



Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Nowaka pt. „Optymalizacja struktury systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego z wykorzystaniem rachunku wyrównawczego”

1. Informacje ogólne

Praca wykonana została w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Marcina Szegi, prof. Politechniki Śląskiej i promotora pomocniczego dr inż. Marcina Liszki.

Została przedstawiona na 119 stronach i zawiera sześć rozdziałów, które poprzedza spis treści i wykaz ważniejszych oznaczeń. Kończy natomiast wykaz literatury (82 pozycje), załączniki oraz streszczenie po polsku i angielsku. W całej pracy jest 37 rysunków i 24 tabele.

Recenzję opracowano w oparciu o pismo Prodziekana ds. Organizacji i Rozwoju Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej dr hab. inż. Krzysztofa Barbusińskiego, prof. ndzw. P.Śl. z dnia 29.01.2015 r.

2. Omówienie treści pracy

Rozdział pierwszy (3 str.) zatytułowany został „Cel i zakres pracy”. Doktorant sformułował w nim zadania jakie postawił sobie w dysertacji. Brzmi ono „... głównym celem pracy jest dobór optymalnej struktury nadmiarowego systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego z wykorzystaniem metody rachunku wyrównawczego ...”. Autor dekomponuje to zadanie na sześć zadań szczegółowych i przedstawia program ich analizowania.

Rozdział drugi (8 str.) nosi tytuł „Analiza stanu wiedzy”. Doktorant zdefiniował w nim systemy pomiarowe i zadania optymalizacyjne. W sposób zwięzły omówił metody pozyskiwania tlenu w zależności od jego czystości i oczekiwanej wydajności. Omówił też możliwości wykorzystania rachunku wyrównawczego jako narzędzia uwiarygodnienia pomiarów.

W rozdziale trzecim (17 str.), którego tytuł brzmi „Model symulacyjny układu spalania tlenowego”, Doktorant przedstawił model siłowni cieplnej (bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego). W pierwszej części omówił zasady modelowania i typy modeli. W dalszej części Autor wskazał na oprogramowanie Thermoflex, pozwalające na tworzenie modeli symulacyjnych spotykanych w energetyce. Program ten w odniesieniu do modelowania układów kriogenicznych i separacji dwutlenku węgla został uzupełniony programem Aspen Plus.

W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawił identyfikację układu energetycznego w technologii spalania tlenowego, rozróżniając przy tym:

- blok energetyczny opalany węglem, w którym utleniaczem jest powietrze atmosferyczne (układ referencyjny);
- blok energetyczny w technologii tlenowej bez integracji jego części cieplnej z częścią kriogeniczną i z układem związanym z separacją i sprężaniem CO₂ (zwany „oxy 1-generacji”);
- blok energetyczny w technologii tlenowej, zintegrowany z tlenownią i układem separacji i sprężania CO₂ (oxy – 2-generacja).

Osobną uwagę poświęcił Autor tlenowni i układowi separacji oraz sprężania CO₂. Informacje o efektach energetycznych tych podzespołów są lakoniczne.

Rozdział czwarty liczy 16 stron i jest zatytułowany „Metodyka lokalizacji pomiarów nadmiarowych przy wykorzystaniu rachunku wyrównawczego”.

Ma on kluczowe znaczenie w omawianej rozprawie. Doktorant omówił rolę jaką odgrywa nadmiarowa ilość danych pomiarowych (zwłaszcza w sytuacji silnej wrażliwości na niedokładność pomiarów). Wykorzystując rachunek wyrównawczy można, jak pisze Autor, uwiarygodnić wielkości pomiarowe, zmniejszyć niedokładność pomiaru, zidentyfikować miejsca występowania błędów grubych itp. Jednocześnie projektując lokalizację punktów pomiarowych w nowobudowanym obiekcie można w sposób zaplanowany przewidzieć większą liczbę punktów pomiarowych, które dzięki zastosowaniu rachunku wyrównawczego pozwolą na precyzyjniejsze badania modeli matematycznych i poznanie własności obiektu przed jego zbudowaniem.

Doktorant, jako obiekt takich analiz, wybrał blok energetyczny z tlenową technologią spalania. W oparciu o literaturę Autor omówił zarówno klasyczną jak i uogólnioną metodę uzgadniania a dla rozpatrywanego bloku dobrał układ równań warunków zadania wyrównawczego. Układ ten przyjął postać 34 nieliniowych równań

opisujących proces konwersji energii dla poszczególnych urządzeń bloku (bilanse substancji lub energii).

Doktorant dobrał funkcję celu zadania optymalizacyjnego lokalizacji nadmiarowych pomiarów. Wskazał, że powinna to być minimalizacja niepewności wybranego wskaźnika energochłonności. Jako takie wskaźniki w recenzowanej rozprawie wybrano: jednostkowe zużycie ciepła przez turbozespół, jednostkowe zużycie energii chemicznej paliwa i dywergencję Kullbacka-Leiblera opisującą względną entropię informacji. Podsumowaniem rozdziału jest określenie liczby konfiguracji lokalizacji nadmiarowych pomiarów.

Rozdział piąty (29 str.) nosi tytuł „Wyniki modelowania symulacyjnego i optymalizacji lokalizacji nadmiarowych pomiarów”. W początkowej części rozdziału Doktorant przedstawił wyniki modelowania symulacyjnego (tabela 5.1 i rys. 5.1), które zostały opracowane w oparciu o parametry w poszczególnych punktach schematów: powietrznego, 1-gen oxy i 2-gen oxy, a zamieszczonych w załącznikach A, B i C. Powyższe wyniki (temperatura, ciśnienie i przepływ substancji) w charakterystycznych punktach układu „... posłużyły jako pomiarowe dane wejściowe do procedury uzgadniania oraz optymalizacji lokalizacji nadmiarowych pomiarów w systemie pomiarowym bloku ...”. Autor wybrał (w oparciu o obliczenia) z listy 29 potencjalnych pomiarów nadmiarowych po 10 parametrów do określenia funkcji celu w postaci względnej niepewności standardowej jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa, a także jednostkowego zużycia ciepła w turbinie oraz maksymalizacji dywergencji Kullbacka-Leiblera. Wybrane lokalizacje pomiarów w układzie cieplnym bloku pokazały, że optymalne konfiguracje pomiarów będą różne dla poszczególnych funkcji celu.

W dalszej części rozdziału piątego Doktorant przedstawił wyniki przeprowadzonych obliczeń optymalizacyjnych dla względnego odchylenia standardowego jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa, jednostkowego zużycia ciepła w turbinie i maksymalizacji dywergencji Kullbacka-Leiblera.

W pierwszym przypadku najkorzystniejszy wynik uzyskano dla 7 pomiarów nadmiarowych. W drugim dla 8 pomiarów nadmiarowych, a w trzecim dla 10 pomiarów.

W rozdziale szóstym (4 str.) Autor przedstawił podsumowanie i wnioski. Literatura zawiera 82 pozycje, głównie angielskojęzyczne w większości z ostatniej dekady. Pięć z tych publikacji jest sygnowanych nazwiskiem Doktoranta.

3. Ocena pracy

3.1. Wybór tematu rozprawy

Badanie obiektów technicznych, zwłaszcza tak rozbudowanych jak bloki energetyczne, wymaga zebrania odczytów z wielu punktów pomiarowych. Dane te służą jako sygnały w układach sterowania, kontroli i eksploatacji czy badań naukowych. Jak wynika z metodyki rachunku wyrównawczego wiarygodność tych pomiarów jest większa, gdy ilość punktów pomiarowych jest większa niż minimum wynikające z opisu i bilansu układu. Nadmiarowa ilość pomiarów właściwie dobrana i rozmieszczona może prowadzić do zmniejszenia niepewności pomiaru.

Doktorant podjął się zadania optymalizacji struktury systemu pomiarowego parowego bloku energetycznego w technologii spalania tlenowego, znajdującego się w fazie wstępnego projektowania. Istotnym elementem tego systemu jest stosowanie rachunku wyrównawczego. Możliwość minimalizacji niepewności pomiarowej rozszerza zakres aparatu symulacyjnego różnych rozwiązań konstrukcyjnych bloku. Dlatego wybór tematyki uważam za ambitny i uzasadniony.

3.2. Ocena wyników badań

- Doktorant zaproponował, by do poprawy wiarygodności pomiarów eksploatacyjnych w procesach konwersji energii, użyć metod rachunku wyrównawczego. Metoda ta może być zastosowana jako narzędzie do optymalizacji lokalizacji dodatkowych nadmiarowych pomiarów.
- Aby uzyskać dane do metod rachunku wyrównawczego (baza wartości pomiarów) Doktorant opracował symulacyjny model procesu konwersji energii wykorzystując program Thermoflex oraz Aspen Plus.
- Doktorant wykazał, że można tak dobrać lokalizację nadmiarowych pomiarów w układzie cieplnym bloku, by niepewności pomiarów lub funkcje tych niepewności dążyły do minimum. Autor wybrał do analizy trzy funkcje celu (w tym dwie związane z oceną efektywności konwersji energii).

- Problemy z obliczeniami podczas optymalizacji dyskretnej Doktorant rozwiązał poprzez zmniejszenie wymiarowości zadania optymalizacyjnego eliminując te nadmiarowe pomiary, które miały mniejszy wpływ na funkcje celu.
- Doktorant wykazał poprzez obliczenia, że istnieje optymalna konfiguracja pomiarów nadmiarowych, różna dla różnych funkcji celu i ich ilość jest przeważnie nieduża.

3.3. Ocena metodologii badań

Doktorant w rozwiązywaniu zadania badawczego posługiwał się metodami numeryczno-analitycznymi i modelowaniem systemów energetycznych. W celu uzyskania wyników pomiarów opracował model symulacyjny procesu konwersji energii w bloku energetycznym ze spalaniem tlenowym. Uzyskane z analizy stanów termodynamicznych dane były traktowane jako pomiary bez błędów.

Korzystał z komercyjnych programów do opisu systemów cieplnych (Thermoflex i Aspen Plus).

Pomimo, że nie prowadził badań empirycznych, to wykazał biegłość w posługiwaniu się metodologią obróbki danych pomiarowych zwaną rachunkiem wyrównawczym.

Doktorant opanował też metodologię badań optymalizacyjnych, zwłaszcza w odniesieniu do optymalizacji dyskretnej. Wykazał się też wiedzą w zakresie teorii maszyn cieplnych.

3.4. Uwagi krytyczne i redakcyjne

- ❖ Praca napisana została w sposób (zdaniem recenzenta) nadmiernie zwarty. Byłaby łatwiejsza w czytaniu, gdyby Autor komentował niektóre opinie, przedstawione schematy i wykresy. Przykładem może być punkt 2.4 pt. „Rachunek wyrównawczy” czy tabela 2.1 pt. „Klasyfikacja algorytmów nieliniowych” (str. 12).
- ❖ Na str. 79 wiersz 1 i 2 od dołu informuje, że „W układzie cieplnym bloku zaproponowano usprawnienia podwyższające sprawność energetyczną układu”. Recenzent nie znalazł informacji jaki rodzaj miało to

usprawnienie i o jaką wartość podwyższona została sprawność (którego?) układu. Czy osiągnięcie to ma charakter wdrożenia?

- ❖ Praca napisana została poprawnym językiem z użyciem terminologii energetycznej i pomiarowej. Struktura tekstu rozprawy nie budzi zastrzeżeń.
- ❖ Zastrzeżenia w rozprawie odnoszą się do strony redakcyjnej. Nie przeanalizowano ciągłości numeracji rysunków i tabel. Brak logicznej ciągłości w numeracji podrozdziałów. Nie uwzględniono faktu, że rysunki i schematy pomniejszone do formatu A-4 stają się nieczytelne.

W całej pracy nie przeprowadzono korekty maszynopisu, zwłaszcza polskich liter. Wady te obniżają wartość rozprawy i są konieczne do usunięcia przed dalszym jej rozpowszechnianiem.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę przedstawioną rozprawę doktorską, jej temat i sposób prowadzenia badań tj. dekompozycję problemu na zadania cząstkowe, sposób doboru narzędzi badawczych i synteza osiągniętych wyników, można wysunąć wniosek, że mgr inż. Grzegorz Nowak wykazał się wiedzą i umiejętnościami badawczymi niezbędnymi do prowadzenia badań w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie energetyka i spełnia warunki do ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Wnoszę więc, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z 14 03 2003r o dopuszczenie Go do obrony pracy i nadanie mu stopnia doktora nauk technicznych.

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Gnutek

