

Dr hab. inż. Wioletta Bajdur, prof. PCz
Politechnika Częstochowska
Wydział Zarządzania
Katedra Systemów Technicznych i Bezpieczeństwa
42-200 Częstochowa, al. Armii Krajowej 36 b

Częstochowa, dn. 16.07.2018 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr.inż. Roberta Łudzienia
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
Politechnika Śląska

ZASTOSOWANIE PROGRAMOWALNYCH AKTUATORÓW DO POPRAWY FUNKCJONOWANIA INSTALACJI TRANSPORTU KWASU SIARKOWEGO (VI)

Promotor pracy: dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. nzw. w Pol. Śl.
Promotr pomocniczy: dr inż. Mariusz Wnęk

Uzasadnienie podjęcia tematu i celu rozprawy

Rozwój technologii procesów przemysłowych zwiększa wymagania instalacji w zakresie ciśnień i temperatur przepływów w aspekcie inżynierii bezpieczeństwa. Zagrożenia wynikają często z niewłaściwego doboru parametrów przepływu cieczy oraz elementów instalacji technologicznych, powodując działanie destrukcyjne na armaturę, rurociągi i trwałość instalacji. Projektowanie instalacji technologicznych i procesowych ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa pracy ma istotne znaczenie zwłaszcza w przypadku przepływu cieczy o szkodliwym oddziaływaniu na zdrowie ludzi i środowisko.

Znaczne problemy związane są z regulacją przepływu płynów i od wielu lat prowadzone są badania zależności pomiędzy strumieniem płynu a stopniem otwarcia elementów nastawczych, co potwierdza światowa literatura. Badania głównie skupiają się nad właściwym sterowaniem strumieniem płynu podczas całego czasu trwania przepływu, a zwłaszcza w fazie początkowej i końcowej oraz przerw spowodowanych sytuacjami awaryjnymi. Obecnie stosowane siłowniki zmiennoprędkościowe stwarzają możliwość kształtowania charakterystyki elementu nastawczego w sposób zamierzony czyli, zapewnienie parametrów przepływu zgodnych z założonym kryterium. Istotą problemu jest zbadanie

zależności pomiędzy zmiennym przyrostem stopnia otwarcia zaworu a przepływem płynu uzyskiwane przez zmianę prędkości obrotowej napędu zaworowego.

Aktualny stan wiedzy wskazuje na konieczność przeprowadzenia dalszych badań ukierunkowanych na modelowanie procesów zamykania i otwierania zaworu sterowanego napędem poprzez zmianę prędkości obrotowej napędu zaworowego oraz opracowanie i zastosowanie modeli matematycznych do rzeczywistego sterowania programowego w celu ograniczenia i eliminacji zagrożeń w przemyśle.

Podjęcie badań mieszczących się w tej problematyce uważam za całkowicie uzasadnione. Celem pracy było usprawnienie procesów automatycznej kontroli i regulacji przepływu cieczy w instalacjach przemysłowych dla poprawy bezpieczeństwa pracy na stacji napełniania cystern kolejowych.

Merytoryczna ocena pracy

Autor we „**Wstępie**” przedstawił aktualność problemu, powołując się na literaturę, oraz w sposób syntetyczny i przekonujący uzasadnił ważność podjętego w dysertacji tematu badawczego. Następnie w części teoretycznej w rozdziale 2 zatytułowanym „**Technologia produkcji Huty Cynku „Miasteczko Śląskie” z uwzględnieniem fabryki kwasu siarkowego (VI)**” scharakteryzował poszczególne procesy technologiczne w produkcji cynku i ołowiu, szczególną uwagę zwrócił Autor na fabrykę kwasu siarkowego, w której zgodnie z projektem firmy produkuje się kwas siarkowy o stężeniu od 93% do 97% w ilości 380 Mg monohydratu na dobę. Szczegółowo i umiejętnie Autor opisał węzły fabryki, powołując się na technologie z 2010 roku i T. Szyslera. W rozdziale 3, zatytułowanym „**Matematyczny opis ruchu płynu**”, przedstawił główne cele modelowania zjawisk z zakresu mechaniki płynów oraz równania ciągłości, równowagi dynamicznej, Bernoulliego, które posłużyły do opisu modelu przepływowego badanego układu. W tym rozdziale Autor opisał również problem związany ze stratami ciśnienia przy przepływie płynów. Rozdział 4, zatytułowany „**Rozwój aktuatorów z napędem elektrycznym stosowanych w przemyśle hutniczym**” poświęcił Autor historii rozwoju aktuatorów z uwzględnieniem opisu napędów armatury stosowanych w hutnictwie, awaryjności aktuatorów z napędem elektrycznym oraz diagnostyce urządzeń. W rozdziale 5, zatytułowanym „**Kształtowanie regulacji charakterystyk przepływowych**” Autor podkreślił zgodnie z literaturą światową, że automatyczna regulacja obiektów przepływowych powinna charakteryzować się dobrą jakością dynamiczną, która znacząco zależy od charakterystyki przepływowej danego

elementu nastawczego. W tym rozdziale Autor opisał dwa zagadnienia: mechaniczną linearyzację charakterystyki przepływowej oraz cyfrową linearyzację charakterystyki przepływowej.

W części literaturowej w rozdziale 3, 4 i 5 Autor dokonał przeglądu światowej literatury. Przegląd piśmiennictwa został oparty na publikacjach dotyczących przede wszystkim badawczej części pracy. Dobór treści poszczególnych rozdziałów w zakresie przeglądu literaturowego jest merytorycznie uzasadniony i wprowadza czytelnika w problematykę badawczą dysertacji. W mojej opinii te trzy rozdziały części teoretycznej zostały opracowane ze znanstwem i stanowią dużą wartość naukową, jak również świadczą o dużej wiedzy oraz dobrym przygotowaniu Autora do podjętego problemu badawczego.

Autor dowiódł na podstawie analizy licznych badań zawartych w literaturze, że podjęty temat badawczy jest istotny i rozwiązanie problemu dotyczącego usprawnienia procesów automatycznej kontroli i regulacji przepływu cieczy jest konieczne do prawidłowego i bezpiecznego działania instalacji przemysłowych. Część teoretyczna została przygotowana starannie, co potwierdza bardzo dobry dobór aktualnego piśmiennictwa oraz ilość cytowanych publikacji i w pełni odzwierciedla stan wiedzy Autora z zakresu podjętego tematu.

Po części teoretycznej w rozdziale 6 sformułowany został prawidłowo **cel pracy, teza** oraz obszerny **zakres pracy** obejmujący określone zadania, wykazujące poprawę bezpieczeństwa funkcjonowania instalacji napełniania cystern kolejowych poprzez kształtowanie charakterystyki przepływowej elementu nastawczego, wykorzystując odpowiednio zaprogramowany, zmięnnoprędkościowy aktuator z napędem elektrycznym.

Część badawczą Autor podzielił na rozdziały podobnie jak część pracy dotyczącą przeglądu literaturowego w zakresie technologii produkcji w Hucie Cynku, metematycznego opisu ruchu płynu, rozwoju aktuatorów z napędem elektrycznym oraz kształtowanie regulacyjnych charakterystyk przepływowych. W części eksperymentalnej zawarł metodykę badań oraz podrozdziały, w których przedstawił wyniki badań. Układ i sekwencja następujących po sobie eksperymentów jest dobrze przemyślana i logiczna, a model przepływowego badanego układu umiejętnieopracowany. W tej części dysertacji Autor zastosował ujednoliconą systematykę. Zaprezentował wyniki w postaci tabel i rysunków, prowadząc dyskusje wyników w danym rozdziale, a także wykorzystał opracowany program Omron na potrzeby pracy doktorskiej. Sposób interpretacji wyników stosowany przez Autora w tej części pracy znacznie ułatwia czytelnikowi lekturę opisu otrzymanych wyników. Uważam, że ilość wyników przewyższa wymogi stawiane dysertacjom doktorskim.

W części badań eksperymentalnych (rozdział 7) Autor opisał stację napełniania cystern kolejowych, badania i wyniki badań z zastosowaniem aktuatora stałoprędkościowego Auma SGR 07.1 oraz zmiennoprędkościowego Sipos 7 w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie”. Wyniki poszczególnych serii eksperymentów wskazują na nietypowy kształt charakterystyk strumienia masy kwasu siarkowego (VI) w funkcji stopnia otwarcia zaworu, który odbiegał od kształtów typowych charakterystyk przepływowych podawanych w normach i literaturze. W kolejnym podrozdziale dotyczącym badań dynamiki charakterystyki przepływowej dla modelowego zaworu kulowego na stanowisku laboratoryjnym w Katedrze Informatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej zgodnie z procedurą badawczą IEC-534/ISA S75 (PN-EN 1267) wykazano, że zastosowanie napędu o dłuższym czasie przejścia, zawęża charakterystykę zmniejszając różnicę wskazań przepływu pomiędzy przebiegiem otwierania i zamykania zaworu. Wyniki wpływu dynamiki przetwornika pomiarowego w przepływomierzu pokazały, że im szybszy w działaniu jest przetwornik, tym bardziej "zbliżają się do siebie" przebiegi rejestracji strumienia dla otwarcia i zamknięcia zaworu. Autor przedstawił sposób aproksymacji uzyskiwanych charakterystyk oraz zasadę ich wykorzystania w procesach regulacyjnych. W tym zakresie wyniki badań wykazały, że zasadniczy wpływ na proces regulacji przepływowego systemu technologicznego ma właściwe zestrojenie układu pomiarowego i sterującego ze względu na charakterystyki przepływowe. W rozdziale 8, zatytułowanym „Zredukowane pole powierzchni przepływu zaworu kulowego w funkcji kąta otwarcia”, Autor udowodnił znaczenie wartości pola powierzchni przepływu przy różnych położeniach zaworu. W rozdziale tym wyprowadził zależność na zredukowane pole powierzchni przepływu zaworu kulowego w funkcji jego kąta otwarcia. Rozdział 9, zatytułowany „Model przepływowy badanego układu”, Autor poświęcił na przedstawienie modelu przepływowego badanego układu, zawarł w nim schemat modelowy układu instalacji kwasu siarkowego, podstawową charakterystykę przepływową elementu nastawczego, przepływową charakterystykę roboczą elementu nastawczego oraz umiejętnie opracowany model układu instalacji kwasu siarkowego, a także wyniki modelowania przepływu w instalacji laboratoryjnej i przepływu w instalacji kwasu siarkowego. Modelowanie przepływu kwasu siarkowego pozwoliło na uzyskanie charakterystyki o pożądanym kształcie jaki powinien być rejestrowany z układu pomiarowego, gdyby nie był obciążony bezwładnością. Na rysunkach zamieszczono również linie energii i wysokości ciśnienia dla stopnia otwarcia zaworu regulacyjnego 49% wynikające z charakterystyki modelowej.

W rozdziale 10, zatytułowanym „Ocena ryzyka zawodowego i poprawa bezpieczeństwa pracy po zastosowaniu zmiennoprędkościowego aktuatora na stacji napełniania cystern kolejowych”, Autor dokonał ogólnej charakterystyki elementów procedury zarządzania ryzykiem na stacji napełniania cystern kolejowych w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie”. Z uwagi na duże ryzyko wystąpienia poważnej awarii przemysłowej w hucie funkcjonuje zintegrowany system zarządzania jakością, środowiskiem i bezpieczeństwem pracy. W rozdziale tym przedstawił Autor ocenę ryzyka zawodowego na stanowisku operatora stacji napełniania cystern kolejowych i zaproponował sposoby ograniczenia ryzyka przed proponowanymi zmianami w układzie sterowania zaworami oraz po implementacji zmian w instalacji. Analiza i ocena ryzyka zawodowego potwierdziła zasadność wdrożenia nowego rozwiązania, które powoduje obniżenie ryzyka wystąpienia awarii instalacji, a tym samym wpływa na zmniejszenie wypadkowości.

Przedstawione w pracy metody badań z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury badawczej są właściwie dobrane i pozwalają na udowodnienie postawionego celu i wykonanie poprawnie pracy pod względem metodycznym z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania.

Moim zdaniem powyższe badania i ich wyniki należy uznać za oryginalne osiągnięcie Autora. Przedstawione wyniki w każdej części badań doświadczalnych poddane były dyskusji, będącej uzupełnieniem zagadnień opisanych w przeglądzie literaturowym, i świadczą o umiejętności krytycznej analizy i interpretacji wyników badań.

W rozdziale pt. „Wnioski” Autor przedstawił najważniejsze osiągnięcia z przeprowadzonych badań, świadczące o całkowitej realizacji wyznaczonego celu rozprawy doktorskiej. Autor wykazał, że na stacji napełniania cystern kolejowych kwasem siarkowym (VI) jest możliwa bezpieczna praca poprzez usprawnienie procesów automatycznej kontroli i regulacji przepływu cieczy w instalacjach przemysłowych. Szczególnie zapewnia to stabilny przepływ, zwiększenie dokładności pomiaru strumienia, likwidacja niekorzystnych, wtórnych zjawisk przepływowych.

Część badawczą pracy oceniam wysoko, ze względu na obszerne wyniki, ciekawą dyskusję wyników zawierającą prawidłową ich interpretację i właściwe sformułowanie wniosków.

Zaprezentowane przez Autora wyniki badań wnoszą istotne elementy o znaczeniu nie tylko naukowym, ale przede wszystkim praktycznym (wdrozeniowym). Autor przedstawił model przepływowy badanego układu. W instalacji laboratoryjnej, a następnie

w rzeczywistej instalacji kwasu siarkowego modelował przepływ, a zatem wykorzystywał model do badań i realizacji celów praktycznych.

Formalna ocena pracy

Opiniowana rozprawa doktorska jest przygotowana w klasycznym układzie z poszczególnymi rozdziałami. Rozprawa obejmuje 162 strony, w tym 52 rysunki (wykresy, schematy, zdjęcia) i 9 obszernych tablic. Na szczególne wyróżnienie zasługuje bardzo obszerny materiał zawarty w 3 załącznikach, który dokumentuje przebieg prac badawczych, oraz dobrze opracowane wykresy. W typowym układzie dla rozpraw doktorskich o charakterze doświadczalnym Autor zamieścił wykaz oznaczeń, spis rysunków i spis tablic, a następnie „Wstęp” - 2 strony, rozdziały zatytułowane: „Technologia produkcji Huty Cynku *Miasteczko Śląskie* z uwzględnieniem fabryki kwasu siarkowego” - 14 stron, „Matematyczny opis ruchu płynu” - 7 stron, „Rozwój aktuatorów z napędem elektrycznym stosowanych w przemyśle hutniczym” - 6 stron, „Kształtowanie regulacyjnych charakterystyk przepływowych” - 9 stron, „Cel i zakres pracy” - 1 strona, Badania eksperymentalne - 35 stron, „Zredukowane pole powierzchni przepływu zaworu kulowego w funkcji kąta otwarcia” - 9 stron, „Model przepływowo badanego układu” - 13 stron, „Ocena ryzyka zawodowego i poprawa bezpieczeństwa pracy po zastosowaniu zmiennoprędkościowego aktuatora na stacji napełniania cystern kolejowych” - 12 stron, „Wnioski” - 3 strony, „Literatura” (książki, artykuły w czasopismach, normy i strony internetowe) - 9 stron. Autor zamieścił streszczenie pracy doktorskiej w języku polskim i angielskim. Część literaturową oraz część doświadczalną Autor podzielił na rozdziały, co sprawia, że układ pracy jest przejrzysty.

Autor w rozprawie doktorskiej zacytował 122 pozycje literaturowe, pochodzące głównie z ostatnich kilkunastu lat, opublikowane między innymi w czasopismach o wysokiej randze naukowej.

Uwagi

Rozprawa jest napisana starannie, a błędów czy niezręczności stylistycznych jest niewiele. Podczas czytania rozprawy nasunęły się następujące uwagi szczegółowe dotyczące jasności ujęcia, stylu i edytorskie:

1. Część teoretyczną pracy przygotowaną przez Autora ze starannością i zawartą w rozdziałach 7, 8, 9, 10 można było zatytułować "Część badawcza", z uwagi na to, iż wszystkie wymienione rozdziały zawierają metodykę badań, wyniki i analizę badań.

2. W literaturze zamieszczono pozycje bibliograficzne, akty prawne i normy. Uważam, że ta część pracy byłby bardziej czytelna, gdyby Autor wyodrębnił poszczególne grupy pozycji literaturowych.
3. Wątpliwość budzi 91. pozycja literaturowa (niepełna jest informacja, czego dotyczy przekaz ustny).
4. Autor nie ustrzegł się niewielkich błędów edytorskich, często na końcu linii występują pojedyncze litery.

Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Robert Łudzień zapoznał się z obszerną literaturą przedmiotu badań, sformułował cel badawczy, tezy, zakres badań oraz logicznie zaplanował i przeprowadził badania procesów automatycznej kontroli i regulacji przepływu cieczy w instalacjach przemysłowych w aspekcie poprawy bezpieczeństwa pracy na stacji napełniania cystem kolejowych, wykazując niezbędną wiedzę i umiejętności rozwiązywania zadań i problemów naukowych, a także poprawnego formułowania wniosków. Przedstawione powyżej sugestie i niewielkie uwagi nie umniejszają wartości poznawczej oraz aplikacyjnej pracy doktorskiej, mają jedynie charakter dyskusyjny lub porządkowy.

W mojej opinii przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Roberta Łudzienia pt. „Zastosowanie programowalnych aktuatorów do poprawy funkcjonowania instalacji transportu kwasu siarkowego (VI)” spełnia wymagania formalne i merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim. Recenzowana dysertacja zawiera wiele elementów nowości naukowej, szeroki zakres badawczy oraz wartość aplikacyjną.

Rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

Wnioskuje do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Roberta Łudzienia do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

