , natomiast po innych nie (na przykład Rys. 2).

... *zespoły napędowe uznawanych...*, powinno być *zespoły napędowe uznawane*, str.5, 121d;

... *ilość informacji ... jest znikome...*, powinno być *jest znikomą*, str. 6, 9-8d;

... *nape ...*, powinno być *napęd*, str.7, 14g;

stratą energii, powinno być *straty energii*, str.9, 4, 6g;
 ... *do zbiornika*, powinno być *w zbiorniku*, str. 9, 9g;
 ... *ogniwa paliwowe* powinno być *ogniw paliwowych*, str. 9, 13-12d;
 ... *układu pneumatyczno-hydraulicznego...*, powinno być *układy pneumatyczno-hydrauliczne*, str. 9, 9d;
 ... *przewodności*, powinno być *z przewodności*, str.12, 4d;
 ... *zwarta*, co *zwarta?*, str. 18, 16d;
 ... *jako układ ...*, powinno być *jako układu*, str.19, 13d;
 ... *silniki hydrauliczne zębatkowe.*, powinno być *silników hydraulicznych zębatkowych.*, str. 20, 6-7d;
 ... *oraz hydraulicznym*, usunąć *oraz*, str. 21, 3g;
 ... *skończona objętość*, powinno być *skończoną objętość*, str. 21, 6d;
 ... *prędkość maksymalna*, powinno być *prędkość maksymalną*, str. 23, 15g;
 ... *połączone przekładnią*, powinno być *połączony przekładnią*, str. 25, 2g
Możliwym jest, powinno być *Możliwy jest*, str. 25, 8g;
 ... *przy prędkościach bliskiej zero*, powinno być *przy prędkościach bliskich zero*, str. 26, 4d;
 ... *istotnym jest*, powinno być *istotne jest*, str. 27, 5-4d;
 ... *istniejąca*, lepiej usunąć, str.29, 12g;
 ... *hydrauliczne mają*, powinno być *hydrauliczne mają*, str. 29, 16d;
 ... *energii potencjalnej*, powinno być *energię potencjalną*, str. 29, 8d;
 ... *mają duża gęstość*, powinno być *mają dużą gęstość*, str. 31, 9d;
 ... *porównaniu*, powinno być *w porównaniu*, str. 31, 8d
 ... *charakteryzują niższą*, powinno być *charakteryzują się niższą*, str. 32, 7g, 12d;
 ... *charakteryzują podobną*, powinno być *charakteryzują się podobną*, str.34, 1g;
 3. *Znacznie mniej cieczy niż w układach hydraulicznych z zasilaniem zasobnikowym*. Nie wskazano z czym znacznie mniej, str.34, 13g;

Metodykę badań przeprowadzono na podstawie [69] i podzielono ją na następujące etapy: , złe sformułowanie metodyki badań nie przeprowadzono, raczej należy napisać: *Badania przeprowadzono na podstawie metodyki przedstawionej w pracy [69] ...*, str. 38, 2g;

... *równań empirycznych (6 i 7) znalezionego*, powinno być *równań empirycznych (6 i 7) znalezionych*, str. 39, 7g;

Brak kropki na końcu zdania, str.41, 9d, 5d;

... *uzyskuje wartość dodatnią*, powinno być *uzyskuje się wartość dodatnią*, str. 45, 4d;

Co ciekawe zastosowanie..., lepiej *Co ciekawe usunąć*, str.46, 2g;

W poniższej pracy ..., lepiej *W pracy*, str. 47, 13g;

... *zostają otwarty*, powinno być *zostają otwarte*, str. 47, 16d;

... *w przeciwnym kierunku niż zamierzonym*, powinno być *w przeciwnym kierunku niż zamierzony*, str. 49, 4g;

... *jako bazy*, powinno być *jako bazę*, str. 50, 2g;

... *sterowane elektrycznie a nie mechanicznego*, powinno być *sterowane elektrycznie a nie mechanicznie*, str. 50, 2d;

... *bliskie atmosferycznemu*, powinno być *bliskim atmosferycznemu*, str. 52, 12d;

... *uniemożliwia swobodnego przepływu*, powinno być *uniemożliwia swobodny przepływ*, str. 52, 7d;

... *podwjych*, powinno być *podwójnych*, str. 52, 2d;

Objaśnienia do rys. 14, zamieszczono na kolejnej stronie pracy, powinny być na tej samej stronie bezpośrednio po rysunku.

Więcej w rozdziale 4.4. W pracy należy pisać pełnymi zdaniami, str. 56, 15d;

W wynikach badań nad zjawiskiem desynchronizacji, zyskano możliwość wykonania co najmniej 14 półcykli pracy JPH, źle sformułowane zdanie (w wynikach badań nie można uzyskać możliwości wykonania co najmniej 14 półcykli pracy), str. 56, 15-14d;

W pracy nie jest widoczny podpis pod rysunkiem 17, str. 61;

W tabeli Tabela 9, wystarczy W tabeli 9, str. 60, 3g;

... *Ocena ... wykonano ...*, powinno być *Ocenę ... wykonano ...*, str. 62, 4d;

... *różnicę prędkości*, powinno być *różnicy prędkości*, str. 63, 3g;

... *równania ich obliczeń*, lepiej *równania do ich obliczeń*, str. 63 (po podpisie rys. 19);

Przyspieszenie minimalna ..., powinno być: *Przyspieszenie minimalne*, str. 64 (w tab. 11, 3 kolumna, 2 wiersz);

Na rys. 20 (a i b) w opisie osi pionowej jest *Procentowe wplnienir...*, powinno być *Procentowe wypełnienie*, str. 66;

... *i nie wpływa*, powinno być *i nie wpływa ona*, str. 66, 1d;

... *podczas pracy kolejno po sobie następujących półcykli*, powinno być *podczas kolejno po sobie następujących półcykli pracy*, str. 67, 2g;

... *upustowych*, powinno być *upustowych)*, str. 67, 12g;

... *silnik hydraulicznym*, powinno być: *silnik hydrauliczny*, str. 67, 13g;

...), usunąć, str. 67, 15d;

... *różnią się nieznacznie lecz są porównywalne*, lepiej *różnią się nieznacznie, są porównywalne*, str. 68, 6-5d;

. (na końcu zdania), str. 69, 10d, str. 70, 12d;

... *co w skutku może przesunąć rozpoczęcie...*, lepiej: *co może skutkować przesunięciem rozpoczęcia*;

... *dychronizacji układu*, powinno być: *dyschronizację układu*, str. 71, 3d;

... *możliwy dla ciśnienia*, powinno być *możliwe dla ciśnienia*, str. 74, 11d;
Na rys. 27, jest: *silnikiem hydrauliczny*, powinno być: *silnikiem hydraulicznym*, str.76;
... *przez nie przepływający*, powinno być: *przez nie przepływającego*, str. 81, 2d;
Na rysunku Rys. 29, lepiej: *Na Rys. 29*, str.82, 17g;
Na rys. 30 oraz 31 nie podano legendy dotyczącej krzywych oznaczonych kolorem czerwonym i niebieskim, str. 83 i 84;
Rys. 32. *schemat*, powinno być: *Rys. 32. Schemat* (podpis rysunku 32), str.84;
Ilość, powinno być *ilością*, str. 85, 4d;
czas, powinno być; *czasem*, str. 85, 3d;
... *w tedy*, powinno być *wtedy*, str. 86, 9, 8d;
Na rysunku Rys. 30, lepiej *Na rys. 30*, str. 87, 6d;
... *za zwyczaj*, powinno być *zazwyczaj*, str.88, 6d;
... *orbitalnego*, powinno być *orbitalnego*, str.89, 1g;
Podpis rys. 34: *Rys. 34 charakterystyki ...*, powinno być: *Rys. 34. Charakterystyki ...*, str. 89;
Zatem wzrostowi momentowi napędowemu..., powinno być: *Zatem wzrostowi momentu napędowego*, str. 89, 12g;
... *który podany jest ...*, powinno być: *która podana jest*, str.89, 3d;
Zdanie nie do końca jasne-styl, str. 92, 4-6;
... (*Rys. 38*, powinno być (*Rys. 38*)), str. 92.11g;
Podobnie jak podczas jazdy ze stałą prędkością, jest do rozpędzania, ..., zdanie niejasne, styl, str. 97, 10d;
...*zmniejszeniem momentu spowalniający*, powinno być *zmniejszenie momentu spowalniającego*, str.97, 4d;
... (*patrz rozdział 4.3.4*), powinno być (*patrz rozdział 4.3.4*)), str.97.1d;
... *sterowanie układ*, powinno być *sterowanie układem*, str.101, 9g;
... *ilość porcji gazu przypadającej*, powinno być *ilość porcji gazu przypadających*, str. 102, 13g;
Rys. 41, powinno być *Rys. 41.*, str. 102 (podpis rysunku);
Dla przedstawionych zależności ..., lepiej *Na podstawie przedstawionych zależności*, str. 102, 6d;
Tabela 16 warunki ..., powinno być *Tabela 16. Warunki*, str. 103, 1g;
4.6.1 *Wpływ rozprężania gazu ze zbiornika głównego*, nie określano wpływ na co?, str.104, 2g;
Należy stwierdzić ze zwiększaj masę JPH i koszty jego budowy., zdanie niejasne, niedokończone i nie wiadomo o co w nim chodzi, str. 109, 7d;
... *uzyskujemy korzyści...*, lepiej *uzyskuje się korzyści*, str. 109, 2d;

Rys. 46 Rys., powinno być Rys. 46. (podpis rys. 46); str.110;

... który obniża ..., powinno być która obniża, str.111, 4d;

Rozpatrując sprawność ..., styl, zdanie niejasne, str. 114, 3-6g;

... ze względu uzyskanie ciśnienia..., powinno być ze względu na uzyskanie ciśnienia, str. 115+-2-1d;

... pod kątem wymaganego momentu napędowego oraz prędkość obrotową, a także rodzaj silnika hydraulicznego ..., powinno być pod kątem wymaganego momentu napędowego oraz prędkości obrotowej, a także rodzaju silnika hydraulicznego, str. 122, 1-2g;

... wymaganą porcję gaz..., powinno być wymaganą porcję gazu, str. 123, 1d;

... niż zamierzonego ..., powinno być niż zamierzone, str.126, 13g;

Ze względu na sprawności układu. Zdanie niepełne, przypuszczalnie powinno stanowić końcową część poprzedniego, str. 127, 6g.

5. Ocena końcowa rozprawy

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr inż. Rafała Czoka rozwiązany został oryginalny problem badawczy dotyczący właściwości trakcyjnych pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym. Autor opracował model matematyczny, wykonał odpowiednie badania symulacyjne i eksperymentalne. Określił zależności parametrów konstrukcyjnych między elementami i wykazał ich wpływ na własności trakcyjne w sposób bezpośredni lub pośredni bądź też na obwiednie obiegu termodynamicznego w konwertorach energii.

Badania zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metodologicznym, a wnioski wypływające z badań i analiz sformułowane właściwie. Praca wnosi nowe informacje w zakresie własności trakcyjnych pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym.

Opiniowana praca doktorska dotyczy ważnego problemu ze względów użytecznych. Zauważone w rozprawie doktorskiej nieprawidłowości, nie mają zasadniczego znaczenia, dlatego rozprawa w całości może być oceniona pozytywnie.

Uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska nt.: „**Właściwości trakcyjne pojazdu z napędem pneumatyczno-hydraulicznym**” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) oraz rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgra inż. Rafała Czoka do publicznej obrony.

Praca doktorska w pełni odpowiada dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

