

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kolanka pt. "Analiza i optymalizacja niezawodnościowa konstrukcji za pomocą adaptacyjnych metod symulacyjnych".

1. Informacje ogólne

Recenzję opracowano na zlecenie Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk doc. dr hab. Kazimierza Piechóra, z dnia 1 grudnia 2006 roku. Rozprawa została wydana jako maszynopis Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN i zawiera 183 strony. Składa się ona z 10-ciu rozdziałów i wykazu literatury obejmującego 132 pozycje. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Stefan Jendo.

2. Opis pracy i komentarze

Od ponad trzydziestu lat prowadzone są intensywne prace w zakresie rozwoju metod oceny niezawodności konstrukcji oraz próby zastosowań tych metod do praktyki inżynierskiej. W problematyce tej występuje szereg interesujących i trudnych zagadnień naukowych a równocześnie tematyka ta ma ważne znaczenie praktyczne. Do oceny bezpieczeństwa wielu unikatowych budowli i konstrukcji jak morskie wieże wiertnicze czy też duże mosty o znaczących rozpiętościach przęsł stosuje się metody niezawodności konstrukcji. Analizy niezawodnościowe wykorzystuje się także w zagadnieniach normalizacyjnych. Obserwuje się również szereg prac z zakresu zastosowania metod niezawodności konstrukcji do opracowania optymalnej strategii remontów istniejących budowli inżynierskich jak na przykład mostów. Główne zadanie w problemie oceny niezawodności konstrukcji lub inaczej obliczenia prawdopodobieństwa jej awarii sprowadza się do obliczenia wielokrotnych całek oznaczonych po obszarze, często nieregularnym, wielowymiarowej funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Trudność w rozwiązaniu problemu polega na tym, że dla praktycznych problemów inżynierskich nie jest możliwe otrzymanie rozwiązania zarówno na drodze analitycznej jak i w sposób bezpośrednio numeryczny. Należy pamiętać, że obliczenia te wykonuje się na obszarze, gdzie wielowymiarowa funkcja gęstości prawdopodobieństwa przyjmuje wartości bardzo małe. Stąd wynika potrzeba opracowania efektywnych metod obliczeniowych. Podjęty temat pracy doktorskiej dotyczący zastosowania adaptacyjnych metod symulacyjnych do analizy i optymalizacji niezawodnościowej konstrukcji jest ważnym i interesującym zadaniem naukowym oraz może mieć istotne znaczenie praktyczne.

W rozdziale pierwszym rozprawy przedstawiono cel i zakres pracy oraz dokonano przeglądu literatury przedmiotu. Podstawowym zadaniem rozprawy jest znalezienie i zbadanie możliwości zastosowania w analizie niezawodności konstrukcji adaptacyjnych metod symulacyjnych, które mają dobrze opracowane podstawy teoretyczne a w szczególności rozstrzygnięty problem zbieżności w procesie iteracyjnym. Za takie metody uznano i szczegółowo się nimi zajęto są: metoda wzajemnej entropii i metoda generująca łańcuchy Markowa. W obu wymienionych wyżej propozycjach bazuje się na metodzie symulacji

ważonej (metoda importance sampling). Przedstawiony w tym rozdziale przegląd literatury uważam za wyczerpujący.

Podstawy teorii niezawodności konstrukcji przedstawiono w rozdziale drugim. Zdefiniowano funkcję graniczną, prawdopodobieństwo awarii, indeks niezawodności. Przedstawiono znane metody FORM i SORM w tym transformację zmiennych losowych do gaussowskiej przestrzeni standardowej, zdefiniowano punkt projektowy. Przedstawiono klasyczną metodę Monte Carlo wskazując na trudności jej wykorzystania w problemie niezawodności konstrukcji. Wskazano, że metody symulacji ważonej bazujące na zamianie miary są efektywne w zagadnieniu oceny niezawodności konstrukcji.

Problem optymalizacji konstrukcji z uwzględnieniem niezawodności przedstawiono w rozdziale trzecim. Sformułowano problem optymalizacji ze względu na minimum kosztów konstrukcji z uwzględnieniem minimalnej wartości indeksu niezawodności w ciągłej przestrzeni parametrów. Następnie problem optymalizacji rozszerzono, uwzględniając także parametry o wartościach dyskretnych. W tym drugim przypadku zaproponowano dwie metody rozwiązania problemu. Pierwsza metoda polega na transformacji dyskretnych zmiennych do rozszerzonej bazy parametrów ciągłych. Mam tutaj następujące pytanie: z czego wynika stwierdzenie podane w pracy, że ograniczenie (3.13) nie generuje dodatkowych minimów lokalnych. Drugą przedstawioną metodą jest algorytm kontrolowanego przeglądu. W metodzie tej zaproponowano modyfikację polegającą na wstępnej selekcji parametrów wykorzystując liniową aproksymację wskaźników niezawodności. Idea tego rozwiązania bazuje na założeniu, że wskaźniki niezawodności rozwiązania optymalnego w przestrzeni dyskretniej są bliskie wartościom wskaźników rozwiązania w przestrzeni ciągłej. Doktorant zwraca uwagę na fakt, że zaproponowana metoda może wykluczyć optymalne rozwiązanie w przypadku silnie nieliniowych ograniczeń. Omówione metody zilustrowano dwoma przykładami. W pierwszym przykładzie przedstawiono problem optymalizacji kratownicy płaskiej zbudowanej z 10 prętów, a w drugim przestrzenną kopułę kratową z uwzględnieniem możliwości utraty stateczności ze względu na przeskok.

W rozdziale czwartym przedstawiono metody dyskretyzacji pól losowych. W opisie niepewności parametrów konstrukcji a także obciążenia wykorzystuje się funkcje losowe lub ogólniej pola losowe. W problemie oceny niezawodności konstrukcji posługujemy się zmiennymi losowymi. Stąd wynika potrzeba zastąpienia funkcji i pól losowych dyskretnym zbiorem zmiennych losowych. W pracy przedstawiono różne metody dyskretyzacji jak: metodę lokalnego uśredniania, rozwinięcia w szereg, metoda funkcji kształtu, optymalnej aproksymacji liniowej. Głównym celem, jaki postawiono w tym rozdziale było modelowanie za pomocą pól losowych imperfekcji geometrycznych z uwzględnieniem warunków brzegowych utwierdzenia. Wykorzystano warunkowanie jednorodnego pola losowego na ustalonych wartościach i pochodnych jego realizacji w punktach brzegowych. Przedstawiono szczegółowe rozwiązanie dla losowych pól gaussowskich. Podano warunki zapewniające ciągłość i różniczkowalność pól losowych co jest istotne w rozwiązaniach wykorzystujących metody gradientowe. Opracowane rozwiązanie zastosowano do modelowania imperfekcji geometrycznych prętów i płyt z uwzględnieniem warunków podparcia co przedstawiono na przykładach. Mam uwagę do podanego równania macierzowego (4.17). Stałe F_{j2} nie występują w równaniach (4.14), (4.15). Stąd wynika, że nie powinny występować takie wielkości w równaniu (4.17). Warto postawić pytanie, które z metod dyskretyzacji „fizyczne” (lokalne uśrednianie) czy „matematyczne” (rozwinięcia w szereg) są efektywniejsze w przypadku powszechnie stosowanej metody elementów skończonych w zagadnieniach niezawodności.

Problem niezawodności konstrukcji z uwzględnieniem jej czasu eksploatacji przedstawiono w rozdziale piątym. Rozdział ten zawiera szereg znanych rozwiązań. Przyjęto, że parametry konstrukcji nie ulegają degradacji, a więc zmianie w czasie, co znacznie upraszcza analizę

problemu niezawodności ale z drugiej strony zawęża możliwości wykorzystania tego podejścia. Przy powyższym założeniu, w podejściu w którym transformuje się problem niezawodności w czasie na równoważny problem niezależny od czasu zagadnienie sprowadza się do określenia rozkładu wartości ekstremalnych. Przedstawiono także klasyczny problem pierwszego przekroczenia. Podano formułę Rice a dla procesów ciągłych i omówiono metodę wyznaczania częstości przekroczeń dla obciążenia modelowanego ciągiem prostokątnych impulsów, których zmiany w czasie opisuje proces odnowy.

Zagadnienie niezawodności systemów omówiono w rozdziale szóstym. Podano znane z literatury rozwiązania dla systemów równoległych, szeregowych i mieszanych. Szczegółowo omówiono problem oszacowania prawdopodobieństwa awarii dla złożonych układów. Budowę systemu awarii zilustrowano na przykładzie kratownicy statycznie niewyznaczalnej. Ważnym zagadnieniem z pozycji tematyki recenzowanej pracy a omówionym w tym rozdziale, jest problem jak skonstruować nową, wielowymiarową funkcję gęstości prawdopodobieństwa w zagadnieniu symulacji ważonej.

W rozdziale siódmym przedstawiono jedną z dwóch metod adaptacyjnych, a mianowicie metodę wzajemnej entropii. Omówiono podstawy teoretyczne oraz przedstawiono opracowany algorytm obliczeniowy. Efektywność prezentowanej metody zbadano na podstawie przykładów testowych. W przykładach tych uwzględniono najważniejsze zagadnienia i trudności, które występują w analizie niezawodności konstrukcji, a więc

- wpływ dużej liczby zmiennych losowych na efektywność obliczeń,
- małe prawdopodobieństwo awarii,
- silna nieliniowość powierzchni granicznej,
- nieróżniczkowalność powierzchni granicznej,
- złożony kształt obszarów awarii.

W przedstawionych przykładach wskazano na efektywność opracowanej metody w różnych wyżej wymienionych sytuacjach a także omówiono zagadnienie doboru parametrów poprawiających wydajność algorytmu. Mam pytanie, czy jest możliwe wyjaśnienie dlaczego w niektórych przypadkach podanych w tabelach na stronach 121-123 występuje brak zbieżności rozwiązania.

Rozdział ósmy jest istotny w rozprawie doktorskiej i zawiera analizę niezawodności konstrukcji za pomocą metod bazujących na łańcuchach Markowa. Posłużono się metodą Markov chain Monte Carlo różniącą się w sposób istotny od metod symulacji ważonej. W szczególności omówiono algorytm Metropolis-Hastings. Rozdział ten zawiera:

- informacje o łańcuchach Markowa,
- opis różnych wersji algorytmu Metropolis-Hastingsa,
- ocenę efektywności algorytmu M-H,
- opracowaną metodę adaptacyjną algorytmu M-H,
- wyznaczanie stałych normalizacyjnych,
- oszacowanie prawdopodobieństwa awarii,
- ocenę błędu oszacowania,
- optymalizację algorytmu M-H.

Podsumowaniem rozdziału są przykłady testowe prezentujące efektywność opracowanych algorytmów numerycznych. Występujące na stronach 131-132 funkcje $\rho(\mathbf{x},\mathbf{y})$ i $\rho(\mathbf{y},\mathbf{x})$ są dwiema różnymi funkcjami i użycie jednego symbolu $\rho(\)$ jest mylące. Należało wprowadzić dwa różne oznaczenia.

Rozdział dziewiąty zawiera analizę niezawodności ściskanej półki blachownicy. Doktorant zwrócił uwagę na fakt istnienia zależności między symetrią konstrukcji a symetrią obszarów awarii. Uwzględnienie tej zależności pozwala uniknąć grubych błędów w szacowaniu niezawodności konstrukcji.

Rozdział dziesiąty jest podsumowaniem przedstawionej pracy i zawiera szereg wniosków

i spostrzeżeń wynikających z opracowanych algorytmów obliczeniowych i przeprowadzonych eksperymentów numerycznych. Wskazano także dalsze kierunki badań.

3. Ocena pracy

Recenzowana praca doktorska dotyczy trudnego i złożonego problemu opracowania efektywnych metod numerycznych optymalizacji konstrukcji z uwzględnieniem zadanego poziomu jej niezawodności. Jako cel pracy postawiono zbadanie możliwości zastosowania w analizie niezawodności konstrukcji adaptacyjnych metod symulacyjnych, które mają dobrze opracowane podstawy teoretyczne i możliwości ich wykorzystania w zagadnieniu optymalizacji. Aby zrealizować zamierzony cel Doktorant przedstawia stosowane metody oceny niezawodności, formułuje problem optymalizacji niezawodnościowej, analizuje problem dyskretyzacji pól losowych, omawia zagadnienie niezawodności konstrukcji jako złożonego systemu a także metody oceny niezawodności zależnej od czasu. Cel pracy zrealizowano poddając szczegółowej analizie symulacyjne metody wzajemnej entropii i generujące łańcuchy Markowa. Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia pracy uważam:

- opracowanie i zastosowanie metody entropii wzajemnej do problemu wyznaczania prawdopodobieństwa awarii konstrukcji,
- opracowanie i zastosowanie metod bazujących na łańcuchach Markowa w zagadnieniu niezawodności konstrukcji. Problem niezawodności sprowadzono do zadania wyznaczania stałej normalizującej,
- przetestowanie możliwości optymalizacji niezawodnościowej konstrukcji z uwzględnieniem dyskretnych zmiennych projektowych,
- dyskretyzację pól losowych modulujących imperfekcje geometryczne z uwzględnieniem warunków brzegowych. Zadanie to zrealizowano stosując metodę warunkowania pola losowego na wartościach i pochodnych jego realizacji w punktach brzegowych,
- wykorzystanie związku między symetrią konstrukcji a symetrią obszarów awarii,
- zrealizowanie numeryczne szeregu przykładów ilustrujących opracowane metody jak i występujące trudności i problemy w zagadnieniach określania niezawodności konstrukcji jak i jej optymalizacji niezawodnościowej.

Pracę uważam za interesującą i można ją uznać za wyróżniającą. Jest także dobrze zredagowana. Doktorant realizując przedstawioną pracę wykazał się szeroką wiedzą z zakresu niezawodności konstrukcji, metod optymalizacji, a przede wszystkim stosowanych procedur numerycznych a także informatycznych. Warto podkreślić także fakt, że Doktorant jest współautorem 14 publikacji.

4. Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Kolanka pod tytułem „Analiza i optymalizacja niezawodnościowa konstrukcji za pomocą adaptacyjnych metod symulacyjnych” odpowiada wymogom stawianym pracom doktorskim i na podstawie Art.13, pkt. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw nr 65, poz.598) wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

