

# Wpływ metod modelowania numerycznego na rozrzuty i błędy analiz obliczeniowych wybranych urządzeń i konstrukcji okrętowych

## Streszczenie

Statek to specyficzny wytwór ludzki, działający niezależnie na morzu w ekstremalnie trudnych warunkach środowiskowych. Z tego powodu wymogi bezpieczeństwa, wytrzymałości i odporności na drgania są najwyższym priorytetem przy projektowaniu i produkcji statków, tak aby zmniejszyć ryzyko wypadków, które mogą spowodować szkody dla ludzi i ładunku. Podstawowym pytaniem zawsze było jak w szczególności zaprojektować konstrukcję morską, aby spełniała podstawowe kryteria bezpieczeństwa w różnych warunkach pracy. Początkowo rozwiązanie problemów wytrzymałościowych (statycznych i dynamicznych) opierano na podstawie prób i błędów. Ostatnimi czasami, rozwój przemysłu okrętowego gwałtownie przyspieszył. Konstrukcje okrętowe stają się coraz bardziej złożone i wcześniejsze doświadczenia projektowe już nie wystarczają. W budownictwie okrętowym, towarzystwa klasyfikacyjne ustalają specjalne zbiory przepisów, które opierają się głównie o empiryczne formuły, ustalające dopuszczalne wartości głównych parametrów konstrukcji. Równoległe z opracowywaniem metod analiz opartych na zależnościach empirycznych, poczyniono postępy w zakresie dogłębnego zrozumienia fizyki zjawisk, którymi jesteśmy zainteresowani, oraz opracowywania matematycznego opisu tych zjawisk. Urządzenia są opisywane modelami matematycznymi, który są zwykle upraszczane i zapisywane przy użyciu skomputeryzowanych procedur. Metody modelowania numerycznego są szeroko stosowane, ale stopień ich wiarygodności, wielkość błędów i rozrzutów wyników analiz nie jest szczegółowo znany w przypadku konstrukcji morskich.

Podstawową metodą, która pozwala na ograniczenie błędów i rozrzutów analiz jest wzajemna korelacja obliczeniowo-pomiarowa. W pracy doktorskiej rozważono przyczyny błędów i rozrzutów obliczeniowych w zależności od typu modelu wybranych maszyn i konstrukcji morskich. Rozważono również metody minimalizacji tych błędów. Zbadano wpływ różnych założeń obliczeniowych, takich jak warunki brzegowe, gęstość siatki, typów użytych elementów skończonych itp., na niedoskonałości wyników analiz. Ocena wyników opiera się na porównaniu rezultatów uzyskanych z modelu numerycznego z danymi uzyskanymi na podstawie szeregu zależności empirycznych, zweryfikowanych metodami pomiarowymi. Na podstawie uzyskanych wyników autor stwierdza, że rozprawa udowodniła początkowe założenia rozprawy. W szczególności wykonano:

1. Zbudowano modele matematyczne podstawowych części konstrukcji okrętowej, które składają się na kadłub i nadbudówkę, takich jak belki, cienkie płyty, płyty usztywnione. Analiza wybranych elementów uwzględnia czynniki, które mogą powodować błędy i rozrzuty obliczeń, takie jak warunki brzegowe, gęstość i rodzaj elementów skończonych. Badane modele były analizowane w dwóch przypadkach: z oddziaływaniem i bez oddziaływania wody. Wyniki obliczeń numerycznych były porównywane z wynikami wybranych zależności empirycznych a następnie weryfikowane badaniami pomiarowymi wykonanymi w laboratorium Uniwersytetu Morskiego w Gdyni.

2. Wykonano modele matematyczne dwóch kontenerowców o różnej wielkości: średniej wielkości statku o nośności 2000 TEU oraz dużego statku o nośności 11400 TEU. Analizowano jeden z ważniejszych parametrów statków - drgania. Wyznaczono drgania globalne kadłuba oraz drgania lokalne nadbudówki i korpusu silnika głównego. Wyniki obliczeń numerycznych zostały porównane z zależnościami empirycznymi opracowanymi przez Brown, F. M. Lewis i F. H. Todd oraz niektórymi innymi autorami. Potwierdzono dokładność i zalety metody modelowania numerycznego opartego na metodzie elementów skończonych. A następnie zbadano możliwość zastosowania opracowanych metod modelowania do innych konstrukcji w branży okrętowej. Poprawiono niezawodność i pewność obliczeń inżynierskich, podczas stosowania metod modelowania numerycznego do obliczeń i analiz strukturalnych.
3. W końcowej części pracy autor zastosował modelowanie numeryczne do okrętowego układu napędowego. Zbudowano modele matematyczne układu napędowego z wykorzystaniem wielu różnych założeń. A następnie wybrano najkorzystniejszy model do obliczeń rozważanego układu. Wyznaczoną (wg punktu 2) sztywność kadłuba statku wykorzystano jako warunki brzegowe układu przeniesienia mocy. Zastosowano optymalny matematyczny model do analizy ułożenia linii wałów typowego okrętowego układu napędowego. Przeprowadzono statyczne i dynamiczne analizy obliczeniowe układu napędowego i porównano uzyskane wyniki z wielkościami dopuszczalnymi.

W literaturze światowej istnieje szereg prac potwierdzających występowanie tak wysokich błędów i rozrzutów wyników analiz obliczeniowych, że ich zasadność stosowania (poziom ufności) wydaje się być ograniczona. Autor opracował szereg metod obliczeniowych, które pozwalają na racjonalne obniżenie błędów obliczeniowych do akceptowalnego poziomu przy jednoczesnym ograniczeniu pracochłonności analiz numerycznych. W ramach prezentowanej rozprawy uzyskano następujące wyniki:

1. Oszacowano wpływ założeń obliczeniowych na błędy i rozrzuty wyników analiz w poszczególnych typach analiz (statyka, drgania własne, drgania wymuszone).
2. Opracowano optymalną metodologię przeprowadzania analiz obliczeniowych metodą elementów skończonych, dla konstrukcji kadłuba statku (wraz z jego nadbudówką i korpusem silnika głównego) z uwzględnieniem celu obliczeń (obliczenia wytrzymałości statycznej, analizy drgań, obliczenia termiczne itp.).
3. Opracowano optymalną metodologię przeprowadzania analiz obliczeniowych metodą elementów skończonych, dla okrętowego układu przeniesienia napędu z uwzględnieniem celu obliczeń.
4. Zweryfikowano opracowane metody obliczeń poprzez porównanie ich z badaniami eksperymentalnymi wybranych elementów układów okrętowych, wraz z określeniem poziomów rozrzutów pomiarowych.

Zdaniem autora udowodniono, że możliwe jest ograniczenie rozrzutów i błędów modelowania numerycznego konstrukcji i urządzeń okrętowych do akceptowalnego poziomu, tak żeby wyniki obliczeń były zgodne z badaniami pomiarowymi.