

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Ewy Dąbrowskiej pt. "**Monte Carlo simulation approach to reliability analysis of complex systems**"

1. Uwagi ogólne

Zagadnienia rozpatrywane w opiniowanej rozprawie dotyczą niezawodności systemów złożonych. System uważa się za złożony już wtedy, kiedy składa się on z dużej liczby elementów uszkadzających się niezależnie od siebie, a jego struktura niezawodnościowa jest nietrywialna, tzn. bardziej złożona niż struktura szeregowo równoległa. Z oczywistych względów badacze niezawodności w pierwszej kolejności zajmowali się obiektami dwustanowymi o elementach dwustanowych w sensie niezawodności, tzn. przyjmowano, że zarówno system, jak i wszystkie jego elementy mogą być tylko zdadne albo niezdatne. Założenia odnośnie do parametrów niezawodnościowych elementów początkowo ograniczały się do przyjmowania wykładniczego rozkładu czasu ich poprawnej pracy, następnie zaś coraz chętniej rezygnowano z tego mocnego założenia na rzecz opisu niezawodności elementów w bardziej przystający do rzeczywistości sposób. W okresie tych pierwszych badań analizę niezawodności takich stosunkowo prostych systemów prowadzono w sposób analityczny, tzn. dążono do uzyskiwania dokładnych wartości wskaźników niezawodności lub analitycznych postaci funkcji opisujących ich niezawodność. Kolejne etapy rozwoju badań nad niezawodnością systemów polegały na rozpatrywaniu systemów o coraz bardziej złożonych strukturach niezawodnościowych (z czasem nawet zmiennych w czasie), na częściowej lub całkowitej rezygnacji z niezależności uszkadzania się elementów, na coraz szerszym stosowaniu metod numerycznych do wyznaczania niezawodności opisywanych coraz bardziej skomplikowanymi parametrami. Jednakże mimo burzliwego rozwoju informatyki, zarówno odnośnie do oprogramowania, jak i coraz szybszych i pojemniejszych komputerów, uzyskiwanie analitycznych rozwiązań dotyczących tak skomplikowanych systemów przestało być efektywne. Wytlumaczenie tego faktu jest proste: rozszerzanie złożoności systemów doprowadziło do konieczności rozpatrywania tak wielkiej liczby pojawiających się stanów dotyczących niezawodności, że czas analizy takich skomplikowanych obiektów w celu uzyskania dokładnych wyników opisujących niezawodność systemów okazuje się zbyt długi. W celu

ominięcia tej niedogodności, w środowisku naukowym, z którego wywodzi się doktorantka, dla pewnych rodzajów systemów o niezbyt złożonych strukturach niezawodnościowych opracowano tzw. modele asymptotycznej oceny niezawodności systemów (prace m. in. K. Kołowrockiego, B. Milczek, A. Blokus-Roszkowskiej, J. Soszyńskiej-Budny i in.). Podejście asymptotyczne polega – ogólnie mówiąc – na tym, że dokładną funkcję niezawodności systemu aproksymuje się mniej skomplikowanymi w formie granicznymi funkcjami niezawodności, wyznaczonymi przy założeniu, że liczba elementów systemu dąży do nieskończoności. Rozwój wiedzy w tej dziedzinie polegał głównie na tym, że wyznaczano graniczne funkcje niezawodności dla różnych rodzajów konkretnych struktur niezawodnościowych, uzyskując przy tym lepsze oszacowania niż dla bardziej ogólnych przypadków.

W opiniowanej rozprawie doktorantka rozpatruje dość złożone systemy (duża liczba elementów, duża liczba stanów elementów i systemu, nietrywialne rozkłady prawdopodobieństw przejść między stanami) i z powodu wyżej wspomnianego zrezygnowała z dążenia do uzyskania dokładnych ocen niezawodności systemu. Zastosowane zostało znane już wcześniej podejście, tzn. symulacyjna ocena niezawodności. W skrócie rzecz ujmując (szczegóły w dalszej części opinii) doktorantka rozpatruje systemy złożone w sensie niezawodności stosując do ich opisu znane modele analityczne, jednakże bardzo dobrze przedstawione od strony matematycznej i przy uwzględnieniu wielu założeń wcześniej nie rozpatrywanych przez innych badaczy, co czyni jej pracę nowatorską w wielu fragmentach. Do skonstruowanych modeli systemów stosuje metodę Monte Carlo uzyskując w krótkim czasie obliczeniowym satysfakcjonujące wyniki.

Rozprawa jest starannie opracowana. Napisana jest w języku angielskim komunikatywnym i jednocześnie ścisłym językiem, przy zastosowaniu – z konieczności – zaawansowanego aparatu matematycznego. Praca liczy 146 stron i składa się ze wstępu, pięciu merytorycznych rozdziałów, podsumowania, bibliografii i krótkiego streszczenia w języku polskim.

2. Przedmiot, zakres i ocena merytoryczna pracy

2.1. Zawartość rozprawy

Rozdział 1 jest krótki (4 strony) i zawiera uzasadnienie podjęcia omawianego w rozprawie tematu, pobieżne przedstawienie dotychczasowego stanu wiedzy z rozpatrywanej tematyki oraz krótką prezentację zagadnień rozpatrywanych w pracy.

Rozdział 2 w początkowych fragmentach (podpunkty 2.1.1 i 2.1.2) jest poświęcony przedstawieniu podstawowych zagadnień dotyczących niezawodności systemów wielostanowych. Są to przeważnie pojęcia i definicje znane z literatury, uzupełnione o interpretacje i komentarze doktorantki. Przedstawiono stan wiedzy z zakresu ściśle dotyczącego rozprawy, rezygnując z szerokiego prezentowania podejścia do analizy niezawodności systemów wielostanowych. W szczególności, przyjęto semi-markowski model procesu eksploatacji systemu. Jego istota polega m. in. na tym, że zmienne warunki eksploatacji generują zmiany struktury niezawodnościowej systemu. Dalsze fragmenty tego rozdziału zawierają już wyniki własnych badań doktorantki, w tym przedstawienie modelu zakładającego zmianę struktury niezawodnościowej systemu podczas

jego eksploatacji, która to zmiana z kolei wpływa na zmianę parametrów niezawodnościowych elementów. Przyjęto rozszerzające założenie, że rozkłady czasu przebywania elementów systemu w poszczególnych stanach są kawałkami wykładnicze. Systemy o takich własnościach doktorantka nazywa wykładniczymi systemami złożonymi. Następnie zaprezentowano autorski algorytm zbudowany na takim modelu systemu do symulacyjnego wyznaczania ocen niezawodności systemu metodą Monte Carlo. W końcowym punkcie 2.3 tego rozdziału doktorantka przedstawia wyniki symulacji niezawodności portowego systemu transportu zboża z wykorzystaniem wcześniej zaprezentowanego modelu.

W rozdziale 3 doktorantka bardzo szczegółowo opisuje uogólnione przez siebie zagadnienia, pobieżnie przedstawione w 2.1.1 i 2.1.2. Zakłada m. in., że zmienne warunki eksploatacji systemu generują zarówno zmianę jego struktury niezawodnościowej jak też zmianę parametrów niezawodnościowych jego elementów. W szczególności, założono, że niezawodność elementów zależy od liczby zmian warunków eksploatacji systemu. W ten sposób doktorantka uogólnia rozpatrywany wcześniej model semi-markowski na model z pamięcią liczby zmian stanów. W punkcie 3.3 kontynuowane są rozważania doktorantki z punktu 2.3, tzn. wykorzystano rozszerzony model niezawodności systemu do symulacji jego niezawodności metodą Monte Carlo.

Rozdział 4 jest poświęcony omówieniu implementacji modelu, sformułowanego przez doktorantkę w poprzednich rozdziałach, do potrzeb symulacji metodą Monte Carlo. W szczególności przedstawia sposób podejścia do generowania procesu użytkowania systemu (p. 4.1) oraz sposób generowania zmian stanu procesu użytkowania systemu w poszczególnych stanach operacyjnych (p.4.2). W punkcie 4.3 został zaprezentowany ogólny algorytm symulacji niezawodności wykładniczych systemów złożonych. Schemat tego algorytmu został bardzo przejrzysto przedstawiony graficznie na rys. 4.1. Rozdział ten kończy się przedstawieniem konkretnego zastosowania omawianej przez doktorantkę metody symulacji na przykładzie portowego systemu transportu zboża. Szczegółowo zostały przedstawione poszczególne etapy funkcjonowania algorytmu (rys. 4.2), a na koniec zaprezentowane konkretne wyniki symulacji niezawodności rozpatrywanego systemu.

Rozdział 5 zawiera próbę uogólnienia podejścia opisywanego w poprzednich rozdziałach. Doktorantka odchodzi od dość mocnych założeń o tym, że rozkłady czasu przebywania systemu w poszczególnych stanach są wykładnicze oraz że wykładnicze są czasy przebywania elementów w poszczególnych stanach. Takie uogólnienie zaowocowało jedynie częściowym sukcesem. Doktorantce udało się uogólnić swój model w kilku szczególnych przypadkach, tj. gdy czasy przebywania elementów w poszczególnych stanach mają rozkład normalny lub równomierny. W ogólnym przypadku tzn. gdy czasy przebywania elementów systemu mają dowolne rozkłady, nie jest możliwe proste przeniesienie modeli analitycznych rozpatrywanych w poprzednich rozdziałach. Fakt ten tym bardziej uzasadnia konieczność podejścia symulacyjnego do oceny niezawodności nie-wykładniczych systemów złożonych. W p. 5.2 przedstawiono algorytm symulacyjnej oceny niezawodności rozumianych w sposób wyżej opisany uogólnionych systemów złożonych (jego schemat ilustruje rys. 5.1). Konkretne rezultaty uogólnionego podejścia zaprezentowano w p 5.3 dla systemu dwustanowego.

Rozdział 6 to zwięzłe i rzeczowe posumowanie zawartości pracy.

Ostatnia część rozprawy (Bibliografia) zawiera 111 pozycji, z których większość nie jest cytowana w zasadniczej części rozprawy.

2.2. Merytoryczna ocena pracy

Celem opiniowanej rozprawy jest ocena niezawodności pewnej klasy systemów wielostanowych w sensie niezawodności. Ze względu na trudności z uzyskaniem analitycznej postaci oceny dla dużych systemów (a właśnie takie rozpatruje doktorantka), która umożliwiłaby łatwe uzyskanie konkretnych pożądaných ocen niezawodności, zostało zaproponowane podejście symulacyjne z wykorzystaniem metody Monte Carlo. Uważam, że takie podejście ma duży sens z punktu widzenia zastosowań.

Model wielostanowości rozpatrywany w rozprawie ogranicza się do przypadku właściwego dla opisu procesów zużycia, tzn. obiekt może przechodzić ze stanu *lepszego* do *gorszego* kolejno, bez możliwości pominięcia któregośkolwiek ze stanów pośrednich (nie jest możliwe *przeskoczenie* przez kilka stanów). Taki model, aczkolwiek prosty, obejmuje bardzo dużą liczbę rzeczywistych systemów. W pracy całkowicie pominięto jakiegokolwiek odnowy elementów, a tym samym systemu. Odnowy, tzn. przeglądy, remonty, naprawy częściowe i całkowite, wymiany itp., są integralną częścią rzeczywistych procesów eksploatacji obiektów, a ich pominięcie nieco ogranicza walory zastosowaniowe zagadnień poruszanych w rozprawie. Wprowadzenie możliwości stosowania odnów w opisywanym przez doktorantkę modelu, jeszcze bardziej niż to jest w modelu przyjętym w pracy, ograniczyłoby możliwości uzyskania sensownych analitycznych ocen niezawodności systemu, ale - wydaje się - zastosowane przez doktorantkę podejście symulacyjne umożliwiłoby pokonanie tej trudności. Zdaję sobie sprawę z tego, że wspomniane wyżej uogólnienie - przez wprowadzenie odnów - uczyniłoby pracę bardzo obszerną, znacznie wykraczającą poza wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Mam nadzieję, że to uogólnione podejście doktoranta zastosuje w swoich następnych badaniach.

Istotne dla pracy jest przyjęcie pół-markowskiego modelu eksploatacji. Dodatkowo, przyjęcie założenia - dla dużej części rozważań - że rozkład czasu przebywania elementów w poszczególnych stanach jest wykładniczy (model bez pamięci) umożliwił otrzymanie analitycznej formy opisu modelu. Na podkreślenie zasługuje duża biegłość doktorantki w posługiwaniu się dość złożonym matematycznym aparatem formalnym. Prowadzone w rozprawie rozważania skutkują bardzo często złożonymi formułami matematycznymi, a prezentowany w pracy sposób ścisłego i precyzyjnego ich prezentowania dobrze świadczy na rzecz doktorantki.

Innym ważnym oryginalnym rezultatem uzyskanym przez doktorantkę jest implementacja dla potrzeb metody symulacji Monte Carlo w istocie dość złożonego modelu analitycznego, tzn. stworzenie algorytmu adekwatnego do modelu analitycznego, a następnie opracowanie odpowiedniego oprogramowania umożliwiającego uzyskanie konkretnych wyników oceny niezawodności systemów.

Ważna jest też próba uogólnienia modelu niezawodności wykładniczych systemów złożonych na przypadek nie-wykładniczych rozkładów czasów przebywania elementów systemu w poszczególnych stanach. Próba ta, w obszarze rozważań analitycznych z konieczności zakończyła się połowicznym sukcesem, tym niemniej stworzony uogólniony algorytm symulacji niezawodności systemów zasługuje na uznanie

Wartościowe są fragmenty rozprawy poświęcone prezentacji przykładów zastosowań opisanych wcześniej modeli. Pokazują one, że symulacja stosowana przez doktorantkę, po porównaniu z wynikami obliczeń tzw. dokładnych, ma głęboki praktyczny sens, gdyż prostota, a zwłaszcza prędkość obliczeń z powodzeniem rekompensują drobne niedokładności oszacowań.. Przedstawione przykłady symulacji oceny niezawodności portowego systemu transportu zboża pozwalają ponadto lepiej zrozumieć złożone niekiedy rozważania przeprowadzane przez doktorantkę we wcześniejszych fragmentach pracy.

2.3 Zalety rozprawy

W opiniowanej rozprawie doktorantka zajmuje się, ważnym z punktu widzenia zastosowań, zagadnieniem oceny niezawodności złożonych systemów wielostanowych. Do osiągnięcia tego celu zastosowała metodę symulacji Monte Carlo. Wcześniej, by tę metodę móc zastosować, przedstawiła w wielu aspektach oryginalne analityczne modele niezawodności systemów wielostanowych. Trafnym jest zastosowanie modelu semi-markowskiego do opisu procesu użytkowania systemu. Potwierdzeniem walorów zastosowaniowych przedstawionego w pracy podejścia, mimo wspomnianego wyżej nieuwzględnienia odnów, są podane przykłady zastosowań w odniesieniu do portowego systemu transportu zboża.

Na podkreślenie zasługuje duża staranność w prezentowaniu wprowadzanych pojęć, definicji, lematów i wzorów matematycznych. Takie podejście umożliwia dość łatwe śledzenie niekiedy bardzo złożonych formuł matematycznych. Niezręczności dotyczące sformułowań, utrudniające tok śledzenia pracy, są nieliczne, a jeśli są, to ich waga jest mało istotna.

Pewne ograniczenia w przyjętym przez doktorantkę modelu systemu wielostanowego, wobec zastosowanego podejścia symulacyjnego do uzyskiwania ocen niezawodności, wydają się być łatwe do usunięcia. Ta elastyczność przyjętego modelu, umożliwiająca uzyskanie w przyszłości dokładniejszego opisu rzeczywistych systemów, jest kolejną zaletą pracy

2.4. Mankamenty rozprawy

Niezadowolająca, moim zdaniem, jest zawartość punktu 1.2. „State of art”. Doktorantka, ze szkodą dla uwypuklenia zalet stosowanej przez siebie metody Monte Carlo, zbyt powierzchownie przedstawia praktyczne trudności w uzyskaniu sensorycznych ocen niezawodności rozpatrywanej klasy systemów. Brak jest jakiegokolwiek oceny ilościowej złożoności obliczeniowej ewentualnej implementacji numerycznej metod niezbędnych do uzyskania wymaganych w praktyce wyników.

Pozycje z dość obszernej bibliografii są cytowane w zasadzie jedynie na samym początku rozprawy (punkty 1.1 i 1.2), natomiast w merytorycznych częściach pracy cytowania są zbyt rzadkie. Utrudnia to nieco ocenę oryginalnego wkładu doktorantki do przedstawianych zagadnień i zmusza czytającego do arbitralnego rozstrzygnięcia pojawiających się wątpliwości.

Ze względu na mnogość występujących w rozprawie oznaczeń i definicji, zauważalny jest brak indeksu symboli używanych w pracy. Utrudnia to nieco czytanie pracy, gdyż często wymaga to poszukiwania budzących wątpliwości oznaczeń lub definicji we wcześniejszych fragmentach, zamiast prostego sięgnięcia do odpowiedniego indeksu. Brak ten, aczkolwiek nie całkowicie, rekompensuje precyzja sformułowań używanych w rozprawie.

Pewien niedosyt budzą niektóre fragmenty zawierające opis portowego systemu transportu zboża oraz fragmenty prezentujące wyniki konkretnych symulacji w odniesieniu do tego systemu. Dla kogoś, kto nigdy nie widział takiego systemu, fragmenty te, aczkolwiek nie budzące zastrzeżeń merytorycznych, są zbyt sformalizowane, nie zawierają obrazowego, chciałoby się powiedzieć *inżynierskiego*, opisu.

3. Ocena końcowa i wnioski

Rozprawa doktorska Ewy Dąbrowskiej reprezentuje wysoki poziom naukowy. Temat rozprawy, zastosowane metody badawcze oraz uzyskane rezultaty spełniają wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Praca zawiera wiele elementów nowości naukowej. Poruszany w rozprawie problem naukowy jest ważny nie tylko z teoretycznego punktu widzenia, ale też ma duże walory zastosowaniowe. Cel pracy został przedstawiony w jasny, a jednocześnie formalnie bardzo ścisły sposób. Wiele oryginalnych naukowych podejść doktorantka zaprezentowała w kilku wartościowych publikacjach.

Reasumując, uważam, że rozprawa Ewy Dąbrowskiej pt.: " Monte Carlo simulation approach to reliability analysis of complex systems " spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w obowiązującej ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki i w związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Janusz Karpiński

