

Streszczenie

mgr inż. Agnieszka Lenartowicz

Analiza dźwigarów powierzchniowych z uwzględnieniem anizotropii materiałowej, tłumienia i oddziaływania ośrodka zewnętrznego

Słowa kluczowe: płyty cienkie, częstości drgań własnych, lepkosprężyste tłumiki drgań, obciążenie krytyczne, metoda elementów skończonych, metoda różnic skończonych, metoda elementów brzegowych, metoda roju cząstek, metoda kontynuacji, analiza losowa

Przedmiotem niniejszej dysertacji jest analiza statyki, dynamiki oraz stateczności prostokątnych dźwigarów płytowych spełniających główne założenia hipotezy Kirchhoffa-Love'a. Przyjęto, że badane płyty charakteryzują się stałą lub zmienną sztywnością. Ponadto w przypadku stałej sztywności rozważono kwestię anizotropii materiałowej.

Zasadniczą część rozprawy rozpoczęto od rozdziału poświęconego zagadnieniu statyki płyt. Zawarto w nim opis postępowania, które należy zastosować, aby wyznaczyć wartości przemieszczeń pionowych płyt w ujęciu metody elementów skończonych (MES) oraz metody różnic skończonych (MRS). Zamieszczono również szczegółowe zasady sprowadzania równania deformacji płyty izotropowej o zmiennej sztywności do układu równań różnicowych, zgodnie z metodologią MRS. Zawarte w rozdziale wyprowadzenia stanowiły bazę do zagadnień przedstawionych w dalszej części rozprawy, a więc dotyczących wyznaczania częstości drgań własnych oraz obciążenia krytycznego płyt o stałej lub zmiennej grubości, ustalonej zgodnie ze wstępnie założoną funkcją.

Znaczną część rozprawy poświęcono analizie dynamicznej płyt, w ramach której rozwiązywano zadania drgań własnych pojedynczej płyty oraz układów dwóch płyt zanurzonych w płynie. Zastosowano autorskie procedury obliczeniowe korzystające z metod elementów skończonych i różnic skończonych oraz metody elementów brzegowych (MEB). Rozważono także dynamikę płyt spoczywających na więzach lepkosprężystych, gdzie odpowiedni nieliniowy problem własny, utworzony przy użyciu metodologii MES, rozwiązano zgodnie z zasadami metody kontynuacji. Zastosowano również pomocniczo metodę podprzestrzennych iteracji, aby zredukować problem

własny do zagadnienia o mniejszym wymiarze. Wieży (tłumiki) lepkosprężyste opisano za pomocą dwóch modeli: klasycznego i ułamkowego, przy czym w drugim z nich wykorzystano rachunek pochodnych niecałkowitego rzędu. W rozprawie rozwiązano również zadanie optymalnego rozmieszczenia ustalonej liczby tłumików lepkosprężystych na powierzchni płyty w celu uzyskania maksymalnego efektu tłumienia wybranej postaci drgań. Aby rozwiązać tak sformułowany problem, posłużono się algorytmem optymalizacji metodą roju cząstek (PSO).

W pracy przeprowadzono także analizę losową dla zagadnień dynamicznych płyt wyposażonych w lepkosprężyste tłumiki drgań oraz układów płyt zanurzonych całkowicie w płynie. Odpowiednie momenty losowe wyznaczano przy użyciu trzech alternatywnych metod probabilistycznych: metody półanalitycznej, uogólnionej metody perturbacji stochastycznej oraz metody symulacyjnej Monte-Carlo.

Na zakończenie głównych rozważań wykonano analizę stateczności płyt obciążonych w swej płaszczyźnie w celu wyznaczenia wartości obciążeń krytycznych odpowiadających kilku wybranym postaciom utraty stateczności. Zagadnienie rozwiązano numerycznie zgodnie z zasadami metody różnic skończonych. Tematyka ta stanowi naturalne dopełnienie całości rozważań.

Wśród najważniejszych oryginalnych elementów niniejszej dysertacji można wyróżnić propozycję autorskich metod całkowania numerycznego mających na celu wyznaczenie macierzy sztywności oraz macierzy bezwładności płyty dla potrzeb wykonania jej analizy dynamicznej. Ponadto opracowano autorskie procedury obliczeniowe pozwalające rozwiązać nieliniowe zadanie analizy dynamicznej płyt spoczywających na więzach lepkosprężystych oraz wyznaczyć optymalną lokalizację ustalonej liczby tych więzów na powierzchni płyty. Opracowane procedury umożliwiły także wykonanie analizy statyki, dynamiki i stateczności płyt o zmiennej grubości. Dokonano również połączenia wybranych metod numerycznych spośród MES, MRS i MEB w zadaniach interakcji płyta–ciecz. Aby rozwiązać nieliniowy problem własny dla płyt z więzami lepkosprężystymi, użyto w algorytmach metodę kontynuacji. W zagadnieniu tym uwzględniono także podejście losowe.

Autorskie procedury obliczeniowe w zakresie analizy statycznej, dynamicznej i stateczności płyt opracowano w środowisku Octave, a na potrzeby analizy losowej użyto środowisko programistyczne Maple.

Abstract

Agnieszka Lenartowicz, M.Sc., Eng.

The analysis of plane girders taking into account material anisotropy, damping and the influence of an external medium

Keywords: thin plates, natural frequencies, viscoelastic vibration dampers, critical load, finite element method, finite difference method, boundary element method, particle swarm method, continuation method, random analysis

The subject of this dissertation is the static, dynamic and stability analysis of rectangular plate girders fulfilling the main assumptions of the Kirchhoff-Love hypothesis. It was assumed that the tested plates were characterized by constant or variable stiffness. Furthermore, in the case of constant stiffness plates, the issue of material anisotropy was considered.

The main part of the dissertation began with a chapter devoted to the issue of plate statics. It describes the procedure to be used to determine the values of vertical displacements of plates using the finite element method (FEM) and the finite difference method (FDM). Detailed rules for reducing the deformation equation of an isotropic plate with variable stiffness to a system of difference equations, in accordance with the MRS methodology, are also included. The derivations included in the chapter constituted the basis for the issues presented in the further part of the thesis, i.e. those related to determining the natural frequencies and the critical load of plates with constant or variable thickness, determined in accordance with the initially assumed function.

A significant part of the thesis was devoted to the dynamic analysis of plates, in which the problems of natural vibrations of a single plate and systems of two plates immersed in a fluid were solved. Proprietary calculation procedures based on the finite element and finite difference methods as well as the boundary element method (BEM) were used. The dynamics of plates resting on viscoelastic constraints was also considered, where the corresponding nonlinear eigenproblem, generated using the FEM methodology, was solved according to the principles of the continuation method. The subspace iteration method was also used as an auxiliary method to reduce the eigenvalue problem to a lower-dimensional problem. Viscoelastic constraints (dampers) were described using two models: classical and fractional, the latter

of which used fractional derivative calculus. The thesis also solved the problem of optimally distributing a fixed number of viscoelastic dampers on the plate surface in order to obtain the maximum damping effect for the selected vibration mode. To solve this problem, the particle swarm optimization (PSO) algorithm was used.

The paper also performed a random analysis for dynamic problems of plates equipped with viscoelastic vibration dampers and plate systems completely immersed in a fluid. The corresponding random moments were determined using three alternative probabilistic methods: the semi-analytical method, the generalized stochastic perturbation method and the Monte-Carlo simulation method.

At the end of the main considerations, an analysis of the stability of the plates loaded in their plane was performed in order to determine the values of critical loads corresponding to several selected modes of stability loss. The problem was solved numerically according to the principles of the finite difference method. This topic is a natural complement to the overall considerations.

Among the most important original elements of this dissertation, one can highlight the proposal of original numerical integration methods allowing to determine the stiffness matrix and the inertia matrix of the plate for the purposes of its dynamic analysis. In addition, proprietary computational procedures were developed to solve the nonlinear problem of dynamic analysis of plates resting on viscoelastic constraints and to determine the optimal location of a fixed number of these constraints on the plate surface. The developed procedures also enabled the analysis of statics, dynamics and stability of plates with variable thickness. Selected numerical methods from FEM, FDM and BEM were also combined in plate–fluid interaction problems. In order to solve nonlinear eigenproblems for plates with viscoelastic constraints, the continuation method was used in the algorithms. A random approach was also taken into account in this issue.

Proprietary calculation procedures for static, dynamic and plate stability analysis were developed in the Octave environment, and the Maple programming environment was also used for random analysis.