

Parafeynik V.P., Shcherbakov N.S., Ryabov A.A., Shevchuk V.V., Raznoshynskyy V.N., Ter-tyshnyi I.N., Prilipko S.A. Selection of System Characteristic of Turbo-Compressor Package Based on Efficiency Analysis according to Full-Scale Test Results. P. II. Methodological Approach to Design Modular Turbo-Compressor Packages for CS of Gas Industry6–11

This work deals with test benches features and analysis procedure of operating process efficiency for different systems of turbo-compressor packages of GPA-C type manufactured by Sumy NPO PJSC. The design of back-to-back test rig for full-scale test of centrifugal compressor with high pressure (1,2...12,0 MPa), GTE with power 4,0...25,0 MW and packages as a whole under conditions close to operating conditions at CS of gas and oil industry is presented. The construction diagram and equipment configuration of gas bench of Motor Sich JSC to test turbines D-336 as well as AI-336 on gaseous fuel are considered. The bench permits to perform experimental works not only to run a curve but to research air intake duct geometry effect on pressure field non-uniformity at GTE inlet when being a part of bench. The programs, methodical specifics of full-scale test of gas turbine D-336-1 with power 6,3 MW, centrifugal compressor NCV-6,3/56-1,45 and other systems are described. The analytical dependences to process test results of turbine and gas centrifugal compressor performed under conditions close to operating ones are presented providing the possibility to obtain the package system characteristics based on experimental data as well as verification of this characteristics obtained by calculation at pre-development researches stage.

Keywords: back-to-back test rig, turbo-compressor package, centrifugal compressor, gas turbine engine, compressor polytropic efficiency, turbine effective efficiency.

Работа посвящена рассмотрению особенностей конструкции стендов и методики анализа эффективности рабочего процесса различных систем турбокомпрессорных агрегатов типа ГПА-Ц конструкции ПАО «Сумское НПО». Представлена конструкция стенда замкнутого контура для натурных испытаний центробежных компрессоров высокого давления (1,2...12,0 МПа), ГТД мощностью 4,0...25,0 МВт и агрегатов в целом в условиях максимально приближенных к условиям эксплуатации на компрессорных станциях газовой и нефтяной промышленности. Рассмотрена конструктивная схема и состав оборудования газового стенда ПАО «Мотор-Сич» для испытаний двигателей типа Д-336, а также АИ-336 на газообразном топливе. Стенд позволяет проводить экспериментальные работы не только со снятием характеристик двигателя, но исследовать влияние геометрии воздухоприемного тракта двигателя на неравномерность поля давлений на входе в ГТД при его работе в составе стенда. Описаны программа, методические особенности натурных испытаний газотурбинного двигателя Д-336-1 мощностью 6,3 МВт, центробежного компрессора НЦВ-6,3/56-1,45 и других систем агрегата. Представлены аналитические зависимости для обработки результатов испытаний двигателя и газового центробежного компрессора, выполненных в условиях близких к эксплуатационным, что обеспечивает возможность получения на основе экспериментальных данных системной характеристики агрегата, а также верификацию этой характеристики, полученной расчетным путем на стадии предпроектных исследований.

Ключевые слова: стенд замкнутого контура, турбокомпрессорный агрегат, центробежный компрессор, газотурбинный двигатель, политропный КПД компрессора, эффективный КПД двигателя.

References

1. Apanasenko, A.I., Krivshich, N.G., Fedorenko, N.D.: Mounting, Testing and Operation of Modular Turbo-Compressor Packages. L: Nedra, 361 (1991).
2. Parafeynik, V.P. Scientific Basis of Development of Turbo-Compressor Units with Gas Turbine. Abstract of Doctor Thesis in Engineering Science Spec. 05.05.16 . Kharkov. 41 (2009).
3. Apanasenko, A.I., Parafeynik, V.P., Khoroshchenko, A.M., Rukhlov, Yu.L., Barnev, S.V. Testing Benches for Turbo-Compressor Packages of GPA-C type. Chemical and Oil Machine Building. 1985 (6): 27-28.
4. Centrifugal Compressor. Program and Procedure of Acceptance Tests with Recording Gas Dynamic Characteristics. 177.0000.000-06 PM. Sumy Frunze NPO – VNIgaz. 17 (2003).
5. API STANDARD 617. Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors. Eighth Edition, 386 (2014).
6. Solokhin, E.L. Testing of Turbojet Engines. M: Machine Building. 356 (1975).
7. Povkh, I.L. Aeronautical Experiment in Machine Building. M. Machine Building, 480 (1974).

Babayev A. I. Analysis of modern designs combined stop-control valves of steam turbines 19–24

The article presents an analysis of modern designs combined stop-control valves for power steam turbines. Comparative analysis allowed us to determine the main advantages and disadvantages of the design developed turbine-building companies of Power Machines, ENTEK, Turboatom, ABB, Alstom. In conclusion, it noted that the use of combined designs of stop-control valve is a promising direction in both the design of new turbines, and operated under the modernization. The analyzed designs of valves have high levels of efficiency and reliability. However, analysis of the experience of their operation indicates the presence of a number of problems, the solution of which will give further opportunity to fully realize their potential.

Keywords: control valve, steam distribution, steam turbine.

В статье представлен анализ конструкций современных комбинированных стопорно-регулирующих клапанов для мощных паротурбинных установок. Сравнительный анализ позволил определить основные достоинства и недостатки конструкций, разработанных турбостроительными фирмами «Силовые машины», ЭНТЭК, «Турбоатом», ABB, Alstom. В заключение отмечается, что применение комбинированных конструкций стопорно-регулирующих клапанов является перспективным направлением как при проектировании новых турбоустановок, так и при модернизации эксплуатируемых. Рассмотренные конструкции стопорно-регулирующих клапанов имеют высокие показатели экономичности и надежности. Однако анализ опыта их эксплуатации говорит о наличии ряда проблем, дальнейшее решение которых даст возможность в полной мере реализовать их потенциал.

Ключевые слова: регулирующий клапан, парораспределение, паровая турбина.

References

1. Zarjankin, A. E. and B. P. Simonov. (2005) Regulirujushhie i stoporno-regulirujushhie klapanы parovyh turbin [Control and stop-control valves of steam turbines]. MEI, Moscow, Russia.
2. Kondrashev, A. V. (2014) "Issledovanie i razrabotka drossel'no-regulirujushhих klapanov i povorotnyh zaslonok dlja perspektivnyh turbin TES I AES" [Investigation and development of throttle-control valves and butterfly valves for the prospective turbines of thermal power plants and nuclear power plants], Ph. D. Thesis, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russia.
3. Zarjankin, A.E., Paramonov, A.N., Lysjanskij, A.V. and Kondrashev, A.V. (2014) "Rezultaty jeksperimental'nyh issledovanij modeli bloka klapanov parovyh turbin LMZ moshhnost'ju 300-800 MW" [The results of experimental investigation of model steam turbines LMZ valve unit capacity of 300-800 MW]. Tjzheloe mashinostroeni, no.7, pp. 2–8.
4. Kosjak, J. F. (ed.) (1978) Paroturbinnye ustanovki atomnyh jelektrostantsij [Steam-turbine plants of nuclear power station]. Jenergija, Moscow, USSR.
5. Busiok, M. S., Rozhanskij, V. E., Zinchenko, V. S., Borodaj, V. G. and Nemirov, V. S., Kharkov Turbo-Generator Plant. (1977), Kombinirovannyj stoporno-regulirujushhij organ dlja parovyh turbin [Combined stop-control valve for steam turbines], Kharkov, USSR, Pat. 638739.
6. Seregin, V. A., Zarjankin, A.E. and Pogorelov S.I., (1982) "Nekotorye harakteristiki regulirujushhих klapanov, rabotajushhих na peregretom i vlazhnom pare" [Some characteristics of the control valves, working on the superheated and wet steam]. Teplojenergetika, no. 10, pp. 66–68.
7. Savvin, V. P (1984) Parovaja turbina K-500-240 KTGP [Steam turbine K-500-240 of Kharkov Turbo-Generator Plant]. Jenergoatomizdat, Moscow, USSR.
8. Korotkov V. V. (2003) "Issledovanie i razrabotka stoporno-regulirujushhих klapanov, obladajushhих povyshennoj nadezhnost'ju i nizkim ajerodinamicheskim soprotivleniem" [Investigation and development of the stop-control valves with increased reliability and low aerodynamic resistance], Ph. D. Thesis, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russia.
9. Zarjankin, A.E., Arianov, S.V., Zarjankin, V.A. and Sidorova, E.K., Turbozar company. (2007) Stoporno-regulirujushhij klapan [Stop-control valve], Moskow, Russia, Pat. 2342578.

Andreeva O. L., Kostikov A. O., Tkachenko V. I. Analytical solution and neutral curves of the stationary linear Rayleigh problem with rigid and mixed boundary conditions in cylindrical geometry25–35

An analytical solution for the convective cells in a cylindrical geometry with rigid borders for the stationary linear Rayleigh problem is received. For a special case there were obtained expressions of distribution for perturbed velocity and temperature in cylindrical system coordinate with rigid boundaries. Selected results can be useful in solving the problem of stationary Rayleigh solid boundaries in the rectangular coordinate system. This distributions were compared to similar property for free convective cell for the main mode. In order to construct the neutral curves let's use the solutions invariance with respect to the scale-shift transformation of the problem's parameters. The term "invariance with respect to the scale-shift transformation" responds to the immutability of the solutions. On the basis of the analytical solutions analytical expressions are built for the neutral curves in the case of rigid or mixed boundary conditions. It is shown that those neutral curves correspond with sufficient precision to the ones numerically calculated by other authors.

Key words: stationary linear of Rayleigh problem, cylindrical geometry, rigid or mixed boundary conditions, analytic solution, neutral curves.

Получено аналитическое решение стационарной линейной задачи Рэлея для конвективной ячейки в цилиндрической геометрии с твердыми граничными условиями. На его основе построены аналитические выражения для нейтральных кривых в случае твердых и смешанных граничных условий. Показано, что нейтральные кривые с достаточной степенью точности соответствуют численным расчетам, полученным другими авторами.

Ключевые слова: стационарная линейная задача Рэлея, цилиндрическая геометрия, твердые или смешанные граничные условия, аналитическое решение, нейтральные кривые.

References

1. Chandrasekhar, S. Hydrodynamic and hydromagnetic stability. 657 (1970).
2. Nekludov, I.M., Bortz, B.V., Tkachenko, V.I. (2012) Описание Lengmurovskih cirkulyaciy uporядochennim naborom konvektivnih kubicheskikh yacheek. Prikladnaya gidromekhanika.14(86).- № 2: 29–40.
3. Shchuka, A.A. (2012) Nанoelektronika. M.: Binom. Laboratoriya znaniy. : 342.
4. Sazhin, B.S., Reutskiy, V.A. (1990) Sushka i promivka tekstilnih materialov: teoriya i raschet processov. M.: Legpromizdat. : 224.
5. Muller, G. (1991) Virashchivanie kristalov iz rasplava. M.: Mir. : 143.
6. Rykalin, N.N., Uglov, A.A., Kokora, A.N.(1975) Lazernaya obrabotka materialov. M.: Mashinostroenoie. : 296.
7. Gershuny, G.Z., Zhuhovickiy, E.M. (1972) Convective stability of incompressible fluid. Moscow: Nauka. : 393.
8. Strutt, J. W. (Lord Rayleigh) (1916) On convection currents in a horizontal layer of fluid when the higher temperature is on the under side. Phil. Mag. 32 : 529 - 546.
9. Bozbiei, L., Borts, B., Kazarinov, Y., Kostikov, A., Tkachenko, V. (2015) Experimental Study of Liquid Movement in Free Elementary . Convective Sells Energetika. 61(2) : 45 - 56.
10. Patochkina, O.L., Borts, B.V., Tkachenko, V.I. (2015) Elementary Convection Cell in the Horizontal Layer of Viscous Incompressible Liquid with Rigid and Mixed Boundary Conditions. East-European J. of Phys. 2(1): 23 - 31.
11. Bozbey, L. S. (2014) Elementary convective cell in the layer of incompressible, viscous liquid and its physical properties. International conference MSS-14 «Mode conversion, coherent structures and turbulence». – Space Research Institute, Moscow. :322–328.

Tsakanyan O. S., Goloshchapov V. N., Koshel S. V., Ganzha N. G. The definition of the heat losses from sections of main heat pipes, the method of Etalon25–35

Currently, thousands of kilometers of heat pipes operated with worn insulation. A significant part of heat energy is lost to the environment. To measure the magnitude of heat losses on the pipeline very difficult, and the accuracy of measurements using the current methods depends on seasons, temperature and humidity, coolant tempera-

ture, state of heat insulation and other factors. The developed measurement technique and design of the measuring device allows to determine the level of heat loss in any pipe section regardless of the type of thermal insulation. The measuring device is mounted on the tube housing with screens on the inner surfaces and openings top and bottom for sensors measuring temperature and air flow, which determines the heat loss into the environment. The device is pre-calibrated in the laboratory using standard heat capacity in which it is uniformly distributed over the surface, simulating the pipeline. The benchmark is a model of the pipeline section containing the heater and integral temperature sensor. The presence of screens and good insulation of the device allows you to convert all radiant heat energy in the convection. This allows to take into account all heat losses of the pipeline. Changing the diameter of the holes in the end caps of the device, it can be used to measure the heat losses from the pipelines of various diameter.

Key words: heat loss, measurement, standard, tubing.

Разработана методика измерений и конструкция измерительного прибора для определения уровня тепловых потерь на любом участке трубопроводов независимо от типа тепловой изоляции. Прибор представляет собой установленный на трубу корпус с экранами на внутренних поверхностях и отверстиями снизу и сверху для датчиков измерения температуры и расхода воздуха, по которым определяются тепловые потери в окружающую среду. Предварительно прибор тарируется в лабораторных условиях с применением эталона тепловой мощности, в котором она равномерно распределена по поверхности участка, имитирующего трубопровод. Эталон представляет собой модель участка трубопровода, содержащую нагреватель и интегральный датчик температуры. Изменяя диаметр отверстия в торцевых крышках прибора, его можно применять для измерения тепловых потерь трубопроводов различного диаметра.

Ключевые слова: тепловые потери, измерение, эталон, трубопровод.

References

1. SNiP 2.04.14-88. Teplovaja izoljacija oborudovanija i truboprovodov [Thermal insulation of equipment and pipelines]. – М.: CИTP Gosstroja SSSR [TSИTP of USSR Gosstroj], 1989. – 28 s.
2. Bajbakov, S. A., Timoshkin, A. C. Metodiki opredelenija i ocenki fakticheskix poter' cherez izoljaciju v vodjanyh setjah sistem centralizovannogo teplosnabzhenija bez otkljuchenija potrebitelej [Methods of identification and evaluation of actual losses through the insulation of water networks of district heating systems without disconnecting consumers] Novosti teplosnabzhenija [News of heat supply]. 2009. 5, .38 – 44.
3. Isachenko, V. P., Osipova, V. P., Isachenko, V. A., Mukomel, A. S. Teploperedacha [Heat transfer]. М.-Л.: Jenergija, 424 (1965).
4. Gerashhenko, O. A., Fedorov, V. G. Teplovyje i temperaturnye izmerenija. Sprav. Rukovodstvo [Heat and temperature measurement]. Kiev: Nauk. Dumka [Scientific Thought].304 (1965).
5. Osipova, V. A. Jeksperimental'noe issledovanie processov teploobmena [Experimental study of heat transfer processes] М.: Jenergija. 320. (1979).

Dynamics and Strength of Machines

Strelnikova E. A., Syrota I. P., Lynnyk A. V., Kalamat L. A., Zarhina V. N., Zaydenvarg O. L.

Probabilistic estimation of the cracked shaft durability36–43

The paper presents the numerical modeling of the turbine shaft with the extended defect zone. During the inspection of the shaft, there have been discovered numerous cracks disposed in the extended cylindrical domain. The most affected zone is placed near the flange coupling of the shaft with the turbine runner. The analysis of chemical content and mechanical properties of the shaft material was accomplished. The obtained data allow us to obtain the numerical values of the stress intensity factor range, the fatigue crack growth rate. These quantities are used in crack propagation criteria. It was supposed that there will be micro-defects propagated under applied loading. The crack initiation position was analyzed based on the metallographic analysis and the end of the keyway was determined as the crack initiation position of the shaft. The crack propagation was analyzed with the predicted crack initiation position and crack propagation routine. The modified Paris equation was used for setting the dependency between crack growth rate and stress intensity factor range. For stress intensity factor the semi-analytical expression was in use. Using the Paris equation we find the time before cracked shaft failure for each crack with prescribed initial position. The method is proposed to estimate the probabilistic average of time before failure of the cracked turbine shaft. The time failure was estimated necessary for crack hitting unto

the defect zone that lead to the shaft failure. In order to avoid important damages, the obtained results are of highest interest because they give the possibility to establish the correct interval between the current inspections.

Keywords: durability, hydroturbine shaft, crack, expected value, expected value.

Предложена методика определения математического ожидания количества лет до разрушения вала гидротурбины, имеющего дефектную зону. Предполагается, что вблизи поверхности вала могут находиться микродефекты, которые распространяются под действием приложенной нагрузки. Оценивается время (в годах), необходимое для того, чтобы микротрещины развилась до попадания в дефектную зону.

Ключевые слова: долговечность, вал гидротурбины, трещина, математическое ожидание.

References

1. Dimarogonas, A. D., Papadopoulos, C. A., 1983, Vibration of Cracked Shafts in Bending, *J. Sound Vib.*, 91, pp. 583–593.
2. Sinou, J. J., 2009, Experimental Response and Vibrational Characteristics of a Slotted Rotor, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 14, pp. 3179–3194.
3. Gasch, R. A., 1976, Dynamic Behavior of a Simple Rotor With a Cross-Sectional Crack, *Proceedings of IMechE Conference on Vibrations in Rotating Machinery, London, 20 Paper No. C178/76*, pp. 123–128.
4. Grabowski, B., 1980, The Vibrational Behavior of a Turbine Rotor Containing a Transverse Crack, *ASME J. Mech. Des.*, 102, pp. 140–146.
5. Bently, D. E., and Muszynska A., 1986, Detection of Rotor Cracks, *Proceedings of 15th Turbomachinery Symposium, Corpus Christi, TX, November 10–13*, pp. 129–139.
6. Mayes, I. W., and Davies, W. G. R., 1984, Analysis of the Response of a Multi-Rotor-Bearing System Containing a Transverse Crack in a Rotor, *ASME J. Vib., Acoust., Stress, Reliab. Des.*, 106, pp. 139–145.
7. Darpe, A. K., Gupta, K., and Chawla, A., 2004, Coupled Bending, Longitudinal and Torsional Vibrations of a Cracked Rotor, *J. Sound Vib.*, 269, pp. 33–60.
8. Darpe, A. K., 2007, Coupled Vibrations of a Rotor With Slant Crack, *J. Sound Vib.*, 305, pp. 172–193.
9. Bachschmid, N., Pennacchi, P., and Tanzi, E., 2008, Some Remarks on Breathing Mechanism, on Non-Linear Effects and on Slant and Helicoidal Cracks, *Mech. Syst. Signal Process.*, 22, pp. 879–904.
10. Sawicki, J. T., Storozhev, D. L., and Lekki, J. D., 2011, Exploration of NDE Properties of AMB Supported Rotors for Structural Damage Detection, *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 133, p. 102501.
11. Kantor B., Naumenko V. Strelnikova H., Ventsel E., 1999, The hypersingular integral technique in two-dimensional elasto-plastic analysis *WIT Transactions on Modelling and Simulation*, 25, pp. 65-74
12. Sawicki, J. T., Wu, X., Baaklini, G., and Gyekenyesi, A. L., 2003, Vibration Based Crack Diagnosis in Rotating Shafts During Acceleration Through Resonance, *Proceedings of SPIE 5046, Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aerospace Materials and Composites II, 2006, San Diego, CA*
13. Sawicki, J. T., Friswell, M. I., Pesch, A. H., and Wroblewski, A., 2008, Condition Monitoring of Rotor Using Active Magnetic Actuator, *Proceedings of ASME Turbo Expo 2008: Power for Land, Sea and Air, Berlin, Germany, June 9–13, ASME Paper No. GT2008-51169*.
14. Sawicki, J. T., Friswell, M. I., Kulesza, Z., Wroblewski, A., and Lekki, J. D., 2011, Detecting Cracked Rotors Using Auxiliary Harmonic Excitation, *J. Sound Vib.*, 330, pp. 1365–1381.
15. Arsić M., Vistić B., Savić Z., Odanović Z., Mladenović M., 2011, Turbine Shaft Failure Cause Analysis, *Proceedings, The Seventh International Triennial Conference Heavy Machinery - HM 2011, June 29 - July 2, Vrnjačka Banja*, pp. 49-54.
16. Panasyuk V.V., Andreykiv, O.Ye., Kovchyk S.E. Evaluation methods of fracture toughness of structural materials. – Kiev: Nauk. Dumka, 1971.– 278 p. (in Russian).
17. Andreykiv, O.Ye., Darchuk A.I. Fatigue failure and durability of structures. Kiev: Nauk. Dumka, 1987.– 404p. (in Russian).
18. Kogaev V.P. Strength calculation at stresses variable in time. – M.: Engineering, 1993. – 364p. (in Russian).
19. Lessenden, S.J., Pissot, S.P. Tretheway, M.V., Naynaed K.P. Torsion response of cracked steel shaft// *Fatigue fract. Eng. Mater. Struct.* 2006, v. 30, PP. 734-747..
20. Paris P., Erdogan F. Criteria of fatigue crack propagation., 1963, *J. Basic Engineering*, 85, pp. 528-533.
21. Dimarogonas, A.D., Papadopoulos, C.A., 1983, Vibration of cracked shafts in bending. *Journal of solid and vibrations* 91(4), PP. 583-593.
22. Miodrag Arsić, Srđan Bošnjak, Bojan Međo, Meri Burzić, Brane Vistić, Zoran Savić. 2013, Influence of loading regimes and operational environment in fatigue state of components of turbine and hydromechani-

- cal equipment at hydropower plants//Internet Edition, International Conference Power Plants 2012 - International Conference on Power aspects of power plants operation.
23. Pugachev V. Basic probability theory and mathematical statistics. M.: PhysMathLit, 2002, 496 p. (in Russian).
 24. TU302.02.173-93 Billets shafts for hydraulic turbines. Kh.: PO "Kharkov Turbine plant" 1992 – 27 p. (in Russian).
 25. GOST 1778-70. Metallographic methods for determination of non-metallic inclusions.– M.: Standards Publishing. 1970. – 24 p. (in Russian).
 26. GOST 5639-82. Methods for detection and evaluation of grain size. – M.: Standards Publishing. 1983. – 21p. (in Russian).

Gnitko V. I., Polishchuk O. F., Cherkasskiy A. Y., Illicheva N. A., Artemova S. V., Kononenko Y. S. Stress-strain state research of fastener in hydraulic turbine flanged connections.....43–50

The technique for numerical analysis of the stress-strain state of the main massive load-bearing fastening the hydraulic turbine equipment with Kaplan runner under static and dynamic loading is developed. The flanged connection operation modeling is reduced to formulation of the contact problem of the bolt–flanges interaction. The finite-element program modules to estimate static and forced vibrations are constructed. The numerical investigations of the static and dynamic stress-strain state of the load-bearing bolted connections for hydraulic turbine ПЛ40–В–700: turbine shaft – runner, turbine shaft – generator shaft, blade – runner have been performed. The tests for cycle fatigue of cylindrical test-pieces of steel grade 25Х1МФ used for manufacture of fasteners are accomplished in the modes of tension–compression and symmetric bending. The fatigue curves for strain-compression and bending of the test-pieces made of steel grade 25Х1МФ are obtained. At the fatigue test in tension-compression mode the number of cycles to failure of the sample is less significant compared with the test on a flat symmetrical bending under the same stresses.

Keywords: flange connection, prestressed, static and dynamic loading, finite element method.

Разработана методика численного анализа напряженно-деформированного состояния основного крупного силового крепления гидротурбинного оборудования с поворотной лопастью при статическом и динамическом нагружении. Моделирование работы фланцевого соединения сведено к формулированию контактной задачи о взаимодействии болта с фланцами. Построены модули программ для конечноэлементного расчета статики и вынужденных колебаний. Выполнены численные исследования статического и динамического напряженно-деформированного состояния силовых болтовых соединений гидротурбины ПЛ40–В–700: вал турбины – рабочее колесо, вал турбины – вал генератора, лопасть – рабочее колесо. Проведены испытания на циклическую усталость цилиндрических образцов в режиме растяжения-сжатия и симметричного изгиба из стали марки 25Х1МФ, используемой для изготовления крепежных деталей. Получены кривые усталости на растяжение-сжатие и изгиб образцов из стали марки 25Х1МФ. Установлено, что при испытаниях на усталость в режиме растяжения-сжатия число циклов до разрушения образца на порядок меньше, чем при испытаниях на плоский симметричный изгиб для одинаковых напряжений.

Ключевые слова: фланцевое соединение, предварительное затягивание, статическая и динамическая нагрузка, метод конечных элементов.

References

1. STO RusGidro 02.03.107-2013. (2013) Hidroehlektrostantsii. Nerazrushayushchij kontrol' krepezhnyh ehlementov otvetstvennyh uzlov gidroagregatov. Metodicheskie ukazaniya: 53.
2. GOST 20700-75 (ST SEHV 1066-78).(2001) Bolty, shpil'ki, gajki i shajby dlya flancevyh i ankernykh soedinenij, probki i xomuty s temperaturaj sredy ot 0 do 650⁰S. Tekhnicheskie usloviya. IPK Izdatel'stvo standartov: 23.
3. Birger I.A. (1979) Raschet na prochnost' detalej mashin. Spravochnik. Mashinostroenie: 702.
4. Birger I.A. (1973) Rez'bovyeh soedineniya. Mashinostroenie: 256.
5. Kovalev N.N. (1961) Gidroturbiny. Konstrukcii i voprosy proektirovaniya: Gos. nauch.-tekhn. izd-vo mashinostroitel'noj literatury: 615.
6. Iosilevich G.B. (1985) Zatyazhka i stoporenie rez'bovyh soedinenij: Spravochnik. Mashinostroenie: 224.
7. GOST 25.502-79. (1980) Raschety i ispytaniya na prochnost' v mashinostroenii. Metody mekhanicheskikh ispytaniy metallov. Metody ispytaniy na ustalost'. Izdatel'stvo standartov: 32.
8. SHkol'nik L.M. (1978) Metodika ustalostnyh ispytaniy: Spravochnik. Metallurgiya: 304.

Litvinova Yu. S., Maksymenko-Sheiko K. V., Sheiko T. I., Analytical identification of three-dimensional geometric objects by information about the shape of their cross-sections51–56

In this paper we investigated the possibilities and proposed methods of functional representation of a geometric object in 3D for information on the equation of the boundary sections of the object being restored. The article describes the various methods postreniya geometry equations according to their section. The functional representation of a geometrical object defines it as a unit by one real continuous function of several variables. In 3D on the basis of the theory of R-functions developed by V. L. Rvachev works are devoted to the solution of the inverse problem of analytical geometry. The technique of creation of the equations of the composite geometrical objects described in them is based on operations with the known equations of three-dimensional primitives. At the same time set-theoretic operations are defined in an analytical view with the help of R-functions. However often there is a need of the functional representation of a geometrical object for 3D, being based not on the known equations of three-dimensional primitives, and according to information on the equations of borders of sections of the restored object. Constructed geometric objects using the apparatus of the theory of R-functions and its supporting software. This method of constructing geometric objects is a universal means of modeling and visualization. Analysing method for constructing geometric objects using R-functions, it should be noted that the function is positive inside the body is equal to zero on its surface and it is negative. Using literal parameters significantly expands the design possibilities of the implementation of the simulation geometry. Stored in the computer's memory model allows the researcher using the software three-dimensional interactive computer graphics to manipulate spatial images obtained by varying the value of literal parameters. Construction of mathematical models of geometric objects are their analytic identity, as evidenced by visualization of the derived equations.

Keywords: R-function, spline modeling, visualization, three-dimensional objects.

В данной работе исследованы возможности и предложены методики функционального представления геометрического объекта в 3D по информации об уравнениях границ сечений восстанавливаемого объекта. Построены геометрические объекты с использованием аппарата теории R-функций и поддерживающего его программного продукта. Данный метод построения геометрических объектов является универсальным средством моделирования и визуализации. Использование буквенных параметров существенно расширяет конструктивные возможности реализации моделирования геометрических объектов. Хранящаяся в памяти компьютера модель позволяет исследователю с помощью программных средств интерактивной трехмерной компьютерной графики манипулировать получаемыми пространственными образами, варьируя значения буквенных параметров. Построенные математические модели геометрических объектов являются их аналитической идентификацией, о чем свидетельствует визуализация полученных уравнений.

Ключевые слова: R-функции, сплайн, моделирование, визуализация, трехмерные объекты.

References

1. Rvachev, V. L. Theory of R-functions and some of its applications. Kiev Sciences. Dumka. 552. (1982)
2. Maksimenko-Shejko, K.V. R-function in the mathematical modeling of the geometry and physical fields - Harkov.; Institute of Problems of Mechanical Engineering of the NAS of Ukraine. 306 (2009).
3. Lytvyn, O.M. Interlinatsiya functions and some of its applications . Kharkiv, Base. 544 (2002).
4. Maksimenko-Shejko, K. V., Matsevity, A. M., Tolok, A. V., Shejko, T. I. R-functions and the inverse problem of analytic geometry in three-dimensional space . Inform. technologie. 10, 23-32 (2007).
5. Rvachev, V. L., Tolok, A. V., Uvarov, R. A., Shejko, T. I. New approaches to the construction of three-dimensional equations of the loci using the R-functions. Visn. Zaporiz. University tu. 2, 119 - 130 (2000).
6. Maksimenko-Shejko, K. V. ., Shejko, T. I. R-function in the mathematical modeling of geometric objects in 3D for the information in 2D. News Zaporiz. the University, 98-104 (2010).

Lytvyn O. M., Tomanova I. S. Solving the problem of bending plate finite element method using splines of the 5th degree on the triangular grid51–56

Splines are involved in a large number of physical processes. Using splines for research biharmonic problem is widely used in practice, particularly in the study of the deflection plates. Many exact solutions have been developed for isotropic linear elastic thin plates; most of them can be found in the monographs Tymoshenko (Tymoshenko and Woinowsky-Krieger, 1959). In this paper we propose a scheme for solving biharmonic problem for a rectangular plate in the case of boundary conditions that match the conditions of rigid support plate in the form

of a spline of the 5th degree, which provides an approximate solution of a class affiliation $C^2(G)$. These polynomials are not used previously for the biharmonic equation. The article was considered the application of the formulas for the construction of a polynomial of the fifth degree taken from [1] biharmonic problem. An experiment was conducted that compares the current solution with polynomials, which were obtained by the formulas [1] to the square area. As has been taken exact solutions formula (a) in work [3] on the field $a = b = 1$. The area was divided into two, four, eight triangles. The experiment showed greater than a partition area into triangles, the smaller the error.

Keywords: splines of the 5th degree, biharmonic problem, rectangular plate, uniformly distributed load.

Предложена схема решения бигармонической задачи для прямоугольной пластины в случае граничных условий, которые соответствуют условиям жесткого защемления пластины в виде сплайна 5-го степеня, который обеспечивает принадлежность приближенного решения класса $C^2(G)$. Рассмотрено применение формул для построения полинома пятого степеня бигармонической задачи. Проведен эксперимент, который сравнивает точное решение с полиномами, полученными на квадратной области. Эксперимент показал, чем больше разбиение области на треугольники, тем меньше погрешность.

Ключевые слова: сплайны 5-й степени, бигармоническая задача, прямоугольная пластина, равномерно распределенная нагрузка.

References

1. Sergienko, I. V., Lytvyn, O. N., Lytvyn, O. O. & Denisova, O. I. (2014) Javnye formuly dlja ynterpoljacyonnykh splajnov 5-j stepeny na treuhol'nyke [Explicit formulas for interpolation splines of 5th degree on a triangle]. Cybernetics and Systems Analysis. 5, 17–33
2. Zlamal, M., Zeneseck, A., Kolar, V. & Kratochvil, J. (1971) Matematical aspect of the finite element method. Technical physical and mathematical principles of the finite element method, 15–39.
3. Tymoshenko, S. P. & Woinivsky-Kriger, S. Plastyny y obolocky [Plates and shells]. M.:Nauka. – 635. (1966).
4. Imrak, C.E. & Gerdemeli, I. (2007) The problem of isotropic rectangular plate with four clamped edges . Indian Academy of Sciences SADHANA, 32. 181–186.

Non-traditional Power Engineering

Solovey V. V., Kozak L. R., Shevchenko A. A., Zipunnikov M. M., Robert Campbell, Fred Seamon Hydrogen technology of energy storage making use of wind power potential.....62–68

This article describes the development of the versatile technology that can be used to provide continuous power for a desalination plant using wind energy. There were studied the main principles to realize the electrochemical method of high pressure hydrogen and oxygen generation with the use of variable-valency metals as electrodes. We propose the high reliable and operational safety system to store chemical energy as high pressure hydrogen for later use in the fuel cells. Such hydrogen generation and storage system allows the chemical reaction rate to be controlled by controlling the current intensity and, hence, the consumed power can be controlled. This is especially important when the primary energy source for the electrolysis installation is wind power, which is not constant and is affected by climatic factors. The article provides the recommendations as to application of this versatile technology to generate hydrogen (oxygen) using the changeable wind or sun renewable energy as the primary energy sources. Scientific and technical principles for creation of the energy electrochemical hydrogen accumulators are formed and the ways are proposed to optimize their operation under variable modes, which represent the real conditions of exploitation of energy-technological complexes created on the base of the wind power stations. Cost indexes over of creation and exploitation of the hydrogen generation system are presented depending on the pressure level in an electrolyzer.

Keywords: hydrogen, electrolyzer, gas absorbing electrode, electrochemical cell, current density, wind-hydrogen energy storage system

Описывается разработка универсальных технологий, которые могут быть использованы для обеспечения непрерывной работы опреснительной установки при использовании энергии ветра. Рассмотрены основные принципы реализации электрохимического метода получения водорода и кислорода высокого давления из воды с использованием материалов электродов с переменной валентностью. Предложена

система хранения химической энергии в виде сжатого водорода до высоких давлений с последующим его использованием в топливном элементе. Разработанная система характеризуется повышением надежности и эксплуатационной безопасности. Водород-накопительная система позволяет контролировать для установок потребляемую мощность. Это особенно важно, когда основным источником энергии для электролизной установки служит энергия ветра, которая не является постоянной и зависит от климатических факторов. Даны рекомендации по применению данного способа получения водорода (кислорода) с использованием в качестве первичного источника возобновляемых видов энергии (солнца, ветра), отличающихся непостоянством поступления. Сформированы научно-технические принципы создания электрохимических водородных аккумуляторов энергии и предложены пути оптимизации их работы на переменных режимах, характерных для реальных условий эксплуатации энерготехнологических комплексов на базе ветроэнергетической станции. Приведены стоимостные показатели создания и эксплуатации системы генерации водорода в зависимости от уровня давления в электролизере.

Ключевые слова: водород, электролизер, газопоглощающий электрод, электрохимическая ячейка, плотность тока, ветро-водородная система хранения энергии

References

1. Solovey, V. V., Glazkov, V. A., Pishuk, V. K., Lototsky, M. V. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials, Kiev, 2007, p. 861-865 (in Ukraine).
2. Yakimenko, L. M. (1970). Water Electrolysis. Moscow: 267.
3. Yakimenko, L. M. (1977). The Electrode Materials for Applied Electrochemistry. Moscow: 264.
4. Solovey, V., Ivanovsky, O., Shevchenko, A., Zhiron, O., Makarov, O. The Electrolysis Device for Generation High-pressure Hydrogen and Oxygen. Patent of Ukraine № 90421 МПК51, C25B 1/02; C25B 1/04; C25B 1/12. Made public on April 26, 2010, Bulletin № 8.
5. Solovey, V., Shevchenko, A., Zhiron, O., Makarov, O. Mode of Operation of the Electrolysis Device for Generation High-pressure Hydrogen and Oxygen. Patent of Ukraine № 98705 МПК51, C25B 1/02; C25B 9/04. Made public on June 11, 2012, Bulletin № 11.
6. Solovey, V., Shevchenko, A., Kotenko, A., Makarov, O. 3013. The Device for Generation High-pressure Hydrogen. Patent of Ukraine № 103681 МПК C25B 1/12, C25B 1/03. Made public on November 11, 2013, Bulletin № 21.
7. Matsevity, Y .M., Solovey, V. V., Goloschapov, V .N., Rusanov, A. V. (2011). The Scientific Bases for Creation of the Gas-Turbine Plants Using Thermal-Chemical Compression of an Actuating Medium. Kiev: 252.

Ecological Aspects in Mechanical Engineering

Kanilo P.M and Shubenko A.L. Thermal power engineering. Fuel and ecological issues, and development prospects62–68

The 21st century is challenging thermal power engineering, as a fundamental basis of the global economy, with the historically momentous task of its development with account of the following factors: limited reserves of conventionally exploited non-renewable natural energy carriers, principally, oil and natural gas; extending the consumption of renewable energy carriers with greater efficiency; the need to reduce substantially the technogenic (ecologically hazardous) impact on nature and humans. The present fuel and ecological crisis of global thermal power, including global climate warming, is found to be a man-induced and ecological reality linked to the following factors: the explosive growth of the planet's population and its depredation of NATURE; the ever-increasing level of ineffective utilization of natural resources; the critically hazardous environmental pollution with supertoxic materials; and the degradation, deterioration and destruction of biosphere systems, including the global biota. The fallout of all this is a declining quality of the biota's functioning, including such functions as bio productivity, environment formation and climate stabilization. Therefore, this global crisis can be overcome by changing the vector of global economic development, including economising and greening of all areas of human activity, stabilizing the population size and restoring critical natural ecosphere regulators, and among them, the planet's climate.

Keywords: thermal power engineering, energy carriers, fuel combustion, toxic agents, greenhouse gases, environment, global climate warming.

Отмечается, что в XXI в. перед теплоэнергетикой как фундаментальной базой мировой экономики поставлены исторически важные задачи по ее дальнейшему развитию с учетом конечности запасов традиционно используемых невозобновляемых природных энергоносителей, в первую очередь нефти и природного газа, расширения и более эффективного потребления возобновляемых энергоносителей, а также необходимости существенного снижения техногенной (экологически опасной) нагрузки на природную среду и человека. Обосновывается вывод, что современный топливно-экологический кризис мировой теплоэнергетики, включая глобальное потепление климата, – это антропогенно-экологическая реальность, связанная с резким увеличением роста населения планеты и его потребительски-хищническим отношением к ПРИРОДЕ, существенным повышением уровней неэффективного использования природных ресурсов и предельно опасным загрязнением окружающей среды супертоксиантами, с деградацией, разрушением и уничтожением систем биосферы, включая глобальную биоту, приводящих, соответственно, к снижению качества их функционирования, в том числе биопродуктивности, средообразующих и климатостабилизирующих функций. Поэтому выход из глобального кризиса видится в изменении вектора развития мировой экономики, в том числе экономизации и экологизации всех сфер человеческой деятельности, включая стабилизацию численности населения и восстановление важнейших природных регуляторов экосферы, в том числе – климата планеты.

Ключевые слова: теплоэнергетика, энергоносители, сжигание топлив, токсиканты, парниковые газы, окружающая среда, глобальное потепление климата.

References

1. Seminozhenko, V. P., Kanilo, P. M., Ostapchuk, V. N., Rovenskiy, A. I. *Energia. Ekologia. Budushchee* [Energy. Ecology. The future]. Kharkiv, Prapor Publ., 2003. 464 p.
2. Klimenko, V. V. *Mirovaya energetika i klimat planety v XXI veke v kontekste istoricheskikh tendencii* [World power engineering and the planet's climate in terms of historical trends]. Zh. Ros. Khim. Ob-va im. D.I. Mendeleeva – D.I. Mendeleev J. Russ. Chem. Society. 2008, LII (6), pp. 11–17.
3. Kanilo, P. M., Marchenko, A. P., Parsadanov, I. V. *Teplovaya energetika, DVS i global'noe poteplenie klimata* [Thermal power engineering, ICE and global climate warming]. *Dvigateli vnutrennego zgorania – Internal combustion engines*. Kharkiv, NTU KhPi Press, 2015, 2. pp. 57 – 68.
4. Kanilo, P. M. *Avtotransport. Toplivno-ekologicheskie problemy i perspektivy* [Automotive transport. Fuel and ecological problems and perspectives]. Kharkiv, Kharkiv National Automotive and Road University, 2013. 272 p.
5. Kanilo, P. M. *Global'noe poteplenie klimata. Antropohenno-ekologicheskaya real'nost'* [Global climate warming. Anthropogenic-ecological reality]. Kharkiv, Kharkiv National Automotive and Road University, 2015. 312 p.
6. *BP-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report* [Electronic resource]. Online availability: <http://www.bp.com/statisticalreview>. 12.08.2016.
7. Kanilo, P. M., Solovei, V. V., Kostiuk, V. Ye. *Ugol'no-vodorodnye parogazovye komplekсы s dopolnitelnym proizvodstvom sinteticheskikh topliv* (Coal-and-hydrogen steam-and-gas complexes with additional production of synthetic fuels]. *Probl. Mashinostroenia – Problems in Mechanical Engineering*. 2009, 12 (4). pp. 64–72.
8. Morev, S. Yu. *Klimaticheskie problemy XXI veka* [Climatic challenges of the 21st century]. *Uspekhi sovremennoho yestestvoznania – Advances in Modern Natural Sciences*. 2012, 3. pp. 65 – 68.
9. Losev, K.S. *Paradoksy bor'by s global'nym potepleniem* [Paradoxes of controlling global warming]. *Vestnik RAN – Bulletin of the RAS*. 2009, 79(1). pp. 36 – 40.
10. Matveeva, N. A., Leonov, A. V., Gracheva, M. P. *Gigiena i ekologiya cheloveka* [Man's hygiene and ecology]. Moscow, Akademia Press, 2005. 304 p.