

dr hab. inż. Tomasz Gałka, prof. IEn
Instytut Energetyki
ul. Mory 8
01-330 Warszawa
tomasz.galka@ien.com.pl

Warszawa, 30.12.2021

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pani mgr inż. Aleksandry Czajkowskiej
*Wykorzystanie fizykochemicznych miar procesów ewolucji stanu degradacji w
diagnozowaniu obiektu złożonego*

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne
Dyscyplina: inżynieria mechaniczna

Promotor: prof. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski
Katedra Transportu i Informatyki
Uczelnia Techniczno-Handlowa im. H. Chodkowskiej w Warszawie

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi zamówienie Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, al. Profesora Sylwestra Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz (reprezentacja: dr hab. inż. Piotr Aleksandrowicz, prof. uczelni, Dziekan Wydziału Inżynierii Mechanicznej).

1. Informacje ogólne

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 174 strony, z czego 20 przypada na załączniki zawierające wybrane wyniki badań w formie zestawień tabelarycznych i wykresów. Praca jest podzielona na dziewięć rozdziałów, w tym wprowadzenie oraz zakończenie i wnioski (szczegółowe uwagi do poszczególnych rozdziałów będą zaprezentowane w dalszej części recenzji). Wykaz literatury zawiera 143 pozycje, w większości polskojęzyczne (109); Doktorantka jest autorem lub współautorem 13 z nich. Dobór literatury jest właściwy i adekwatny do tematyki rozprawy. Na uwagę zasługuje szereg pozycji będących dokumentami agend Unii Europejskiej, dotyczącymi głównie standardów emisyjnych. Stosunkowo obszerny wykaz oznaczeń i symboli jest o tyle przydatny, że w tekście dość często pojawiają się skróty oznaczające zarówno badane obiekty i ich elementy, jak i parametry odnoszące się do ich funkcjonowania, eksploatacji i stanu technicznego.

Język rozprawy jest relatywnie prosty i zrozumiały. Niektórym fragmentom brakuje być może elegancji lingwistycznej, choć recenzent nie czuje się w pełni kompetentny do formułowania tego rodzaju ocen. Nieliczne literówki (w tekście o tych rozmiarach trudno ich uniknąć) nie utrudniają lektury i nie wpływają na zrozumienie wywodów Autorki przez czytelnika.

Na uwagę zasługuje podanie źródeł wszystkich rysunków i tabel, ze wskazaniem tych, które są efektem opracowania własnego Autorki.

2. Omówienie rozprawy

Krótkie wprowadzenie przekazuje dwie ważne informacje. Po pierwsze określa elektrofiltr kotła energetycznego opalanego węglem jako obiekt diagnozowania. Jest to istotne i interesujące. Diagnostyka bardzo złożonego obiektu, jakim jest blok energetyczny, koncentruje się przede

wszystkim na podstawowych urządzeniach wytwórczych, przy czym w odniesieniu do kotła stosuje się głównie metody diagnostyki materiałowej (niszczące i nieniszczące). Tymczasem elektrofiltr jest ważnym elementem bloku, którego niesprawność może doprowadzić do awaryjnego odstawienia ze wszystkimi tego konsekwencjami. Drugą ważną kwestią – choć nie zostało to zdecydowanie podkreślone – jest wykorzystanie parametrów (miar) fizykochemicznych, a nie jedynie mierzalnych wielkości fizycznych.

Tytuł rozdziału 2 jest nieco mylący, nie zawiera on bowiem typowej analizy *state-of-the-art* na podstawie dostępnych źródeł literaturowych. Składa się on w istocie z dwu części. Pierwsza z nich prezentuje elementy systemu eksploatacji obiektów technicznych, w tym powiązania między podsystemami użytkowania i obsługi. Druga natomiast sygnalizuje pewne zagadnienia związane ze specyfiką energetyki zawodowej: podstawowe zasady utrzymania zdadności maszyn oraz wymagania związane ze standardami emisji, które bezpośrednio uzasadniają celowość doskonalenia metod oceny stanu elektrofiltru. Wydaje się, że rozdział ten można by zredagować z nieco innym rozłożeniem akcentów. Kwestie emisji mają obecnie zdecydowanie pierwszorzędne znaczenie, natomiast rozważania na temat utrzymania zdadności są nader ogólne, a niektóre zdefiniowane wskaźniki (patrz str. 19) nie pojawiają się już w dalszym ciągu rozprawy.

Na str. 16 przywołany jest rys. 2.2, podczas gdy wywód dotyczy rys. 2.3. Jest to niewątpliwie pomyłka, choć może prowadzić do nieporozumień.

Rozdział 3 zawiera hipotezę roboczą pracy:

‘Możliwe jest dozorowanie i wskazywanie zmian stanu technicznego elektrofiltru, bazując na analizie miar fizykochemicznych ewolucji procesu degradacji obiektu złożonego’, oraz precyzuje zakres badań weryfikujących tę hipotezę, z czego wynika cel główny pracy oraz cele szczegółowe. Należy zwrócić uwagę, że w przedstawionym przez Autorkę zakresie pracy (podrozdział 3.4) przyjęto numerację rozdziałów inną od stosowanej w spisie treści (i w niniejszej recenzji), co może prowadzić do nieporozumień. Nie jest to oczywiście uwaga o charakterze merytorycznym.

Również tytuł rozdziału 4 jest sformułowany cokolwiek niefortunnie. ‘Racjonalna eksploatacja elementów bloku energetycznego’ mogłoby być tytułem obszernej monografii, tymczasem w rozdziale opisano czynniki wpływające na skuteczność działania elektrofiltru, parametry charakteryzujące tę skuteczność oraz miary degradacji jego stanu technicznego. Dokonano także analizy ryzyka i bezpieczeństwa elektrofiltru, nawiązując do wcześniejszych publikacji Autorki. Tabela 4.1, syntetycznie przedstawiająca krytyczność maszyn, jest dyskusyjna – w szczególności przyjęcie takich, a nie innych kryteriów ilościowych wymaga komentarza co do uniwersalności proponowanych grup krytyczności.

W rozdziale 5 przedstawiono procedury oceny, genezowania i prognozowania stanu technicznego. Aczkolwiek przywołane w nim zostały parametry stanu elektrofiltru, rozdział ten jest w gruncie rzeczy dość ogólny i dokumentuje dobre rozeznanie Autorki w tej tematyce. Rozdział 6 skupia się już całkowicie na elektrofiltrze. Krótko omówiono zasadę działania, a także stosowaną aparaturę badawczą i normatywno-prawne uwarunkowania eksperymentu, w tym wzory stosowane do obliczania emisji i wynikające z obowiązujących norm i zaleceń.

Za najważniejszą i być może najbardziej interesującą (przynajmniej z punktu widzenia recenzenta) część pracy należy uznać rozdział 7, w którym najpierw podano przykładowe zestawienia wyników w postaci tabelarycznej, a następnie przedstawiono macierze boolowskie, stanowiące podstawę testów kontroli stanu technicznego omawianych urządzeń. Podrozdział 7.3, zatytułowany skromnie ‘Opracowanie statystyczne wyników’, stanowi w ocenie recenzenta ważne potwierdzenie oryginalności i znaczenia pracy, przedstawiając optymalizację zbioru parametrów diagnostycznych oraz przykładowe wyniki procedur genezowania i prognozowania. Złożone obiekty diagnozowania generują zazwyczaj znaczną liczbę sygnałów będących źródłem parametrów diagnostycznych (które można tu utożsamiać z symptomami stanu), a zatem optymalizacja ich zbioru ma zasadnicze znaczenie dla wnioskowania diagnostycznego i prognozowania. Ważna jest również procedura

wyznaczania optymalnej metody szacowania terminu następnej obsługi, szczególnie wobec sygnalizowanej przez Autorkę we wcześniejszej części pracy filozofii eksploatacji elektrofiltru ‘do uszkodzenia’, co jest częstą praktyką.

Rozdział 8 zawiera szereg rozważań odnoszących się do eksploatacji obiektów złożonych, ze szczególnym uwzględnieniem elektrofiltrów. Nie są one bezpośrednio związane z procedurami diagnostycznymi, ale opierają się na zgromadzonych przez Autorkę danych z obiektów rzeczywistych i są istotne z punktu widzenia użytkownika obiektu lub podmiotu zamawiającego dostawę bądź modernizację. Istotnym elementem jest tu analiza SWOT (obecnie powszechnie stosowana w tego rodzaju przedsięwzięciach), choć rysunek ilustrujący tę analizę (rys. 8.1) jest mało czytelny – jest to oczywiście uwaga czysto techniczna. Bardzo interesujący jest opracowany przez Autorkę arkusz FMEA (str. 127-132), obszerny i wyczerpujący, syntetycznie podsumowujący potencjalne wady poszczególnych podzespołów elektrofiltru, ryzyko ich wystąpienia, znaczenie dla klienta/użytkownika i zalecane działania. Pozwoliło to na sformułowanie przesłanek dla modernizacji eksploatacji elektrofiltrów.

W ostatnim rozdziale Autorka uzasadnia zweryfikowanie hipotezy roboczej oraz wyszczególnia zidentyfikowane parametry diagnostyczne, stanowiące podstawę dla procedur genezowania i prognozowania. Przedstawione są również propozycje dalszych prac badawczych, przy czym szczególnie interesujące wydaje się zbadanie innych metod optymalizacji zbioru parametrów diagnostycznych, wykorzystujących metodykę optymalizacji wielokryterialnej (punkt idealny). Ważną z punktu widzenia aplikacji propozycją jest zbadanie, jak na eksploatację elektrofiltru wpływa zmiana paliwa, w szczególności współspalanie biomasy. Doświadczenie eksploatacyjne wskazuje, że wpływa ono na funkcjonowanie całego ciągu spalinowego w istotny sposób, niekiedy bardzo niekorzystnie. Sformułowano również wytyczne do modelowania elektrofiltru oraz zaproponowano wymagania dla układu ciągłego monitorowania jego pracy.

Powyższe uwagi szczegółowe nie wpływają na generalną ocenę merytoryczną pracy, która jest pozytywna.

3. Uwagi i pytania

- 1) W modelu systemu eksploatacji obiektu technicznego (rys. 2.3) Autorka wyróżnia zbiory $y(t)$ i $u(t)$. W opisie na str. 16 są one określane odpowiednio jako ‘mierzalny zbiór wielkości wyjściowych eksploatacji obiektu technicznego’ oraz ‘uogólniony zbiór wielkości wyjściowych obiektu eksploatacji’. Proszę o uzasadnienie takiego rozróżnienia i wyjaśnienie różnic między tymi zbiorami.
- 2) Na str. 43 przedstawiono grupy krytyczności maszyn (tabela 4.1). Wyróżniono trzy grupy, przy czym w niektórych obszarach wyszczególnionych w pierwszej kolumnie różnice mają charakter dość subiektywny (typu znaczny/nieznaczny, duże/niewielkie), natomiast w innych podano konkretne wartości kryterialne. Dotyczy to obszarów ‘czas pracy’, ‘awaryjność’ i ‘obsługa’. Proszę o komentarz dotyczący uniwersalności (ewentualnie zakresu stosowalności) tej klasyfikacji.
- 3) Elektrofiltr jest – jak to opisuje Autorka – urządzeniem odpylającym. Tymczasem wśród parametrów charakteryzujących pracę układu odpylania wymieniono również poziomy emisji SO_2 , NO_2 (należałoby raczej mówić o NO_x), CO , CO_2 i benzo(a)pirenu (niepoprawnie nazwanego benzo(a)piranem). Parametry te są oczywiście zasadnicze dla oceny funkcjonowania układu oczyszczania spalin jako całości. Proszę o wyjaśnienie, czy mają one związek z funkcjonowaniem elektrofiltru.

4. Podsumowanie

- 1) W ocenie recenzenta rozprawa doktorska Pani mgr inż. Aleksandry Czajkowskiej ‘Wykorzystanie fizykochemicznych miar procesów ewolucji stanu degradacji w diagnozowaniu obiektu złożonego’ spełnia wymagania art. 13 ustawy 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, stan prawny na dzień 30 września 2011 r.).
- 2) Tematyka i zakres recenzowanej rozprawy kwalifikują ją do dziedziny nauk inżyniersko-technicznych i dyscypliny inżynieria mechaniczna, według klasyfikacji dziedzin i dyscyplin określonej w rozporządzeniu z dnia 20 września 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).
- 3) Wnioskuje o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.