

## **SFORMUŁOWANIE I EKSPERYMENTALNA WALIDACJA EFEKTYWNYCH OBLICZENIOWO METOD MODELOWANIA HYBRYDOWYCH – SZTYWNO-PODATNYCH UKŁADÓW WIELOCZŁONOWYCH Z WIĘZAMI NADMIAROWYMI**

Układy wieloczłonowe, czyli obiekty mechaniczne o dużej liczbie członów i dużej liczbie stopni swobody, są powszechnie spotykane w wielu obszarach współczesnej inżynierii. Do analizy, projektowania i optymalizacji takich złożonych układów potrzebne są metody zautomatyzowanego modelowania. Modele symulacyjne układów wieloczłonowych odnajdujemy w takich dziedzinach, jak robotyka (dynamika manipulatorów), przemysł samochodowy (badanie podzespołów i całych pojazdów), kolejowy (m.in. zagadnienia bezpieczeństwa ruchu), obronny (np. projektowanie pojazdów gaśnicowych) itp. Modele tego typu są implementowane w wielu strategiach sterowania układami mechanicznymi, np. robotami. Pozwalają one przewidywać zachowania układu i wspomagają proces uzyskania pożądanej odpowiedzi.

Model symulacyjny stanowi kompromis między kilkoma celami, najczęściej między dokładnością modelu a jego wydajnością obliczeniową. Ustalając kompromis, należy uwzględnić wiele czynników, np. dostępność danych, nakład pracy na przygotowanie modelu, możliwości komputera lub cele modelowania. Analiza i symulacja złożonych układów wieloczłonowych jest kosztowna numerycznie. Jednoczesne spełnienie wymagań odnośnie efektywności i dokładności obliczeń jest w wielu przypadkach trudno osiągalne.

Aby uzyskać wysoką wydajność obliczeń, często zakłada się, że człony systemu są sztywne (nieodkształcalne). Jest to znaczące uproszczenie fizyki układu, ale modele o członach sztywnych mogą odwzorować podstawowe cechy badanych obiektów z zadowalającą dokładnością. Istnieje jednak szeroka klasa układów mechanicznych, dla której modele zakładające nieodkształcalność wszystkich członów dają błędne wyniki. Są to układy z więzami nadmiarowymi (czyli z wielokrotnym odebraniem tych samych stopni swobody). Nadmiarowość ta prowadzi do niejednoznaczności wyników obliczeń reakcji przegubów, co może skutkować niejednoznacznością symulowanego ruchu, czyniąc model bezużytecznym.

Zadziwiająco często problemy związane z nadmiarowością więzów są ignorowane w symulacjach sztywnych układów wieloczłonowych – uzyskiwane wyniki nie są powiązane z fizyką układu. Natomiast modelowanie układów o członach podatnych, prowadzące do uzyskania jednoznacznych i osadzonych w fizyce rozwiązań, wymaga zastosowania metody elementów skończonych, czyniąc symulacje dynamiczne nieefektywnymi. **Proponowany projekt podejmuje wyzwanie opracowania metod modelowania hybrydowych (sztywno-podatnych) układów z więzami nadmiarowymi, zapewniających uzyskanie wiarygodnych wyników przy zachowaniu wysokiej wydajności obliczeniowej.**

Pierwszy cel badawczy dotyczy opracowania algorytmów umożliwiających hybrydowe (sztywno-podatne) modelowanie układów wieloczłonowych. W tym celu, w początkowej fazie projektu, zostaną porównane różne metody modelowania podatności członów. Następnie najbardziej efektywne z nich zostaną użyte w proponowanych algorytmach hybrydowych. Dzięki temu symulacje – wykorzystujące model przybliżony, lecz wciąż odpowiadający fizyce – będą efektywne obliczeniowo.

Drugi cel badawczy skupia się na zaproponowaniu zagadnień testowych, pozwalających uwypuklić najistotniejsze problemy dotyczące modelowania układów z więzami nadmiarowymi. Zagadnienia te zostaną wykorzystane do wszechstronnego przetestowania opracowanych metod modelowania. Oceniona będzie poprawność i dokładność modeli, a także ich własności numeryczne, np. czas lub stabilność obliczeń.

Rozważania teoretyczne zostaną zweryfikowane i uzupełnione poprzez eksperymenty. W ramach trzeciego celu badawczego zostanie zaprojektowane i zbudowane stanowisko laboratoryjne, umożliwiające badania układów z więzami nadmiarowymi. Opracowane w projekcie modele obliczeniowe będą walidowane, a wyniki symulacji zostaną porównane z eksperymentami. Warto dodać, że w literaturze nie są dostępne wyniki eksperymentów skoncentrowanych na problemach typowych dla układów z więzami nadmiarowymi.

Projekt zaowocuje opracowaniem nowych narzędzi numerycznych, gotowych do implementacji w programach do obliczeń metodą układów wieloczłonowych, umożliwiających prowadzenie zautomatyzowanych analiz. Wyniki projektu będą stanowić konstruktywne rozwiązanie problemów związanych z modelowaniem układów z więzami nadmiarowymi. Możliwe będzie uzyskiwanie, z akceptowalną dokładnością, osadzonych w fizyce układu wyników symulacji, przy zachowaniu wysokiej wydajności obliczeń. Rezultaty projektu rozszerzą możliwości dostępnych obecnie metod modelowania.