

O4

Zagadnienia mechaniki maszyn

Problems of mechanics of machines

O4/Z1/T1 Metody analizy i detekcji uszkodzeń w elementach maszyn**CEL I PRZEDMIOT PRACY**

Celem badań w tematyce propagacji fal sprężystych w uszkodzonych elementach konstrukcyjnych było opracowanie specjalnych elementów spektralnych, które formułuje się na podstawie funkcji kształtu, będących dokładnym rozwiązaniem w dziedzinie częstotliwości układu równań różniczkowych opisujących problem. Dokładne rozwiązanie jest stosowane jako funkcja interpolująca w spektralnym sformułowaniu zagadnienia. Takie zdefiniowanie problemu zapewnia, że model dokładnie opisuje rozkład masy i sztywności wewnątrz elementu. W konsekwencji otrzymuje się dokładną macierz sztywności dynamicznej. Dlatego też zagadnienie pozwala na zredukowanie liczby równań rozwiązywanego układu w porównaniu do metody elementów skończonych.

Celem badań w tematyce materiałów z pamięcią kształtu było opracowanie metod zmierzających do wykorzystania tych struktur do aktywnego sterowania i kontroli drgań oraz kontroli kształtu elementów.

Celem badań w tematyce adaptacyjnych elementów skończonych było usprawnianie istniejących algorytmów i programów do statycznej analizy adaptacyjnej. Zainicjowano prowadzenie badań nad problemami adaptacyjnej analizy modalnej struktur złożonych. Podstawowe zadania w tym zakresie doty-

O4/Z1/T1 Methods of analysis of damage detection in machine elements**OBJECTIVE AND MERIT OF ACTIVITIES**

The objective of investigations within the scope of problems related to propagation of elastic waves in damaged structural elements was a development of special spectral elements, which are formulated on the basis of the shape function, being the accurate solution of a system of differential equations describing the problem in the frequency domain. Accurate solution is used as an interpolation function in the spectral formulation of the problem. Such a definition of a problem ensures that the model precisely describes the mass and stiffness distribution within the element. In consequence obtained is an accurate matrix of dynamical stiffness. Therefore the problem enables to reduce the number of equations of considered system with respect to the method of finite elements.

The objective of investigations in the area of material with shape memory was a development of methods aiming at utilisation of these structures in active regulation and vibration control as well as the control of element shapes.

The objective of investigations in the area of adaptive finite elements was modification of existing algorithms and codes for static adaptive analysis. Initiated have been investigations into the problems of adaptive modal analysis of complex structures. Fundamental problems in that area regarded develop-

czyły opracowania algorytmów i programów komputerowych opartych na adaptacyjnych metodach elementów skończonych.

CHARAKTERYSTYKA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Opracowano metody modelowania i analizy propagacji fal sprężystych w elementach konstrukcyjnych. Opracowano także metody detekcji i identyfikacji uszkodzeń oraz parametrów konstrukcji.

W publikacjach przedstawiono modele spektralnych elementów skończonych, które można wykorzystać do analizy propagacji fal poprzecznych w belkach oraz płytach z uszkodzeniami w postaci pęknięć zmęczeniowych. Wykazano, że pęknięcia generują dodatkowe odbicia oraz osłabienie propagujących się fal. Efekty te można wykorzystać jako sygnały diagnostyczne. Analizowano także wpływ tłumienia oraz sił i naprężeń wstępnych na propagującą się falę. Stwierdzono, że wpływ naprężeń wstępnych w przypadku belek można pominąć w analizie propagacji fali natomiast tłumienie w istotny sposób wpływa na zachowanie się fali- szczególnie w miejscach styku warstw o różnych własnościach tłumiących. Przedstawiono także zagadnienie propagacji fal sprężystych w belkach kompozytowych z pęknięciem oraz delaminacją. Uzyskano interesujące wyniki, wskazujące na to, że w przypadku kompozytów duże znaczenie na interakcje fali z uszkodzeniem mają własności mechaniczne kompozytu opisywane objętością włókien wzmacniających i ich kątem ułożenia w kolejnych

ment of algorithms and computer codes based on adaptive methods of finite elements.

CHARACTERISTICS OF OBTAINED RESULTS

Developed have been methods of modelling and analysis of propagation of elastic waves in structural elements. Developed also have been the methods for detection and identification of damages and structural parameters.

In the papers presented have been the spectral models of finite elements, which can be used in the analysis of propagation of transverse waves in beams and slabs with damages in the form of fatigue cracks. It has been shown, that cracks generate additional deflections and impairment of propagating waves. Such effects can be used as diagnostic signals. Analysed also has been the influence of damping and initial forces and stresses on the propagating wave. It has been concluded that the influence of initial stresses, in the case of beams, can be neglected during the analysis of wave propagation, however, damping significantly influences on the wave behaviour - particularly in places of contact of layers with different damping properties. Presented also have been problems of propagation of elastic waves in composite beams with crack and delamination. Obtained have been interesting results indicating the fact that in the case of composites the mechanical properties of the composite have a significant influence on wave interaction with the damage, which are

warstwach.

Druga grupa prac dotyczy metody detekcji uszkodzeń w oparciu o zmiany propagujących się fal sprężystych. Stwierdzono, że fale sprężyste mogą być zniekształcane nawet przez niewielkie wady, co ma szczególne znaczenie w przypadku wykrywania niewielkich uszkodzeń. Wyniki teoretyczne zweryfikowano także eksperymentalnie. Badania eksperymentalne miały na celu zbadanie zjawiska propagacji fali mechanicznej w elementach wykonanych z materiału kompozytowego. Przeprowadzono dwie serie doświadczeń. W pierwszej serii pomiarów analizowano propagację fali w elemencie płytowym. Drugie doświadczenie dotyczyło pomiaru propagacji fali w elemencie belkowym.

W mniejszym zakresie kontynuowano prace nad wykorzystaniem materiałów piezoceramicznych do aktywnego sterowania konstrukcjami kompozytowymi z uszkodzeniami.

Intensywnie rozwinięto badania w tematyce: statyka i dynamika belek i płyt kompozytowych z elementami wykonanymi z materiałów z pamięcią kształtu (Nitinolu). Badania zmierzały w kierunku doboru ich optymalnych parametrów położenia, względnej objętości oraz orientacji. Interesujące wyniki uzyskano w zakresie wykorzystania materiałów z pamięcią kształtu do aktywnego sterowania i kontroli drgań a także kontroli kształtu elementów. Przeprowadzono symulację numeryczną i badania eksperymentalne drgań belek kompozytowych z taśmami z Nitinolu i wirnika z aktywnym łożyskiem (podpar-

described by a volume of reinforcing fibres and the angle of their positioning in consecutive layers.

The second group of works relates to the methods of damage detection based on the changes of propagating elastic waves. It has been concluded that elastic waves can be distorted even by negligible defects, which is of particular importance in the case of detection of small damages. Theoretical results have also been experimentally verified. Experimental research were aimed at investigation of the phenomenon of propagation of a mechanical wave in elements manufactured from composite material. Two series of experiments have been conducted. In the first series of measurements analysed have been wave propagation in the slab element. The second experiment regarded wave propagation in the beam element.

To a smaller extent continued have been works on utilisation of piezoceramic materials for active control of composite structures with damages.

Investigations in the area of statics and dynamics of beams and composite slabs incorporating elements manufactured from material with shape memory (Nitinol) have been significantly advanced. Investigations were aimed at the selection of optimal parameters of their location, relative volume and orientation. Interesting results have been obtained in the area of utilisation of materials with shape memory for active regulation and vibration control, as well as the control of the element shapes. Performed has been numerical simula-

ciem) z elementami wykonanymi z Nitinolu. Wyniki obliczeń numerycznych (prowadzonych metodą elementów skończonych), a także uzyskane wyniki badań eksperymentalnych, wskazują z jednej strony na liczne możliwości zastosowań elementów z materiałów z pamięcią kształtu do sterowania zmianami charakterystyk statycznych i dynamicznych konstrukcji, z drugiej zaś pokazują na ich wady i istotne ograniczenia. Wśród analizowanych modeli przemiany martenzytycznej przeważają modele przystosowane do opisu zjawiska „pseudo-elastyczności”, które w niedokładny sposób opisują zjawisko „pamięci kształtu” lub w jego przypadku są stosowalne jedynie w ograniczonym zakresie.

Analiza numeryczna własności „zielonych kompozytów” (wzmacnianych naturalnym włóknem) wykazuje, że ich własności mechaniczne niewiele ustępują, a w niektórych przypadkach przewyższają własności powszechnie używanego sztucznego włókna szklanego, zachowując jednocześnie szereg zalet, takich jak: ekologiczność, niższa gęstość niż w przypadku tworzyw sztucznych, możliwość uczestnictwa w procesie recyklingu, niska cena.

Interesujące wyniki uzyskano w tematyce dynamiki urządzeń wyciągowych.

W tematyce związanej z metodami analizy adaptacyjnej prowadzono prace nad poprawą efektywności algorytmów adaptacyjnych elementów powłokowych pierwszego rzędu opartych na aproksymacji typu hp. Prace te kon-

tion aided by experimental investigations of vibrations of composite beams with strips made of Nitinol and a rotor with active bearing (support) with elements made of Nitinol. The results of numerical calculations (conducted using the finite element method) together with obtained results of experimental investigations indicate on one hand numerous possible application of elements with materials containing shape memory for the control of changes of structure static and dynamic characteristics, whereas on the other hand show their disadvantages and important limitations. Amongst analysed models of martensitic transformation there are predominantly the models suitable for the description of the pseudo-elasticity phenomenon, which inaccurately describe the problem of ‘shape memory’ or in such case are used only in the limited range.

Numerical analysis of the properties of ‘green composites’ (reinforced by natural fibres) indicate that their mechanical properties only slightly follow, but in some cases surpass properties of commonly used artificial glass-fibre, preventing at the same time a series of advantages such as: pro-ecology, lower density than in the case of plastics, possibility of recycling, low cost.

Interesting results have been obtained in the area of dynamics of hoisting equipment.

In the area related to the methods of adaptive analysis conducted have been works on the increase of effectiveness of adaptive algorithms of shell elements of

centrowały się na wprowadzeniu warunku braku odkształceń poprzecznych, zastosowaniu funkcji kształtu typu Legendre'a i poprawieniu uwarunkowania tych elementów.

O4/Z2/T1 Podstawy mechaniki konstrukcji i materiałów

Celem badań było opracowanie nowych i dalsze rozwinięcie znanych metod modelowania i analizy numerycznej dwuwymiarowych elementów konstrukcji maszyn, a także wybranych zagadnień mechaniki ciał stałych z mikrostrukturą oraz zjawisk tarcia i zużycia na powierzchni ciał. Cel ten realizowano w ramach trzech zadań:

- A. Nieliniowa mechanika powłok.
- B. Wieloskalowa mechanika materiałów i budowa teoretycznych podstaw nanotechnologii.
- C. Zasady wariacyjne mechaniki tarcia i zużycia ciał stałych.

Opracowano oryginalną monografię pt. *Statyka i dynamika powłok wielopłatowych: Nieliniowa teoria i metoda elementów skończonych*. Zawiera ona teorię i analizę numeryczną zadań statyki, stateczności i dynamiki wielopłatowych konstrukcji powłokowych opartą o dynamicznie i kinematycznie ściśle, sześcioparametrowy model powłoki. Ujęto tu różnego typu nieregularności geometryczne, kinematyczne i materiałowe, a zakres deformacji i ruchu powłoki jest nieograniczony. Zasady mechaniki powłok otrzymano przez ścisłe wycałkowanie zasad mechaniki ośrodka

the first kind based on the hp type approximation. The works were concentrated on introduction of the condition of a lack of transverse deformations, application of the shape functions of the Legendre type and modification of conditioning of such elements.

O4/Z2/T1 Fundamentals of structure and material mechanics

The objective of investigations was a development of new and further modification of known methods of modelling and numerical analysis of two-dimensional elements of machine structures, as well as selected problems of solid mechanics with microstructure and friction and wear phenomena at the body surface. That objective has been realised in the frame of three topics:

- A. *Non-linear mechanics of shells.*
- B. *Multi-scale material mechanics and development of theoretical foundations of nanotechnologies.*
- C. *Variational principles of friction mechanics and wear of solids.*

Elaborated has been an original monograph titled Statics and dynamics of multiplane shells: non-linear theory and method of finite elements. It contains theory and numerical analysis of problems regarding statics, stability and dynamics of multiplane shell structures based on a dynamically and kinematically consistent six-parameter model of a shell. Considered here have been different types of irregularities, such as geometrical, kinematic and material, and

ciągłego po grubości powłoki. Powierzchniowa kinematyka powłoki jest wyrażona również ściśle przez energetycznie uśrednione po grubości pola wektora przesunięć i tensora obrotów jako podstawowe zmienne niezależne. Zależności dwuwymiarowe zostały sformułowane na wielospójnej, kawałkami gładkiej powierzchni podstawowej, zawierającej również stacjonarne krzywe osobliwe, które modelują załamania powierzchni podstawowej, skokowe zmiany grubości lub własności materiałowych, rozwidlenia i samoprzecięcia, wzmocnienia belkami, połączenia technologiczne itp.

Monografia zawiera również przedstawienie różnych aspektów analizy numerycznej zagadnień początkowo-brzegowych złożonych konstrukcji powłokowych na przestrzeni konfiguracyjnej, zawierającej grupę obrotów $SO(3)$. Omówiono m.in. problem lokalnej i globalnej parametryzacji grupy obrotów, składanie obrotów i ich przyrostów, definicje wirtualnych i rzeczywistych prędkości i przyspieszeń w reprezentacji materialnej i przestrzennej, interpolację klasy $C0$ na grupie obrotów, iteracyjną metodę Newtona-Kantorowicza rozwiązywania zagadnień nieliniowych, sposoby wyznaczania punktów bifurkacji i granicznych rozwiązań, metody sterowania i kontroli procesu iteracyjnego oraz rozszerzenie algorytmu Newmarka całkowania równań dynamiki na przestrzeń konfiguracyjną, zawierającą grupę obrotów. Przedstawiono formułowanie autorskich elementów skończonych, m.in. rodziny powłokowych ele-

where the range of deformation and shell motion is unrestricted. A surface kinematics of shells is expressed also precisely by energetically averaged parameters on the thickness of translation vector field as well as a tensor of rotation, as a fundamental independent variables. Two-dimensional relations have been formulated on a multi-connected, smooth by parts fundamental surface, containing also the stationary singular curves, which model the fundamental surface discontinuities, sudden changes of thickness or material properties, bifurcations and self-interceptions, beam reinforcements and technological couplings, etc.

Monograph contains also presentation of various aspects of numerical analysis of initial-boundary problems of complex shell structures in the configuration space containing the group of revolutions $SO(3)$. Discussed have been, amongst the others, the problem of local and global parametrisation of a group of revolutions, combination of revolutions and their increments, definitions of virtual and real velocities and accelerations in material and spatial representation, interpolation of $C0$ class on the group of revolutions, iterative Newto-Kantorovich method of solving non-linear problems, ways of determination of bifurcation and limiting points of solutions, methods of regulation and control of iteration process as well as extension of the Newmark algorithm of integration of equations of dynamics onto the configuration space. Presented has been formulations of author's own

mentów przemieszczeniowych, mieszanych i częściowo mieszanych oraz elementy o dwustopniowej interpolacji, elementy zdegenerowane, elementy płaskie niedostosowane klasy C1 oraz płaskie typu DCT. Podano wyniki obszernej analizy numerycznej kilkudziesięciu przykładów nieliniowej analizy zagadnień statyki, stateczności i dynamiki powłok głównie liniowo sprężystych w zakresie dowolnej deformacji. Analizowane przykłady obejmują m.in. powłoki kuliste pod obciążeniem skupionym i liniowym, powłoki o dużej wiotkości i prawie izometrycznej deformacji, wielopłatowe konstrukcje powłokowo - płytowe, oraz nieliniową dynamikę wymuszonego i swobodnego ruchu w przestrzeni giętkich trójpłatowych konstrukcji powłokowych. W szczególności, badano możliwości uniknięcia zjawiska blokady, redukcji lub eliminacji form pasyżniczych, zbieżność rozwiązań numerycznych, wpływ wartości współczynnika owinięcia i metod stabilizacji na rozwiązania, a także zachowanie całkowitej energii mechanicznej podczas ruchu powłoki w przestrzeni.

W ramach wieloskalowej mechaniki materiałów podjęto zagadnienie budowy nanoskalowego modelu plastyczności. Nanoskalowy model plastyczności rozróżnia pojedyncze powierzchnie poślizgu. Kluczowym problemem staje się więc modelowanie i numeryczna symulacja poślizgu realizowanego na oddzielnych powierzchniach. Problem taki charakteryzuje się znaczną złożonością. W związku z tym opis i numeryczne symulacje w ramach nanoskalowo-

finite elements, amongst the others family of shell translational elements, mixed or partially mixed, and the elements with a two-stage interpolation, degenerated elements, flat elements not according to the C1 class and the flat elements of DCT type. Presented have been the results of abundant numerical analysis of several examples of non-linear analysis of problems of statics, stability and shell dynamics, predominantly linearly elastic in the range of arbitrary deformation. Analysed cases encompass amongst the others spherical shells under point and continuous load, shells with significant whippines and almost isometric deformation, multiplane shell-slab structures and non linear dynamics of induced and free motion in the space of flexible three-plane shell structures. In particular investigated have been the possibilities of refraining of the blockage phenomenon, reduction or elimination of parasite forms, consistency of numerical solutions, influence of values of the wrapping coefficient and stabilisation methods on the solution as well as behaviour of the total mechanical energy during the shell motion in space.

In the frame of multi-scale material mechanics considered has been the problem of development of nanoscale model of plasticity. Nanoscale model of plasticity considers single slip surfaces. A key problem hence becomes modeling and numerical simulation of a slip realised on separate surfaces. Such problem is characterised by a significant complexity. In connection to this the

wego modelu wprowadza się stopniowo rozważając najpierw modele prostsze, a następnie bardziej złożone, stopniowo komplikując warunki. Wprowadzono jednowymiarowy model ciała sprężystego, charakteryzujący się tylko odkształceniem ścinającym, w którym dopuszczono poślizg na oddzielnych powierzchniach. Model bazuje na metodzie elementów skończonych. Poślizg może być realizowany tylko w węzłach zewnętrznych każdego elementu skończonego, reprezentujących dopuszczalne powierzchnie poślizgu. Wprowadza się równania konstytutywne na powierzchni nieciągłości, jaką jest powierzchnia poślizgu. W oparciu o nie wprowadza się równanie ewolucji dla przemieszczenia na powierzchni poślizgu, które jest miarą deformacji plastycznej. Wprowadza się równania systemu dynamicznego, w ramach których opisano ewolucję ciała sprężystego, deformacji plastycznej oraz warunki inicjacji oraz zatrzymania poślizgów.

Wprowadzono jednowymiarowy model dla propagacji ciepła, który uwzględnia ciepło generowane na powierzchni poślizgu. Rozważa się różne modele przepływu ciepła. Postuluje się uwzględnianie skończonej prędkości propagacji ciepła, mając na uwadze bliskość nanoskalowego modelu do modeli mechaniki fononowej. Przeprowadzono numeryczne symulacje dla propagacji ciepła generowanego przez jedną powierzchnię poślizgu jak też przez kilka bliskich powierzchni poślizgu. Uwzględniono możliwy wpływ obecności powierzchni poślizgu na

description and numerical simulations in the frame of nanoscale model are introduced gradually, considering first the simpler models, then more complex ones, gradually complicating the conditions. Introduced has been a one-dimensional model of elastic body, characterised by only shearing deformations, where the slip is admitted on separate surfaces. The model is based on the method of finite elements. The slip is realised only in internal nodes of each finite element, representing the allowable slip surfaces. Introduced are constitutive equations on the discontinuity surface, which in the present case is the slip surface. On that basis introduced in the evolution equation for translation on the slip surface, which is a measure of plastic deformation. Introduced are equations of dynamic system, in the frame of which described is evolution of elastic body, plastic deformations and conditions of initiation and slip stop.

Introduced has been a one-dimensional model for heat propagation, which considers generated heat on the slip surface. Considered are various models of heat flow. Postulated is consideration of finite speed of heat, bearing in mind a close relation of the nanoscale model to the models of phonon mechanics. Performed have been numerical simulations for propagating heat, which is generated by one of the slip surfaces as well as several close slip surfaces. Considered has been possible influence of the presence if slip surfaces on the character of heat propagation.

Investigated has been the problem

charakter propagacji ciepła.

Zbadano problem poślizgu dużych mas lodowych po skalnym podłożu. Ruch dużych mas lodu następuje wskutek procesów lepkiego płynięcia lodu oraz poślizgu o podłoże. Istnieją dwa sposoby modelowania poślizgu. W pierwszym podejściu modeluje się siły tarcia między lodem a podłożem. W drugim podejściu postuluje się związki konstytutywne dla prędkości poślizgu lodu. Złożona topografia podłoża skalnego może być źródłem anizotropowych zjawisk tarcia i poślizgu. Wykorzystano liniowe i nieliniowe modele tarcia do opisu różnych przypadków anizotropowego i niejednorodnego tarcia lodu o podłoże skalne. Anizotropowy poślizg dużych mas lodowych opisano z pomocą prawa zaproponowanego przez Hindmarsh'a. Sformułowano rozszerzone postacie prawa poślizgu Hindmarsh'a korzystając z modeli anizotropowego tarcia. Wyprowadzono również prawa anizotropowego tarcia i poślizgu stosując analogię do praw konstytutywnych używanych w teorii sprężysto-plastyczności. Zauważono, że istotny wpływ na poślizg dużych mas lodowych mają również ruchy typu stick-slip.

O4/Z2/T2 Analiza numeryczna wybranych zagadnień mechaniki elementów maszyn i materiałów

Celem badań było opracowanie kompleksowego systemu programów numerycznych wyznaczania rozkładów przemieszczeń i naprężeń oraz para-

of slipping of large icebergs on the rocks. Motion of large icebergs results due to the processes of viscous ice flowing and the foundation slip. There exist two ways of slip modelling. In the first approach modelled are friction forces between ice and foundation. In the second approach postulated are constitutive relations for the ice slip velocity. Utilised have been linear and non-linear models of friction for description of various cases of anisotropic and non-homogeneous ice friction on the rock foundation. Anisotropic slip of large icebergs has been described with the aid of a law postulated by Hindmarsh.

Formulated have been extended forms of the Hindmarsh laws of slip utilising the models of anisotropic friction. Introduced have been the laws of anisotropic friction and slip using the analogy to the constitutive equations used in elasticity and plasticity theory. It has been noted that of significant influence on the slip of large icebergs are the motions of the stick-slip type.

O4/Z2/T2 Numerical analysis of selected problems of machine elements and material mechanics

The aim of investigations was a development of a complex system of numerical codes of determination of translation and stress distributions and the parameters of motion, occurring during induced and self-excited vibrations of rotor blading system in compressible flow at various operation conditions of

metrów ruchu, występujących podczas drgań wymuszonych i samowzbudnych, układu łopatek wirnikowych znajdujących się w przepływie ściśliwym, przy różnych warunkach pracy maszyny przepływowej. Do realizacji oceny drgań wymuszonych i samowzbudnych wykorzystano model drgającej palisady dla 3D Eulerowskiego modelu przepływu idealnej cieczy, metodą Godunova-Kolmana oraz wykorzystano metodę bezpośredniego całkowania równań ruchu. Określono siły niestacjonarne wysoko i niskoczęstotliwościowe działające na drgającą łopatkę wirnikową ostatniego stopnia turbiny dla niejednorodnego ciśnienia za drgającymi łopatkami wirnikowymi

Przedstawiono wyniki numeryczne sił niestacjonarnych działających na drgające i obracające się łopatki wirnikowe dla trójwymiarowego nielepkiego przepływu poddźwiękowego, transonicznego i naddźwiękowego wykorzystując metodę superpozycji modalnej. Do realizacji tych zadań wykorzystano komputerowy program opisu parametrów ruchu palisady będącej w niestacjonarnym i niezachowawczym przepływie.

Przeprowadzono analizę częstości drgań własnych jednej, dwóch i czterech ułopatkowanych tarcz z 24 łopatkami osadzonych na wale, przy pomocy programów MES, ABAQUS i NASTRAN. Stwierdzono, że wał i łopatki osadzone na tarczy mają duży wzajemny wpływ na formy i częstości drgań układu, szczególnie dla kilku pierwszych form drgań. Stanowi to nowość

a fluid-flow machine. In realisation of the assessment of induced and self-excited vibrations utilised has been a model of vibrating palisade for the case of 3D Euler flow model of ideal liquid, using the Godunov-Kolgan method and method of direct integration of the equations of motion. Determined have been high and low-frequency non-stationary forces, which act on the vibrating rotor palisade of a last stage of turbine in the case if non-homogeneous pressure beyond vibrating rotor blades.

Presented have been numerical results of non-stationary forces acting on vibrating and rotating rotor blades in the case of three-dimensional non-viscous subsonic, transonic and supersonic flow, using the method of modal superposition. In realisation of these problems utilised has been a computer code for description of the parameters of palisade motion in non-stationary and non-preserving flow.

Conducted has been analysis of frequency of free vibrations of one, two and four bladed discs with 24 blades fixed to a shaft using the ME MES, ABAQUS and NASTRAN codes. It has been concluded that the shaft and blades fixed to a disc have a significant mutual interaction on the forms and frequencies of system vibrations, particularly for the first few forms of vibrations. This is a novelty in the literature of the subject. Up to date it has been assumed that the shaft has an influence on the zeroeth form of bladed rotor disc.

Performed have been calculations of high and low-frequency non-stationary

w literaturze przedmiotu. Dotychczas uważano, że wał ma wpływ na zerową formę ułopatkowanej tarczy wirnikowej.

Przeprowadzono obliczenia sił niestacjonarnych wysoko- i niskoczęstotliwościowych działających na łopatki i wał stopnia regulacyjnego i stopnia upustem turbiny PWK200 i 13UC100 zakładając nierównomierny rozkład ciśnienia za łopatkami wirnikowymi. Założono, że łopatki wirnikowe różnią się wymiarami geometrycznymi wykonania.

O4/Z3/T1 Teoretyczne i eksperymentalne badania oddziaływań dynamicznych w układach wirnik-łożyska

W dynamice wirników znana i powszechnie stosowana jest metoda integracji liniowych modeli linii wirników i łożysk ślizgowych z liniowym modelem konstrukcji podpierającej. Metoda ta umożliwia elegancki zapis zespolony w postaci spójnego zestawu równań różniczkowych i jest powszechnie stosowana w literaturze światowej. Sytuacja mocno się komplikuje, jeśli model linii wirników i łożysk ślizgowych jest nieliniowy. Opis nieliniowy staje się konieczny w zagadnieniach diagnostyki gdzie sprawą niezmiernie ważną jest pozyskiwanie relacji typu defekt-symptom, co oznacza możliwość pozyskiwania złożonych widm drgań, w których kształcie zakodowane są defekty. Pozostaje jednak otwarte pytanie: jak taki model zintegrować z modelem konstrukcji podpierającej? Tradycyjne metody są w

forces acting on the blades and the shaft of the regulation stage and bleeding stage of PWK200 and 13UC100 turbines assuming a non-uniform distribution of pressure beyond the rotor blades. It has been assumed that rotor blades are differing by virtue of geometrical manufacturing dimensions.

O4/Z3/T1 Theoretical and experimental investigations of dynamical interactions in the rotor-bearing systems

In dynamics of rotors is known and widely used method of integration of linear models of lines of rotors and slide bearings with a linear model of supporting structure. The method enables elegant complex description in the form of consistent set of differential equations and is widely used in the literature. Things become more complicated if the model of the line of rotors and slide bearings becomes non-linear. Non-linear description becomes necessary in the problems of diagnostics, where acquisition of relations of the defect-symptom type starts to be extremely important. That means possibility of acquiring of complex vibration spectra, where the defects are coded into. The open question remains, however, how to integrate the model with a model of supporting structure? Traditional methods in that case are absolutely ineffective.

Developed has been an original method of determination of so called regions of adequacy of supporting structure vibration spectra and their linking

tym przypadku całkowicie zawodne.

Opracowana została oryginalna metoda wyznaczania tzw. przedziałów adekwatności widm drgań konstrukcji podpierającej i powiązania jej ze strukturą widma generowaną przez linię wirników i łożyska. Zastosowano koncepcję tzw. funkcji wagowych, co oznacza przyjęcie udziału charakterystyk masowo-szywnościowo-tłumiących konstrukcji podpierającej w sposób proporcjonalny (ważony) do gęstości mocy widmowej linii wirników i łożysk. Jest to pomysł nowy stwarzający podstawy dla opracowania jakościowo nowych narzędzi w dynamice wirników. Zmodyfikowany został odpowiednio system komputerowy NLDW i przeprowadzona została seria testów wstępnych. Uzyskane wyniki są bardzo obiecujące.

Opracowany został tzw. przypadek bazowy stanowiący punkt odniesienia dla dalszych badań symulacyjnych. Przypadek ten dotyczy turbozespołu 200 MW pracującego w warunkach uznanych za wzorcowe. Określone zostały wszystkie siły kinetostatyczne i dynamiczne działające na obiekt w tym również po raz pierwszy siły aerodynamiczne i naciągu magnetycznego będące wynikiem zaawansowanej analizy komputerowej kilku innych zespołów badawczych.

Opracowane zostały nowe programy komputerowe serii KINWIR-LEW i NLDW-LEW do analizy zagadnień kinetostatyki i dynamiki wirników z uwzględnieniem kieszeni lewarowych i „przekoszenia” panwi łożyskowych.

to a structure of spectrum generated by the line of rotors and bearings. A concept of so called weighting functions has been applied, which means assuming of the share of mass-stiffness-damping characteristics of the supporting structure in the proportional way (weighted) to the density of spectral power of line of rotors and bearings. This is a new idea, laying out grounds for the development of qualitatively new tools in the dynamics of rotors. Modified has been adequately the computer system NLDW and carried out has been a series of preliminary tests. Obtained results are very promising.

Developed has been so called base case, which is the reference point for further simulation investigations. Such case refers to the turboset of 200MW power operating under conditions regarded are reference. Determined have been all kinetostatic and dynamic forces acting on the object, including also for the first time the aerodynamical and magnetic tension forces, which are a result of advanced computer analysis of several other research groups. Developed have been new computer codes from the KINWIR-LEW and NLDW-LEW series, destined for the analysis of kinetostatics and rotor dynamics with account of siphon pockets and bearing bush misalignment.

Performed has been a time consuming procedure of tuning computer codes to operational data from the object acquired from the diagnostic system DT200, installed at the Koźienice power station. Obtained results serve as

Przeprowadzona została pracochłonna procedura „dostrajania” modeli komputerowych do danych eksploatacyjnych obiektu pozyskanych z systemu diagnostycznego DT200 zainstalowanego w elektrowni „Kozienice”. Uzyskane wyniki stanowią „przypadek bazowy” zapisany w uzgodnionych z innymi zespołami formatach.

Wyspecyfikowane zostały możliwe do zamodelowania teoretycznego klasy defektów turbozespołu 200 MW. Zaadoptowano i zmodyfikowano dla celów pozyskiwania relacji diagnostycznych programy komputerowe KINWIR-LEW oraz NLDW-LEW oraz opracowano cały pakiet programów graficznych. Uzyskane w oparciu o powyższe klasy defektów relacje typu defekt-symptom stanowiąc będą główne źródło danych uczących dla układów adaptacyjnych opracowanych na Politechnice Śląskiej.

a ‘base case’ and are stored in the format agreed with other groups.

Specified have been possible for theoretical modelling classes of defects of the 200 MW turboset. Adopted and modified have been suites of computer codes KINWIR-LEW and NLDW-LEW for acquisition of diagnostic relations, as well as developed has been a whole package of graphical codes. Obtained, based on the above classes of defects, relations of the defect-symptom type will serve as a major data source for teaching of adaptive systems developed at the Silesian University of Technology.

Wiesław Ostachowicz

Translated by Dariusz Mikielwicz

jh