

Aero- and Hydromechanics in Power Machines

Rusanov A., Paschenko N., and Rusanov R. Using the interpolation-analytical approximation of the Iapws-95 equations in the flow calculation of the steam turbine flow part3–10

Paper introduced an approach to the approximation of the equations of state of water and steam (IAPWS-95) for the calculation of three-dimensional viscous flow of steam in the flow parts of turbomachines. This method based on an approximation of the complex thermodynamic functions IAPWS-95 more simple relationship with the compressibility factor, which is calculated using an interpolation polynomials of the third order. To verify the proposed method there are made test calculations of spatial flows in the five-stage flow part of the low-pressure cylinder of steam turbine with capacity 360 MW which is one of modification of the three-stage flow part of the low-pressure cylinder of steam turbine K-200-130 and medium pressure cylinder of cogeneration turbine T120 130-12,8. Presents a comparison of the numerical results with experimental data. The proposed method provides sufficient accuracy of determination of thermodynamic values throughout the operating range of modern and advanced steam turbines (the maximum error is not more than $\pm 0,1\%$), without the need for a substantial increase in the computational cost. Using of this approach allows for a more accurate modeling of three-dimensional flow of wet steam in flow parts of the turbines in comparison with models which use simple equation of state.

Key words: turbine, flow part, spatial flow, equations of state of water and steam.

Предложен подход к аппроксимации уравнений состояния воды и водяного пара (IAPWS-95) для расчетов трехмерных вязких течений пара в проточных частях турбомашин. Метод основан на аппроксимации сложных термодинамических функций уравнения IAPWS-95 более простыми зависимостями с коэффициентами сжимаемости, вычисляемыми с помощью интерполяционных полиномов третьего порядка. Для проверки предложенной методики выполнены тестовые расчеты пространственных течений в пятиступенчатой проточной части цилиндра низкого давления паровой турбины мощностью 360 МВт одной из модификаций трехступенчатой проточной части цилиндра низкого давления паровой турбины K-200-130 и цилиндра среднего давления теплофикационной турбины T120/130-12,8. Представлены сопоставления численных результатов с экспериментальными данными. Предложенный метод обеспечивает достаточную точность определения термодинамических величин во всем диапазоне работы современных и перспективных паровых турбин (максимальная погрешность не превышает $\pm 0,1\%$), при этом не требуется существенного увеличения вычислительных затрат. Применение данного подхода позволяет обеспечить более точное моделирование трехмерных течений влажного пара в проточных частях турбин по сравнению с моделями, в которых используются простые уравнения состояния.

Ключевые слова: турбина, проточная часть, пространственное течение, уравнения состояния воды и водяного пара.

References

1. IAPWS, Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. – Available from: <http://www.iapws.org>.
2. IAPWS, Revised Release on the IAPWS Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (The revision only relates to the extension of region 5 to 50 MPa). – Available from: <http://www.iapws.org>
3. Nashokin, V. V. (1980). Engineering thermodynamics and heat transfer. Publishing house «High School», 496 p.
4. Lee, B. I., Kesler, M. G. (1975). A generalized thermodynamic correlation based on three-parameter corresponding states. The American Institute of Chemical Engineers Journal, 21(3), 510–527.
5. Yershov, S. V., Rusanov, A. V. (2002). Numerical simulation of 3D viscous flows of imperfect gas in turbomachines. Part 1. Problem statement. Journal of mechanical engineering, 5(4), 18–25.
6. Rusanov, A. V., Pashchenko, N. V. (2010). Using the equation of thermodynamic properties of water vapor IAPWS-95 in 3D calculations. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/7(47), 37–41.
7. Rusanov, A. V., Lampart, P., Pashchenko, N. V. (2012). 3D modeling flow in the low-pressure cylinder of steam turbine using the system equations of thermodynamic properties of water and steam IAPWS-95. Aerospace Engineering and Technology, 7(94), 107–113.
8. Rusanov, A. V., Yershov, S. V. (2008). Mathematical modelling of unsteady gasdynamic processes in the turbomachine settings. IPMach NAS of Ukraine, 275 p.

9. Yershov, S. V., Rusanov, A. V. (1996). C. A. The complex program of calculation of three-dimensional gas flows in multistage turbomachinery «FlowER». State Agency of Ukraine on Copyright and Related Rights, PA number 77, 1 p.
10. Marcinkowski, S., Gardzilewicz, A., Gluch, J. (1999). Results of extended flow measurements in the LP part of 18K370 steam turbine. Rep. Diagnostyka Maszyn, 11/99, 59 p.
11. Some problems of reconstruction and modernization of steam-turbines of thermal power-plants of Ukraine [Text] / N. I. Mamontov, T. N. Pugacheva // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2008. – № 6. – P. 152–161.

Heat Transfer in Engineering Constructions

Levterov A. M. and Umerenkova K. R. Forecasting of thermal performances of working bodies heat engineering of devices 11–14

The procedure of definition of parameters of phase equilibriums and thermal properties of the alternate non-petroleum power supplies used in manifold heat engineering of devices is offered. Descriptions of designed mathematical models of vapour-liquid equilibriums in multicomponent molecular intermixtures are submitted. Mathematical models of phase equilibriums and their numerical embodyings are based on the statistical mechanical approach within the framework of a thermodynamic perturbation theory without attraction of empirical parameters. Features of a method are the following: limited initial information for calculations, a high accuracy, applicability for a wide class of substances in any practically important gamuts of states. Received results for basic properties and phase equilibriums predict performances of intermixtures in unexplored experimentally gamuts of states down to pressures 1000 МПа and temperatures up to 5000 K or up to temperatures of pyrolysis. Errors of calculations of predicted thermal performances of multicomponent working bodies are at a level of routine experimental errors.

Key words: thermal characteristics, phase equilibriums, alternative energy sources, working body, mathematical model.

Предложена методика определения параметров фазовых равновесий и теплофизических свойств альтернативных энергоносителей ненефтяного происхождения, используемых в разнообразных теплотехнических устройствах. Представлены описания разработанных математических моделей парожидкостных равновесий в многокомпонентных молекулярных смесях. Математические модели фазовых равновесий и их числовые реализации основаны на статистико-механическом подходе в рамках термодинамической теории возмущений без привлечения эмпирических параметров. Особенности метода являются: ограниченность исходной информации, высокая точность, применимость для широкого класса веществ в любых практически важных диапазонах состояний. Полученные результаты для базисных свойств и фазовых равновесий прогнозируют характеристики смесей в неисследованных экспериментально диапазонах состояний вплоть до давлений 1000 МПа и температур до 5000 К или до температур пиролиза. Погрешности расчетов прогнозируемых теплофизических характеристик многокомпонентных рабочих тел находятся на уровне обычных экспериментальных ошибок.

Ключевые слова: теплофизические свойства, фазовые равновесия, рабочее тело, альтернативные энергоносители, математическая модель.

References

1. Marinin V. S. (1999) Thermal physics of alternative energy sources. – Kharkov: Fort. –212 p.
2. Kalashnikov O. V. (2003) Model operation of phase behavior of hydrocarbons: a select of an equation of state. // Ekotekhnologii and resursosberegenie. – N 1. – P. 22–29.

Dynamics and Strength of Machines

Yanchevsky I. V. Non-stationary vibration of electroelastic shallow spherical shell 15–22

The numerical-analytical method of solving of the problem of non-stationary axisymmetric vibration of shallow spherical shell, composed of thin elastic and electroelastic layers, under impulse electromechanical load is presented. Statement of the problem is executed within the limits of the theory of thin electroelastic shells. Integral Laplace transform on time coordinate, expansion of unknown functions into a series and methods of the theory of integral equations were used for problem solving. By the developed approach the problem is reduced to a system of Volterra's integral equations of the 2nd kind which is solved numerically. Results of calculations and their analysis for various variants of fastening of shell's edge are presented for step mechanical and electric load. The obtained expressions allow to investigate vibration of nonstationary loaded electroelastic element in

the form of a shallow spherical shell or a round plate (at rather great value of radius of curvature of the surface of connection of layers) and at other variants of boundary conditions as mechanical, as electric groups. The stated approach can be generalized on a case of the partitioned current-carrying covering of an electroelastic layer. Advantages of the stated method are simplicity of computing realization and an opportunity to control an accuracy of results.

Keywords: electroelasticity, shallow spherical shell, non-stationary vibration, integral Laplace transform.

Приведен численно-аналитический метод решения задачи о нестационарных осесимметричных колебаниях пологой сферической оболочки, составленной из тонких упругого и электроупругого слоев, при импульсном электромеханическом нагружении. Постановка задачи выполнена в рамках теории тонких электроупругих оболочек. Для решения задачи используются интегральное преобразование Лапласа по временной координате, разложение искомым функций в ряды и методы теории интегральных уравнений. Разработанным подходом задача сведена к системе интегральных уравнений Вольтерра II-го рода, решение которой выполнено численно. Представлены результаты расчетов и их анализ для различных вариантов закрепления края оболочки при ступенчатом механическом и электрическом ее нагружениях. Полученные расчетные выражения позволяют исследовать колебания нестационарно нагружаемого электроупругого конструктивного элемента в виде пологой сферической оболочки или круглой пластины (при достаточно больших значениях радиуса кривизны поверхности соединения слоев) и при других вариантах граничных условий как механической, так и электрической группы. Изложенный подход может быть обобщен на случай секционированного токопроводящего покрытия электроупругого слоя. К преимуществам метода следует отнести простоту численной реализации и возможность контроля точности результатов.

Ключевые слова: электроупругость, полая сферическая оболочка, нестационарные колебания, интегральное преобразование Лапласа.

References

1. Qiu, J. (2010). "The Application of Piezoelectric Materials in Smart Structures." *Int. J. of Aeronautical & Space Sci.* 11 (4): 266-284.
2. Guz, A.N., V.D. Kubenko and A.É. Babaev (2002). "Dynamics of Shell Systems Interacting with a Liquid." *Int. Appl. Mech.* 38 (3): 260-301.
3. Karlash, V.L. (2008). "Resonant Electromechanical Vibrations of Piezoelectric Shells of Revolution (Review)." *Int. Appl. Mech.* 44 (4): 361-387.
4. Kyrychok, I.F., and T.V. Karnaukhova (2013). "Axisymmetric resonant vibrations and vibroheating of viscoelastic cylindrical shell containing piezoelectric sensors taking into account the temperature dependence of material characteristics." *Visnyk Kyivs'kogo Universytetu im. T. Shevchenka (Phys.-Math. Sci.)* 3(3): 150-153. [in Ukrainian]
5. Yang, J.S. (2007). "Piezoelectric transformer structural modeling – A review." *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control.* 54 (6): 1154-1170.
6. Kubenko, V.D., and I.V. Yanchevskii (2013). "Vibrations of a nonclosed two-layer spherical electroelastic shell under impact electromechanical loading." *Int. Appl. Mech.* 49 (3): 303-314.
7. Yanchevskii, I.V. (2013). "Nonstationary deformation of an electroelastic nonclosed cylindrical shell under mechanical and electric loading." *Int. Appl. Mech.* 49 (4): 475-481.
8. Sheng, G.G., and X. Wang (2009). "Active control of functionally graded laminated cylindrical shells." *Composite Struct.* 90 (4): 448-457.
9. Wang, H.M., H.J. Ding and Y.M. Chen (2005). "Dynamic solution of a multilayered orthotropic piezoelectric hollow cylinder for axisymmetric plane strain problems." *Int. J. Sol. and Struct.* 42 (1): 85-102.
10. Ghaedi, S.K., and A.K. Misra (1999). "Active control of shallow spherical shells using piezoceramic sheets." *SPIE Conf. on Smart Structures and Integrated Systems, Newport Beach, California.* 3668: 890-912.
11. Jayachandran, V., P. King, N.E. Meyer [et al.] (1999) "Real-time feed-forward control of low-frequency interior noise using shallow spherical shell piezoceramic actuators." *Smart Materials and Struct.* 8: 579-584.
12. Sabu, N. (2003). "Vibrations of thin piezoelectric shallow shells: Two-dimensional approximation." *Proc. Indian Acad. Sci. (Math. Sci.)* 113 (3): 333-352.
13. Tzou, H.S., P. Smithmaitrie and J.H. Ding (2002). "Micro-sensor electromechanics and distributed signal analysis of piezo(electric)-elastic spherical shells." *Mech. Systems and Signal Proc.* 16 (2-3): 185-199.

14. Zhou, Y.-H., and H.S. Tzou (2000). "Active control of nonlinear piezoelectric circular shallow spherical shells." *Int. J. of Sol. and Struct.* 37 (12): 1663-1677.
15. Grinchenko, V.T., A.F. Ulitko and N.A. Shul'ga (1989). *Electroelasticity*. Kyiv, Naukova dumka. [in Russian]
16. Babaev, A. É. (1990) *Nonstationary waves in continuums with system of reflected surfaces*. Kyiv, Naukova dumka. [in Russian]
17. Yanchevskiy, I.V. (2011) "Minimization of Deflections of round Electroelastic Bimorph Plate Under Impact Loading." *Problems of computational mechanics and strength of structures*. 16: 303-313. [in Russian]
18. Yanyutin E.G., and I.V. Yanchevskiy (2001). *Impact influences on elastically deformed elements of constructions*. Kharkiv, KhADI. [in Russian]
19. Yanchevskiy, I.V. (2010) "Non-stationary oscillations of asymmetric disk bimorph in the direct piezoelectric mode." *J. of Mechanical Engineering*. 13 (6): 42-47. [in Russian]

Garmash N. G. Investigation of vibrations of shafting turbine unit T-250/300-240 at drawdown of supports and instantaneous imbalance shafting23–29

The methodology and software that enables based on the finite element method with the direct integration of the motion equations by Newmark's method solve problems forced flexural, longitudinal, torsional vibrations and transients shafting on complex elastic-damper supports, are developed. Software allows to determine the vibration characteristics of initial defects and defects that have arisen during operation of turbine shafting. The finite element calculation model of rod shafting turbine unit T-250 / 300-240 is used. Discs stages with blades, couplings, flanges or balancing weights are modeled by concentrated masses and moments of inertia. At the junction of neighboring rotors, the stiffness coupling elements are taken into account, as well as imperfections connection - radial clearance (crankshaft) or a kink of axis plots. Model identification is carried out on the basis of the experimental values of the vibration characteristics obtained by the vibration-diagnostics system. Numerical simulation of the vibrations of the turbine shaft T-250 / 300-240 is performed in such cases imperfections of connection flanges rotors as misalignment of rotor axis (crankshaft), kink of shafting axis, drawdown of supports and instantaneous imbalance shafting. Taking into account the defects leads to a change in amplitude, phase and frequency vibrations, as well as the trajectories of individual points shafting. The results obtained allow us to estimate the influence of the most widespread defects on the vibration characteristics of shafting. These symptoms of defects extend the capabilities of an expert system to assess their availability and development, which is part of the automated system of turbine vibration diagnostics.

Key words: rotor, shafting, turbine, defect, vibration characteristics.

Разработано методическое и программное обеспечение, позволяющее на основе метода конечных элементов с непосредственным интегрированием уравнений движения шаговым методом Ньюмарка, решать задачи вынужденных изгибных, продольных, крутильных колебаний и переходных процессов валопроводов на сложных упруго-демпферных опорах. Программное обеспечение позволяет определять вибрационные характеристики начальных и приобретенных при эксплуатации дефектов валопровода турбоагрегата. Используется конечноэлементная стержневая расчетная модель валопровода турбоагрегата T-250/300-240. Диски ступеней с лопатками, муфты, фланцы или балансировочные грузы моделируются сосредоточенными массами и моментами инерции. В месте соединения соседних роторов учитываются жесткости стыковочных элементов, а также несовершенства соединения – радиальный зазор (коленчатость вала) или излом осей участков. Осуществляется идентификация модели на соответствие результатов расчетов экспериментальным значениям виброхарактеристик, полученным с помощью системы вибродиагностики. Проводилось численное моделирование колебаний валопровода турбоагрегата T-250/300-240 в случаях несовершенства соединения фланцев роторов – несоосности осей (коленчатости) роторов, излома оси валопровода, просадки опор и мгновенной разбалансировки валопровода. Введение дефектов приводит к изменению амплитуд, фаз и частот колебаний, а также траекторий движения отдельных точек валопровода. Полученные результаты позволили оценить влияние наиболее распространенных дефектов на вибрационные характеристики валопровода турбоагрегата T-250/300-240. Определенные вибропризнаки дефектов позволяют расширить возможности экспертной системы оценки их наличия и развития, которая является составной частью автоматизированной системы вибродиагностики турбоагрегата.

Ключевые слова: ротор, валопровод, турбоагрегат, дефект, вибрационные характеристики.

References

1. Shul'zhenko, N.G. et al. (2011) Zadachi termoprochnosti, vibrodiagnostiki i resursa energoagregatov (modeli, metody, rezul'taty issledovaniy) –Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011.–370 s.
2. Shul'zhenko, M.G. (2014) Diagnostuvannya vibracijnogo stanu, termomicnosti ta resursu energetichnih agregativ. Visnik NAN Ukraine. –№ 12.– S. 39–43.
3. Bate, K. et al. (1982) Chislennyye metody analiza i metod konechnykh elementov. – M.: Strojizdat – 448 s.
4. Shul'zhenko, M.G. et al. (2014) Modeljuvannya kolivan' valoprovodu turboagregata za najavnosti ekspluataciynih defektiv. Vibracii v tehnic i ta tehnologijah. – № 2 (74).– S. 93–100.
5. Shul'zhenko, N.G. et al. (2002) Identifikacija sterzhnevyyh modelej valoprovodov po dannyh eksperimental'nyh issledovaniy. Problemy mashinostroeniya. –№ 4.– S. 67–71.
6. Shul'zhenko, M.G. et al. (2014) Vibrodiagnostirovanie rotornykh agregatov avtomatizirovannymi stacionarnymi i mobil'nymi sistemami. Vibracii v tehnic i ta tehnologijah. – № 3 (75). – S. 101–110.
7. Kostjuk, A.G. (1982) Dinamika i prochnost' turbomashin. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 264 s.

Kalantarly N. M. Computational model of cracking in circular heated disk.....30–39

A computational model describing the cracking in the circular disk under the influence of thermal stresses is developed. It is assumed that the zone of cracking process is a finite length layer, containing the material with partially broken bonds between the individual structural elements. The bonds between the prefracture zone faces are modeled by the cohesive forces continuously applied to the faces and constraining its disclosure. The boundary problem for equilibrium of the heated disk weakened by rectilinear prefracture zone is reduced to a nonlinear singular integrodifferential equation with a Cauchy type kernel. The singular integrodifferential equation is reduced to a system of nonlinear algebraic equations which is solved by the method of successive approximations, and an iterative algorithm similar to Il'yushin elastic solutions method. It is assumed that the temperature field in the circular disk has an axial symmetry, and the elastic characteristics and the coefficient of linear thermal expansion of the material do not depend on temperature. The limit equilibrium analysis of the zone of weakened interparticle bonds is performed on the basis of criterion of limit traction of the bonds. Relations for determining the critical value of the heat effect intensity at which in the circular disk occurs cracking are obtained.

Keywords: circular disk, temperature field, zone of weakened interparticle bonds, tractions in bonds, cracking.

Разработана расчетная модель, в рамках которой возможно описание трещинообразования в круговом диске под действием температурных напряжений. Принято, что зона процесса трещинообразования представляет собой слой конечной длины, содержащий материал с частично нарушенными связями между отдельными структурными элементами. Связи между берегами зоны предразрушения моделируются непрерывно приложенными к поверхности берегов силами сцепления, сдерживающими их раскрытие. Полагается, что температурное поле в круговом диске имеет осевую симметрию, а упругие характеристики и коэффициент линейного температурного расширения материала не зависят от температуры. Краевая задача о равновесии нагреваемого диска, ослабленного прямолинейной зоной предразрушения, сводится к нелинейному сингулярному интегродифференциальному уравнению с ядром типа Коши. Сингулярное интегродифференциальное уравнение сводится к системе нелинейных алгебраических уравнений, решаемой методом последовательных приближений и итерационным алгоритмом, подобным методу упругих решений Ильюшина. Анализ предельного равновесия зоны ослабленных межчастичных связей выполняется на основе критерия предельной вытяжки связей материала. Получены соотношения для определения критического значения интенсивности теплового воздействия, при котором в круговом диске произойдет трещинообразование. С помощью разработанной расчетной модели можно на стадии проектирования оценивать гарантированный ресурс нагреваемого диска, устанавливать допустимый уровень интенсивности теплового воздействия, выбирать материал диска с требуемыми характеристиками трещиностойкости.

Ключевые слова: круговой диск, температурное поле, зона ослабленных межчастичных связей, усилия в связях, трещинообразование.

References

1. Panasyuk V.V. Mechanics of quasibrittle fracture of material. Kiev: Naukova Dumka, 1991.
2. Rusinko A., Rusinko K. Plasticity and Creep of Metals. Berlin: Springer Verlag, 2011.
3. The special issue: Cohesive models // Eng. Fract. Mech. 2003. V. 70, No14. p. 1741–1987.
4. Mirsalimov V.M. The solution of a problem in contact fracture mechanics on the nucleation and development of a bridged crack in the hub of a friction pair // J. of Applied mathematics and mechanics. 2007. V. 71, No 1, p.120–136.

5. Muskhelishvili N.I. Some Basic Problems of Mathematical Theory of Elasticity. Amsterdam: Kluwer. 1977.
6. Panasyuk V.V., Savruk M P., Datsyshyn A.P. The stress distribution around cracks in plates and shells. Kiev Naukova Dumka, 1976.
7. Mirsalimov V.M. 1987. Non-one-dimensional elastoplastic problems. Moscow: Nauka; 1987.
8. Ladopoulos, E.G. Singular integral equations: Linear and non-linear theory and its Applications in Science and Engineering. Berlin: Springer Verlag, 2000.
9. Il'yushin A.A. Plasticity. Moscow and Leningrad: Gostekhizdat, 1948.
10. Birger I.A. The design of structures allowings for plasticity and creep. Izv. Akad. Nauk SSSR Mekhanika 1965. No2. p. 113–119.
11. Cherepanov G.P. Mechanics of brittle fracture. New York: Mc Graw-Hill, 1979.

Busyak Y. M., Tkachuk A. V., Dyomina N. A., Skripchenko N. B. and Mazur I. V. The problem of ensuring security of light armored vehicles corps: formulation and approaches to solving40–44

Interaction of an indenter (kinetic ammunition) with an armored obstacle is highly nonlinear physico-mechanical process. In the paper a complex of problems of numerical investigation of penetration of the projectile into the target is posed and solved. Different numerical methods are used for discretization of the resolving system. The use of simplified models and empirical relations gives an opportunity to put the problem of multivariate analysis of the of the projectile-target impact process for variable type of the shell, the material properties of its jacket and core, as well as armor plate material, impact angle and velocity, etc. In a first proximity, the initial stage of the meeting and the contact interaction of the projectile with the armor plates can be represented as a contact between two half-spaces. To analyze the distribution of contact pressure in conjunction of complex shaped bodies it is proposed to use the method of boundary integral equations (MBIE). Using a mathematical model in MatLab environment a software module «SBEM» was created. It implements an iterative procedure for finding the contact area and the contact pressure p . The paper investigates the contact of two bodies of revolution, the gap between them is a power function of the radius vector r with the exponent K . Modeling of the elastic properties of the layer simulating the roughness is accomplished by varying the parameter λ . As a result certain qualitative features of the contact pressure distribution by varying the shape of the head of the kinetic projectile and compliance shell are established.

Keywords: contact interaction, boundary element method, indenter, armored obstacle

Процесс взаимодействия индентора (кинетического боеприпаса) с бронепреградой является высоконелинейным физико-механическим процессом. В статье ставится и решается комплекс задач численного исследования процесса проникновения снаряда в преграду. Для дискретизации полученной системы соотношений применяются различные численные методы. Использование упрощенных эмпирических моделей и соотношений дает возможность ставить задачи многовариантного анализа результата процесса встречи снаряда с преградой при варьировании типа снаряда, свойств материала его оболочки и сердечника, а также свойств материала бронепреграды, углов и скоростей встречи снаряда с преградой и т.п. В первом приближении начальный этап встречи и контактного взаимодействия снаряда с бронепанелью представляется в виде контакта двух полупространств. Для анализа распределения контактных давлений в сопряжении сложнопрофильных тел предложено использовать метод граничных интегральных уравнений. С использованием математической модели в среде MatLab был создан программный модуль «SBEM», реализующий итерационную процедуру поиска контактных площадок и контактного давления p . В статье исследуется контакт двух тел вращения, зазор между которыми представляет собой степенную функцию радиус-вектора r с показателем степени K . Моделирование влияния упругих свойств слоя, имитирующего шероховатость, осуществлено путем варьирования параметра λ . В работе установлены некоторые качественные особенности распределения контактных давлений при варьировании формы головной части кинетического снаряда и податливости оболочки.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, метод граничных элементов, индентор, бронепреграда

References

1. Chepkov I.B., Lavrikov (2003), Model of the process of penetration of the elongate composite element in striking a shielded barrier. Journal of Problems of Strength. – №2, 46-55.
2. Vasidzu K. (1987) Variational methods in the theory of elasticity and plasticity: Trans. from English. – М.: Mir, 542.
3. Muzyemnek A.Y. Bogach A.A. (2005) Mathematical modelling of the impact and explosion in the program LS-DYNA. – Penza: Information Publishing Center PSU, 106.

4. Vasilyev A.Y. (2009), Investigation of the process around the body of light armored vehicles impact wave. Journal of Mechanics and Engineering. – №1, 96-107.
5. Vasiliev A.Y. (2005) On the question of deformation vehicle bodies under the impact action. Journal of Dynamics and strength of machines. – №47, 42-50.
6. Busyak Y.M., Tkachuk N.N., Vasiliev A.Y., Litvinenko A.V., Mazur I.V., Danshin Y.A., Shatalov O.E. (2014) Common approaches to assessing and ensuring the security hulls light weight machines. Journal of Integrated technologies and energy efficiency. – №3, 154-163.
7. Dorofeev A.N., Morozov A.P., Sarkisian R.S. (1978), Aircraft ammunition. – M.: VVIA of Zhukovsky, 446.
8. Ionov V.N. (1979) The strength of ammunition when interacting with an obstacle. – M.: Engineering, 423.
9. Tkachuk N.N., Movshovich I.J., Tkachuk N.A., Skripchenko N.B., Litvinenko A.V. (2014), Analysis of contact interaction of smooth and rough bodies by boundary element method: models and allow relations. 1. Formulation of the problem. 2. Kinematic models smooth bodies. Forging and stamping production. Materials processing pressure – № 3, 3-10.
10. Reshetov D.N., Portman V.T. (1986), Accuracy of machine tools. – M.: Engineering, 336.
11. Demkin NB Contacting rough surfaces. - M.: Nauka, 1970 - 228 p.
12. Johnson K. (1989), Contact mechanics, 510.
13. Hertz H. (1881), Über die Berührung fester elastischer Körper. J. Reine Angew. Math, V. 92, 156-171.
14. Simo J.C., P. Wriggers, R.L. Taylor (1985), A perturbed Lagrangian formulation for the finite element solution of contact problems. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 163-180.
15. L.A. Galin (1980) Contact problems of the theory of elasticity and viscoelasticity. – M.: Nauka, 303.
16. V.M. Aleksandrov, M.I. Chebakov (2004), Analytical methods in contact problems of elasticity theory. – M.: FIZMATLIT, 304.
17. www.kalkersoftware.org.

Lazariev I. and Shevchenko V. Axial internal forces in power transformer active part elements after short circuit.....45–54

The paper examines core type transformers in which windings clamping and magnetic system end yokes clamping is accomplished by means of the same yoke beams. With regard to forces of friction between the yoke beams and the yoke there were determined internal forces in the active part elements after short circuits. Based on numerical analysis, there was studied influence of axial short circuit forces upon the internal forces in windings. One of the reasons for reduction of winding clamping forces are the forces of static friction between the yokes and yoke beams. With the short circuit forces acting on the yoke beams decreasing, the static friction forces change direction, thus preventing the yoke beams from returning to the initial location before short circuit. The reduction of the winding clamping forces is in direct dependency from the windings rigidity and clamping structure compliance. These phenomena were studied on a set of 110 kV class core type transformers with the indicated type of the clamping structure. It was demonstrated that the forces of static friction between the yokes and the yoke beams have a significant influence upon the windings clamping forces. The obtained results are consistent with transformer testing and service data.

Keywords: transformer, winding, clamping forces, short circuit.

Рассматриваются трансформаторы стержневого типа, в которых запрессовка обмоток и торцовых ярм магнитной системы осуществляется с помощью одних и тех же ярмовых балок. С учетом сил сухого трения между ярмовыми балками и ярмом определены усилия в элементах активной части после коротких замыканий. На основе числового анализа изучено влияние осевых сил короткого замыкания на осевые усилия в обмотках. Одной из причин уменьшения сил прессовки обмоток являются силы трения покоя между ярмами и ярмовыми балками. При уменьшении сил короткого замыкания, действующих на ярмовые балки, силы трения покоя меняют направление, таким образом препятствуя возвращению ярмовых балок в исходное положение до короткого замыкания. Уменьшение сил прессовки обмоток непосредственно зависит от жесткости обмоток и податливости прессующей конструкции. Эти явления изучены на трансформаторах серии 110 кВ с вышеуказанным типом прессующей конструкции. Показано, что силы трения покоя между ярмами и ярмовыми балками имеют значительное влияние на силы прессовки обмоток. Полученные результаты согласуются с данными испытаний и эксплуатации.

Ключевые слова: трансформатор, обмотка, силы прессовки, короткое замыкание.

References

1. Lazariiev, V. and I. Lazariiev (2005). "On the cause of reduction of axial clamping forces of transformer windings under short circuit." *Electronics and Electricity* 1: 18 – 22.
2. Gorshunov, V. and D. Kapustin (2003). "Short circuit withstand capability of transformers is insufficient." *The news of electrical engineering* 3: 34 – 37.

Applied Mathematics

Dyomina N. A. Express-analysis when modeling the stress-strain state of stamp rigging elements.....55–59

Proposed is approach, which is based on application of express-models for numerical simulation of stress-strain state of stamp rigging elements. Using these models, a study was conducted many of stamp rigging elements. Interest of considerable is the question of quality pre-Express-analysis of the influence of some parameters on the behavior of elements of investigated technological system. From this point of view is relevant and important the private problem determination of the contribution of the elastic displacements of points of the matrix dividing of stamp in the overall balance of displacements in area between the cutting edges using the Express-models. The simplified computational models of matrix were used for this purpose. The analysis of distributions of displacements, stresses and integral dependency of the displacement and stress points of the cutting edges of matrix of dividing stamp serves as the basis for the following main conclusions. The equivalent stress in the area of the cutting edge of the matrix has level, which slightly changes by changing on their height. The strain state of matrices depends significantly on their height. At this can be identified tentatively the matrix: are low (high up to the one-third of inner diameter); of medium height - one-third to two diameters; are high - the higher of the two diameters. Increase in all cross-sections is characteristically for low matrices. Narrowing in the area of the cutting edges and increase in the middle part and closer to the basis are observed in matrices of medium height. The characteristic feature for high matrices is wavelike character of the increase cross-sections at different heights when moving along the forming in the area of the cutting edge, as well as approximately uniform decrease data cross-sections in the direction of action of the forging force.

Keywords: *mathematical model, parametric model, express-model, operation of separation of sheet metal forming, matrix, stress-strain state, balance of displacements.*

Для численного моделирования напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки предложен подход, основанный на применении экспресс-моделей. С применением этих моделей проведено исследование ряда элементов штамповой оснастки. Представляет значительный интерес вопрос качественного предварительного экспресс-анализа влияния некоторых параметров на поведение элементов исследуемой технологической системы. С этой точки зрения является актуальной и важной частная задача определения вклада упругих перемещений точек матрицы разделительного штампа в общий баланс перемещений в межкромочной зоне с использованием экспресс-моделей. Для этого использованы упрощенные расчетные модели матрицы. Анализ картин распределений перемещений, напряжений и интегральных зависимостей перемещений и напряжений точек режущей кромки матрицы разделительного штампа служит основой для следующих основных выводов. Эквивалентные напряжения в зоне режущей кромки матрицы имеют уровень, слабо изменяющийся при варьировании их высоты. Деформированное же состояние матриц существенно зависит от их высоты. При этом условно можно выделить матрицы: низкие (высота – до трети внутреннего диаметра); средней высоты – от одной трети до двух диаметров; высокие – выше двух диаметров. Для низких матриц характерно их расширение во всех сечениях. Матрицы средней высоты испытывают сужение в зоне режущей кромки, расширение в средней части и при приближении к подошве. Для высоких матриц характерной особенностью является волнообразный характер расширения сечений на разной высоте при движении вдоль образующих в зоне режущей кромки, а также примерно равномерная осадка данных сечений в направлении действия усилия штамповки.

Ключевые слова: *математическая модель, параметрическая модель, экспресс-модель, разделительная операция листовой штамповки, матрица, напряженно-деформированное состояние, баланс перемещений.*

References

1. Dyomina N. A. (2014), Mathematical modeling of contact interaction of stamp rigging elements. *Journal of mechanical engineering*, V. 17, No. 3, 52-56.
2. Dyomina N. A. (2014), Parametric models for research of contact interaction of stamp rigging elements. *Journal of mechanical engineering*, V. 17, No. 4, 31-35.

3. Dyomina N. A. (2011), Perfection of calculation methods for stamp rigging elements on the basis of analysis of their stress-strain state: Author. diss candidate of techn. sciences: spec. 05.03.05, Kharkov, 20.
4. Zayarnenko E. I. (1992), Development of mathematical models and calculations of strength dividing readjusted stamps: Diss. Doctor. techn. sciences, Kharkov, 280.
5. Romanov V. P. (1979), Handbook of cold forming. L.: Engineering, 520.
6. Movshovich I. J., Zayarnenko E. I., Dolgov V. A. (1975), Study of shear strength at stamping sheet metal. Technology and organization of production, No. 2, 28-30.
7. Gnuchiy Y. B., Smirnyagin V. M. (1986), Analysis of the results of numerical simulation of cutting-punching. Bulletin of Kiev. Polytechnic. Institute. - K.: Engineering, No. 236 12-22.
8. Artukhov V. P., Savchenko V. I. (1970), The study of stress distribution in elements of cutting dies photoelasticity method. Forging and stamping production, No. 11, 24-26.
9. Yelistratov V. I. (1973), The study of normal stresses at the ends of carbide punches when cutting-punching. Forging and Stamping Production, No. 8, 21-24.
10. Lvov G. I., Tkachuk N. A. (1997), Modeling and analysis of elements of technological systems of sheet metal forming // Mechanics and mechanical engineering, No. 1, 34-39.

Pankratov A., Romanova T., Kovalenko A. A balanced layout problem of cylinders in a cylindrical container of the minimal radius60–66

We study a balanced layout problem of a collection of homogeneous circular cylinders onto the given bearing plates of a cylindrical container of minimal radius taking into account behavior constraints. We consider a reduced model of a spacecraft as the mechanical system. The latter is formed by means of a cylindrical container with placed objects (technical equipment) onto the given bearing plates. Behavior constraints include dynamic equilibrium, moments of inertia, stability constraints. A mathematical model of the problem is constructed in the form of nonlinear programming problem, using phi-functions. We develop the efficient algorithm, involving the multistart method, an algorithm for constructing a set of feasible starting points and IPOPT to solve nonlinear programming problems. In order to simplify a nontrivial procedure of searching for a feasible starting point we apply a special algorithm, which is based on homothetic transformations of circles. The proposed solution method allows us: to search for local optimal solutions for the balanced layout problem of cylinders in a cylindrical container of the minimal radius, improve a convergence of the local optimization and reduce the computational time. We present a number of known benchmark instances to demonstrate the high efficiency of our approach.

Keywords: balanced layout, cylinders, behavior constraints, mathematical modeling, nonlinear programming.

Рассматривается задача равновесной компоновки однородных круговых цилиндров на стеллажах цилиндрического контейнера минимального радиуса с учетом ограничений поведения механической системы. Под механической системой понимается упрощенная модель космического аппарата, которая представляет собой контейнер (корпус космического аппарата) с опорными стеллажами (bearing plates) и размещенными на стеллажах объектами (оборудование). Ограничения поведения (behavior constraints) включают в себя ограничения на положение центра масс и значения осевых и центробежных моментов инерции механической системы. Строится математическая модель равновесной компоновки цилиндрических объектов в виде задачи нелинейного программирования с использованием phi-функций. Разработан алгоритм решения задачи, основанный на применении метода мультистарта, алгоритма построения допустимых стартовых точек и IPOPT для решения задач нелинейного программирования. Для упрощения нетривиальной процедуры поиска стартовой точки из области допустимых решений используется метод, основанный на решении вспомогательных задач нелинейного программирования с применением гомотетических преобразований кругов. Предложенный подход позволяет получать локально-оптимальные решения для задачи равновесной компоновки цилиндров в цилиндрическом контейнере минимального радиуса, улучшить сходимость процедуры локальной оптимизации и сократить время решения. Приводятся результаты вычислительных экспериментов для известных тестовых примеров (benchmark instances), демонстрирующие эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: равновесная компоновка, цилиндры, ограничения поведения, математическое моделирование, нелинейное программирование.

References

1. G. Fasano, J. D. Pinter (2012) Modeling and Optimization in Space Engineering. Series: Springer Optimization and Its Applications // Problems and Applications. Publisher Springer New York. – New York. – V. 73, 404 p. – Online ISBN 978-1-4614-4469-5, Print ISBN 978-1-4614-4468-8.

2. C. Che, Y. Wang, H. Teng (2008) Test problems for quasi-satellite packing: cylinders packing with behavior constraints and all the optimal solutions known/ [Electronic resource] / URL: http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2008/09/2093.html.
3. Z. Sun, H. Teng (2003) Optimal layout design of a satellite module // Eng. optimization. – V. 35, №5, 513-530.
4. K. Lei (2009) Constrained Layout Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimizer // Advances in Computation and Intelligence. Series: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – №1, 434-442.
5. Yu. Stoyan, T. Romanova (2013) Mathematical Models of Placement Optimization: Two- and Three-Dimensional Problems and Applications // Modeling and optimization in space engineering. Series: Springer optimization and its applications. – V. 73, 363-388.
6. Y. Stoyan, G. Yaskov (2012) Packing congruent hyperspheres into a hypersphere// Journal of Global Optimization, V.52(4), 855–868.
7. A. Wachter, L. T. Biegler (2006) On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming// Math. Programming. – V. 106, №1, 25-57.

Non-traditional Power Engineering

Fileiko V. V. On the determination of the actual solar energy resources.67–72

PV-farm simulation results in software package RETScreen and PVSYSYТ for conditions of the plain part of Ukraine are posted. The simulation results with the estimated model and the results of the operation of a real station were compared. The estimated model is built based on the direct and diffuse solar radiation. Imposed approaches to determining the potential of solar energy and photovoltaic panels classification based on the identification of three generations of photovoltaic cells. The technological scheme of laboratory research stand fixing the parameters of the photoelectric: current voltage and power electric current running time of the day and the total energy production was described. Provided recommendations for areas application software systems. RETScreen 4.0 can be successfully used in the early stages of decision-making, but gives high accuracy of seasonal changes in solar insolation.

Key words: renewable energy recourses, potential, photoelectric cells, inclination

Даны результаты моделирования фотоэлектростанций в программных комплексах RETScreen и PVSYSYТ для условий равнинной части Украины. Проведено сравнение результатов моделирования с расчётной моделью и результатами функционирования реальной станции. Расчётная модель построена с учетом прямой и рассеянной солнечной радиации. Выявлены закономерности и выдвинуты предположения по особенностям их возникновения. Представлены подходы к определению потенциала солнечной энергетики и классификация фотоэлектрических панелей на основе выделения трёх поколений фотоэлектрических преобразователей. Описано технологическую схему лабораторно-исследовательского стенда, фиксирующего параметры работы фотоэлектростанции: текущее напряжение и мощность электрического тока, продолжительность работы системы, дневную и суммарную выработку энергии. Представлены рекомендации по сферам применения программных комплексов. RETScreen 4.0 может быть успешно использован на начальных этапах подготовки к принятию решений, но дает высокую погрешность сезонных изменений солнечной инсоляции.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, потенциал, фотоэлектрический преобразователь, угол наклона.

References

1. Surface meteorology and Solar Energy [electronic resource] – <https://eosweb.larc.nasa.gov>.
2. Velichko S (2006). Natural resource support hybrid solar-wind energy systems (flat within the territory of Ukraine), PhD Thesis: 300С.
3. Lipinski V., Dyachuk V.(2003) Climate of Ukraine – 344 с.
4. Climatology Resource for Agroclimatology Daily Averaged Data (Evaluation Version), <http://power.larc.nasa.gov>.
5. 5. Andreev V et al. (2014) Resource Flows: Proceedings of the international forum: Ways to improve the energy and economic efficiency REENFOR-2014, Improving the energy efficiency of concentrator photovoltaic modules for solar: 57-62.

Ecological Aspects in Mechanical Engineering

Pilipenko S. O. Review of research on using hydrogen fuel in an ecologically pure internal combustion engine 73–78

Presents the analysis of dynamics of development the world energy market, taking into account population growth. Analysis of consumption of fossil fuels for the previous years with the approximate relationship reserve stocks of coal, natural gas, oil. Analyzed the environmental component, relating to the influence of vehicle emissions in the urban environment on human health. Present the comparative analysis of emissions of atmospheric pollutants during combustion of hydrocarbon fuels vehicles with emissions from the combustion of alternative fuels. Represented by the cost of fuel for road transport and their connection with the equivalent carbon dioxide emissions in several types of fuel. The most promising alternative fuels derived from other resources other than oil. Analyzed the percentage of the potential use of alternative fuels for vehicles. The methods of hydrogen storage. By exploring a number of factors demonstrated that hydrogen - the most promising source of energy. Presents the urgency for today transfer of internal combustion engines on hydrogen or gasoline - hydrogen composite fuel. Demonstrated that the ultimate goal of hydrogen technology envisages the displacement of fossil fuel filling station market, which is the best way to ensure the speedy introduction of environmentally friendly energy.

Keywords: hydrogen, global energy consumption, alternative fuels, the valuation of CO₂ emissions vehicles, the consumption of fossil fuel.

Представлен анализ динамики развития мирового энергетического рынка с учётом роста численности населения. Рассмотрено потребление ископаемых топлив за предыдущие годы с приближёнными соотношениями резервных запасов угля, природного газа, нефти. Проанализирована экологическая составляющая, связанная с влиянием выбросов автотранспорта в городской среде на здоровье людей. Проведен сопоставительный анализ выбросов веществ, загрязняющих атмосферу, при сгорании углеводородных топлив транспортных средств с выбросами от сгорания альтернативных видов топлив. Представлены затраты на топлива для автомобильного транспорта и их связь с эквивалентным выбросом диоксида углерода в нескольких видах топлива. Рассмотрены наиболее перспективные альтернативные виды топлива, являющиеся производными от других ресурсов, отличных от нефти. Проанализирован процент потенциально применяемых альтернативных видов топлива на автотранспорте. Рассмотрены методы хранения водорода. Путём исследования целого ряда факторов продемонстрировано, что водород — наиболее перспективный источник энергии. Представлена актуальность на сегодняшний день перевода двигателей внутреннего сгорания на водородное или бензино — водородное композиционное топливо. Продемонстрировано, что конечная цель водородной технологии предусматривает вытеснение ископаемых видов топлива с автозаправочного рынка, что является наилучшим путём для обеспечения скорейшего внедрения экологически чистого энергоносителя.

Ключевые слова: водород, мировое энергопотребление, альтернативные виды топлива, нормирования выбросов CO₂ автотранспортом, потребление ископаемого вида топлива

References

1. 19502050 Population Division United States Census Bureau International Database. World population: 1950-2050. <http://www.census.gov/ipc/www/idb/worldpopgraph.php>
2. British Petroleum (June 2009). "BP statistical review of world energy". BP Annual Review.
3. Adeeb, Z. (2004). "Glycerol delignification of poplar wood chips in aqueous medium". Energy Educ Sci Technol 13 : 81 — 88.
4. Fulton, L. "Transport, Energy and CO₂ : Moving Toward Sustainability" (9 October, 2009). 3rd INTERNATIONAL TAXI FORUM : 25.
5. McCubbin, D. R. and M. A. Delucchi. (1999). "The Health Costs of Motor-Vehicle-Related Air Pollution". Journal of Transport Economics and Policy 33(3) : 253 — 286.
6. Regulation (EC) №443/2009 of the European Parliament and of the Council setting emission performance standards for new passenger cars as part of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles (23 April 2009) : 15.
7. Nanthagopal, K., R. Subbarao, T. Elango, P. Baskar and K. Annamalai (2011). "Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas-A Futuristic Fuel for Internal Combustion Engines". Thermal Science 15 (4) : 1145 — 115.

8. Navarro, E. , T. J. Leo and R. Corral (2013). "CO₂ emissions from a spark ignition engine operating on natural gas-hydrogen blends (HCNG)". Appl. Energy 101 : 112 – 120.
9. Hinds, H. R. (1982)."Hydrogen energy news and views" Int. Journal of Hydrogen Energy 7 : 205 — 209.
10. Taube, M. and P. Taube (1980). "Liquid organic carrier of hydrogen as a fuel for automobiles". Proc. 3rd World Hydrogen Energy Conf. Tokyo, Japan (June) 2 : 23 —26.
11. Chumakov, V.(2006). "Turn on the hydrogen ".Around the World 7(2790) : 74 — 80.
12. Bolbas, N. (2005). "Hydrogen on transport" Engine 2 : 38.
13. Tarasov, B.P., M. V. Lototskii and V.A. Yartys (2006). "The problem of hydrogen storage and prospects for the use of hydrides for hydrogen storage". Russian chemical Journal 6 (50) : 34 — 49.
14. Kanilo, P.M. and K. V. Kostenko (2008). "Prospects of formation of hydrogen energy and transport". Automobile transport 23 : 107 — 113.
15. Korovin, N. V. (1998). " General Chemistry": Textbook. Moscow, Higher School : 559.

Оригинал-макет подготовлен в редакции журнала «Проблемы машиностроения»
Компьютерная верстка *А. О. Костиков*
Редактор *Н. В. Сивцова*

Подп. в печ. 15.03.15. Формат 60×84 1/8. Гарнитура «Таймс».
Бум. офс. Усл. п. л. 11,2. Тираж 300 экз.
Цена договорная. Заказ № 22-15

Издание подготовлено к печати и отпечатано
в типографии ЧП «Технологический Центр»
Украина, 61045, г. Харьков, ул. Шатилова Дача, 4
Тел. (057)750-89-90
Свидетельство: ДК № 4452 от 10.12.2012