

Miniaturyzacja czujników i przyrządów do skali nano wywołała potrzebę zidentyfikowania i zbadania podatnych elementów mechanicznych (belek, płyt i powłok) odpowiedzialnych za procesy dynamiczne zachodzące w tych urządzeniach. Urządzenia nanoelektromechaniczne (NEMS) mają unikalne właściwości, które wymagają odpowiedniego modelowania matematycznego w celu adekwatnego przewidywania ich dynamicznego zachowania. Wśród wspomnianych właściwości można wyróżnić ich małe wymiary i mały ciężar, wysoką wytrzymałość mechaniczną, wysokie częstotliwości rezonansu mechanicznego (co pozwala na uniknięcie szkodliwych procesów drganiowych), uwzględnienie wpływu mechaniki kwantowej, oraz wysoki stosunek pola powierzchni do objętości. Powyższe cechy są istotne z punktu widzenia wrażliwości tych elementów na wiarygodne uzyskanie pomiarów na przykład w przypadku mikrocujników ciśnienia. Nanoczujniki i nanosiłowniki znajdują zastosowanie w fizyce, biologii, chemii, medycynie (diagnostyka, nano- i mikrochirurgia, transport leków w naczyniach krwionośnych), czy przemyśle. Warunki działania czujników NEMS są w dużym stopniu zbieżne z warunkami dla czujników mikroelektromechanicznych (MEMS), jednak ze względu na bardzo mały rozmiar czujników NEMS, czynniki zakłócające mają większy wpływ na urządzenia NEMS niż na MEMS.

Wartość dodaną proponowanego projektu badawczego, stanowić będą: (i) konstrukcja nowych modeli matematycznych elementów NEMS z wykorzystaniem metod dynamiki nieliniowej oraz z uwzględnieniem małych rozmiarów i warunków działania czujników NEMS; (ii) opracowanie nowych algorytmów, zaawansowanego oprogramowania komputerowego i nowych metod analizy danych; (iii) zastosowanie złożonych teorii, takich jak zmodyfikowana teoria naprężeń par (ang. *modified couple stress theory*), z uwzględnieniem geometrycznej nieliniowości elementów. Powyższa metodologia zostanie wykorzystana do opracowania nowych jakościowo kierunków badań związanych z projektowaniem, wytwarzaniem i doбором materiałów nanopłyt i nanopowłok, stanowiących elementy układów NEMS.

Innym ważnym aspektem projektu badawczego jest dobór właściwego modelu wpływu temperatury, a także uwzględnienie wpływu szumu białego i kolorowego oraz wzajemnego oddziaływania pól odkształcenia i temperaturowego na zjawiska dynamiczne obserwowane w układach NEMS/MEMS. Należy podkreślić, że w aspekcie dynamiki nieliniowej, podczas modelowania płyt, belek czy powłok w skali mikro lub nano, z reguły zagadnienie bywa radykalnie uproszczone do układu mechanicznego o jednym lub dwóch stopniach swobody. Podczas analizy układów ciągłych, badanie takiego układu sprowadzane jest do rozwiązania jednego lub dwóch równań różniczkowych zwyczajnych typu Duffinga, co nie pozwala jednak na dokładny opis występujących w takich układach procesów nieliniowych. W proponowanym projekcie rozważane układy ciągłe będą traktowane jako układy o niemal nieskończonej liczbie stopni swobody, co najdokładniej opisze zachowanie dynamiczne takich układów. Zasada Hamiltona posłuży do uzyskania nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych różnych typów i wymiarów, a także warunków brzegowych i początkowych. Badania jakościowe zostaną przeprowadzone z wykorzystaniem różnych metod numerycznych. Wiarygodność badań zostanie zweryfikowana poprzez zredukowanie układów równań różniczkowych cząstkowych do równań różniczkowych zwyczajnych (metodą różnic skończonych 2. i 4. rzędu oraz metodą Faedo-Galerkina) oraz rozwiązanie problemu Cauchy'ego za pomocą metody Newmarka i metody Runge-Kutty 4. i 2. rzędu. Metody Runge-Kutty zapewniają automatyczną zmianę kroku i pozwalają kontrolować błąd całkowania, co umożliwi otrzymanie wiarygodnych wyników. W projekcie oprócz dobrze znanych metod rozwiązania podobnych problemów proponuje się zbadanie dynamiki chaotycznej za pomocą analizy falkowej z wykorzystaniem falek Morleta, Haara, Daubeshies i Gaussa. Widma wykładników Lapunowa zostaną określone kilkoma metodami, w tym metodami Wolfa, Kantza i Rosensteina oraz zmodyfikowaną metodą sieci neuronowych. Za pomocą zmodyfikowanych znanych metod dynamiki nieliniowej i nowych metod zaproponowanych przez wykonawców projektu, zostaną zbadane scenariusze przejścia od drgań okresowych do chaotycznych oraz charakter stanu chaotycznego (chaos, hiper-chaos, itp.), a także wpływ parametrów zależnych od wielkości (ang. *size-dependent parameters*) oraz pól temperatury i szumu na rodzaj drgań badanych nano- i mikrokonstrukcji mechanicznych. Głównym zadaniem projektu jest opracowanie metodologii badawczej, nowego oprogramowania i algorytmów do projektowania urządzeń nanoelektromechanicznych o wymaganych charakterystykach, a także poprawa charakterystyk istniejących czujników NEMS.

Powyższe rozważania prowadzą do wniosku, że przedstawiony problem jest poznawczo nowy i posiada duże znaczenie użytkowe. Podstawą i gwarancją realizacji tego ambitnego projektu jest doświadczenie wykonawców w rozpatrywanej tematyce, a w tym kilka wspólnych opublikowanych już prac w prestiżowych czasopiśmie dotyczących rozpatrywanych zagadnień. Wstępnie opracowane metody, podejścia, algorytmy i systemy oprogramowania zostaną zmodyfikowane i rozszerzone dla potrzeb realizacji proponowanego projektu. Znaczenie i istotność potrzeby badania dynamiki geometrycznie nieliniowych składników NEMS w obecności pól temperatury i szumów potwierdzono przeprowadzonym przeglądem literatury.