

Dynamika regularna i chaotyczna w układach technicznych z tarciem i uderzeniami

Wykład obejmuje przedstawienie ogólnej metody badań drgań bifurkacyjnych i chaotycznych w układach mechanicznych silnie nieliniowych o wielu stopniach swobody z tarciem i uderzeniami. Na wstępie wyprowadzono równanie ruchu układu w oparciu o równanie Lagrange'a z mnożnikami w celu śledzenia kontaktu pomiędzy ciałami układu i sztywnymi przegrodami ograniczającymi ich ruch i dowolnie usytuowanymi (brak kontaktu, uderzenie i ślizganie na przegrodzie). Dla potrzeb analizy numerycznej dynamiki takich układów hybrydowych z tarciem suchym i uderzeniami opracowano algorytm ze szczególnym uwzględnieniem śledzenia momentów utraty i pojawienia się kontaktów między poruszającymi się i nieruchomymi przegrodami oraz oceny stabilności orbit okresowych fragmentami gładkich w oparciu o zmodyfikowaną teorię Filipowa. Następnie wybrano jako obiekt badań potrójne wahadło fizyczne wymuszane okresowo momentem (harmonicznym lub prostokątnym), którego ruch ograniczono poprzez usytuowanie sztywnych przegród w oparciu o analizę projekcji trajektorii i ruchu pewnych punktów układu na wybrane płaszczyzny odwzorowań Poincarégo i wykładników Lapunowa (w tym zdegenerowanych w przypadku zjawiska ślizgania wzdłuż przegrody) oraz poprzez analizę wykresów bifurkacyjnych zilustrowano i przedyskutowano wiele niezwykle interesujących przykładów dynamiki regularnej (okresowej i quasi-okresowej) i chaotycznej analizowanego wahadła, uniwersalne własności przechodzenia pomiędzy różnymi atraktorami, usytuowaniem basenów przyciągania rozwiązań kilku współistniejących atraktorów, zjawiska histerezy wykresów bifurkacyjnych, ciągłych i nieciągłych bifurkacji (a w tym bifurkacji typu „grazing”) i wiele innych. Ponadto pokazano zastosowanie analizowanego układu trzech połączonych (w tym przypadku odwróconych) wahadeł do modelowania układu silnika korbowego, gdzie rolę przegrody spełnia cylinder. Okazuje się, że pomimo wielu wprowadzonych uproszczeń modelowanie wspomnianego obiektu mechanicznego poprzez równania różniczkowe zwyczajne i nierówności algebraiczne jest wystarczająco dokładne dla potrzeb inżynierskich.

Ponadto zostało zbudowane stanowisko doświadczalne trzech połączonych wahadeł (tzw. mechaniczny generator chaosu), gdzie zademonstrowano niezwykle interesujące przykłady dynamiki takiego obiektu, a w tym szczególne przykłady osobliwej dynamiki okresowej, quasi-okresowej, chaotycznej oraz hiper-hiper-hiper-chaotycznej. Opracowano numeryczną metodę identyfikacji tego układu i śledzenia jego dynamiki poprzez zastosowanie oprogramowania LabView, oraz porównano wyniki badań numerycznych i eksperymentalnych.

Wykład wzbogacono o animacje dynamiki wahadeł modelu silnika oraz o filmy pokazujące dynamikę regularną i chaotyczną wspomnianego obiektu rzeczywistego.