

Matematyczna teoria sterowania w zagadnieniach interakcji gaz-struktura

Ogólnym obszarem badań niniejszej pracy jest dziedzina równań różniczkowych cząstkowych (RRC) oraz matematyki stosowanej. Dokładniej ujmując, jest to kompleksowe badanie dobrze znanego już problemu z zakresu teoretycznej aeroelastyczności: zrozumienie oscylacji cienkiej elastycznej płyty oddziałującej z nielepkiem przepływem potencjału, w którym jest zanurzona. Matematyka stosowana wraz z kilkoma głębokimi pytaniami matematycznymi stanowi podstawę ilościowego powiązania między matematyką a innymi naukami (inżynierskimi, medycznymi). Głównym celem projektu jest opracowanie metodologii matematycznej, stanowiącej odpowiednie narzędzie w procesie szczegółowej analizy dynamiki wynikającej z interakcji przepływu cieczy ze strukturą, a także, w pewnym stopniu, powiązane zagadnienia swobodnych i ruchomych problemów brzegowych. Obszar ten, ze względu na wyzwania związane zarówno z matematyką jak i bezpośrednim związkiem z mechaniką, naukami fizycznymi i medycznymi, pozostaje niezwykle aktualnym tematem cieszącym się szerokim zainteresowaniem.

Oscylacje i turbulencje wynikające z interakcji przepływu przez strukturę mają charakter wszechobecny. Przykłady obejmują wiszący i oscylujący most lub budynek wystawiony na działanie silnych wiatrów; skrzydło samolotu zanurzonego w gazie/powietrzu; lub podniebienia pacjenta poddanego niekontrolowanemu przepływowi tlenu (leczenie bezdechu). We wszystkich tych przypadkach mamy do czynienia ze strukturalną niestabilnością dynamiczną zwaną „trzepotaniem”. Trzepotanie to ciągłe drgania, które mogą spowodować poważne uszkodzenie właściwości materiałów i ewentualne zawalenie się konstrukcji. Klasycznymi przykładami są most Tacoma lub nieszczęśliwy wypadek NASA Helios. Motywuje to potrzebę opracowania rygorystycznej teorii przewidywania tego zjawiska. Ogromnym wyzwaniem lub też przeszkodą jest brak posiadania prawidłowego modelu zgodnego z rzeczywistością. Krytyczna potrzeba przewidywania i tłumienia trzepotania zapewniła silną motywację zarówno do badań eksperymentalnych, jak i obliczeniowych w dziedzinie inżynierii i badań teoretycznych w matematyce. Zrozumienie i opisanie matematycznie obciążeń powietrznych oddziałujących na skrzydła i profile oraz analiza wynikających z nich ruchów zależnych od czasu stało się głównym obszarem badań. Wybrane, ale ważne postępy osiągnięto w ostatnim czasie. W szczególności na poziomie poddźwiękowych prędkości przepływu i bardzo podstawowych warunków brzegowych nałożonych na konstrukcję. Chociaż badanie trzepotania było pierwotnie motywowane zastosowaniami lotniczymi, przekrojowy i wstępny wspólny temat pojawił się w wielu obszarach inżynierii lądowej obejmujących przepływy, mosty i wysokie budynki; w inżynierii mechanicznej o przepływach wokół łopatek maszyn wirnikowych i przepływach płynów w elastycznych rurach; w inżynierii jądrowej na przepływach wokół elementów paliwowych i łopatek wymienników ciepła. Ponadto aeroelastyczność odgrywa kluczową rolę w rozwoju nowych systemów lotniczych, takich jak bezzałogowe statki powietrzne UAV

Powyżej wskazaliśmy na destrukcyjne aspekty trzepotania. Trzeba jednak zdać sobie sprawę, że trzepotanie może mieć również korzystny wpływ na gromadzenie energii w konstrukcjach. Przykładami są: wiatraki gromadzące energię z przepływu powietrza; przetworniki wodne - ciała pływające, gromadzące energię z fal wodnych uderzających w konstrukcję. Tak więc zrozumienie i „kontrolowanie” zjawiska trzepotania ma fundamentalne znaczenie w wielu dziedzinach życia. Określenie początku trzepotania, ma kluczowe znaczenie dla zapobiegania i unikania destrukcyjnych skutków trzepotania lub wywoływania korzystnych efektów, takich jak możliwość oszczędzania energii. Stąd problemy tego typu oraz ich analiza przyciągnęły znaczną uwagę w dotychczasowej literaturze, mimo, iż zdecydowana większość prac nad oddziaływaniami przepływ-struktura jest poświęconych badaniom numerycznym lub badaniom eksperymentalnym. Nie jest to zaskakujące, biorąc pod uwagę z jednej strony mnogość zastosowań inżynierskich mających na celu tłumienie trzepotania lub jego wzmacnianie, a z drugiej strony wyzwania związane z matematycznym modelowaniem tego zjawiska.

Głównym celem proponowanej pracy jest opracowanie aparatu matematycznego opisującego zjawisko trzepotania, opierającego się na modelowaniu continuum opisanego przez system nieliniowych RRC sprzężonych na wspólnej granicy (tzw. interfejs). Będzie to obejmować badanie interakcji między linearyzowanymi (niestabilnymi) równaniami Eulera a nieliniową strukturą uwzględniającą duże przemieszczenia. Analiza problemu jest znacznie mniej kosztowna niż badania obliczeniowe lub eksperymentalne oparte na próbach i błędach.

Od strony matematycznej proponowane prace obejmą analizę i sterowanie sprzężonego nieliniowego systemu RRC z interfejsem. Z drugiej strony są to zagadnienia dotyczące modelowania zjawisk niezwykle ważnych z praktycznego punktu widzenia. Badanie obejmie aspekty istnienia i jednoznaczności rozwiązań oraz ich zachowania, sterowalności i stabilności w długim horyzoncie czasowym.