

Nieliniowe modele nieustalonego nagrzewania tarciowego w układach hamulcowych

Niniejsza monografia dotyczy opracowania efektywnych analitycznych i analityczno-numerycznych metod wyznaczenia rozkładów temperatury i naprężen cieplnych w elementach tarciowych wykonanych z materiałów, których właściwości zmieniają się pod wpływem temperatury. W tym celu sformułowano nowe jednowymiarowe nieliniowe zagadnienia początkowo-brzegowe przewodzenia ciepła dla dwóch układów tribologicznych, półprzestrzeń-półprzestrzeń oraz warstwa-półprzestrzeń.

Zaproponowano ogólny schemat otrzymania rozwiązań takich zagadnień, który podzielono na następujące etapy: sprowadzenie do postaci bezwymiarowej i częściowa linearyzacja za pomocą podstawienia Kirchhoffa; rozwiązanie analityczno-numeryczne otrzymanego nieliniowego zagadnienia względem funkcji Kirchhoffa; ustalenie związku pomiędzy temperaturą a funkcjami Kirchhoffa na podstawie analitycznych zależności właściwości materiałów od temperatury; przeprowadzenie analizy numerycznej i opracowanie wniosków. Natomiast szczegółowo metodyki dotyczą wyboru metody znalezienia funkcji Kirchhoffa. W zależności od rodzaju nieliniowości termicznej materiałów do znalezienia tej funkcji stosowano metody parametrów linearyzujących i aproksymacji funkcjami sklejonymi w przypadku materiałów z prostą nieliniowością oraz kolejnych przybliżeń lub prostych, kiedy materiały charakteryzowały się istotną nieliniowością termiczną. Dodatkowo do rozwiązania zagadnień przewodzenia ciepła z uwzględnieniem istotnej nieliniowości termicznej zaproponowano bezpośrednie numeryczne zastosowanie metody prostych z całkowo-interpolacyjnym schematem dyskretyzacji zmiennej przestrzennej.

Na podstawie uzyskanych rozwiązań wykonano obszerną analizę numeryczną rozkładów temperatury dla materiałów ciernych charakteryzujących się prostą lub istotną nieliniowością termiczną.

Dla obu rodzajów nieliniowości w przypadku układu warstwa-półprzestrzeń, w ramach teorii termicznego zginania płyty, wyznaczono rozkłady quasi-statycznych normalnych naprężen cieplnych, uwzględniając zmieniające się wraz z temperaturą właściwości mechaniczne materiałów.

Nonlinear models of transient frictional heating in brake systems

This monograph deals with the development of effective analytical and analytical-numerical methods for determining temperature distributions and thermal stresses in friction elements made of materials whose properties change under the influence of temperature. To this end, new one-dimensional nonlinear boundary-value heat conduction problems have been formulated for two tribological systems: two semi-spaces and strip-semi-space.

The general scheme has been proposed for obtaining solutions to such problems, that is divided into the following stages: bringing the dimensionless form and partial linearization using Kirchhoff substitution; analytical-numerical solution of resulting nonlinear problem against Kirchhoff function; relation assignation between temperature and Kirchhoff functions based on analytical temperature dependence of material properties; numerical analysis and conclusions drawing. Whereas the details of the methodology concern the choice of method of finding the Kirchhoff function. Depending on thermal nonlinearity of the materials for finding this function, a method of linearizing parameters and spline approximation in the case of materials with a simple non-linearity was used, and successive approximations or lines, when a material was characterized by arbitrary thermal non-linearity. In addition, to solving heat transfer problems with regard to arbitrary thermal nonlinearity, a direct numerical application of the method of lines with an integral-interpolation discretization scheme of the spatial variable has been proposed.

Based on the obtained solutions, extensive numerical analysis of temperature distributions for friction materials characterized by simple or arbitrary thermal nonlinearity has been made.

For both types of nonlinearities in the case of the strip-semi-spaces system, within the framework of the theory of thermal bending of plate, distributions of quasi-static normal thermal stresses have been determined, taking into account the mechanical properties of materials changing with temperature.