Power Engineering

Tarelin A. A., Annopolska I. Ye. and Lyutikov A. L. Energetic GTE parameters identification at the stage of lapping works 3–8

The need to identify the main controlled parameters (characteristics) of engine, determined in experimental studies, which depend on a large numbers of parameters, uncontrolled during the experiment has caused the need to apply software identification tools that allow to reduce the complexity of these works. The paper presents the result of GT D045 mathematical model adaption to the Optimum software system for optimization and adaptation of parameters and characteristics of power plants, developed in IPMash NAS of Ukraine, allowing to calculate the identification criteria, parameters and characteristics of the studied object using the same equation as in design. The choice of variable and controlled parameters, as well as range of there changes is described. The principles of further improvement of methodology for setting the ranges of change of variable and controlled parameters, based on direct measurements of the material part and the experience of the researcher-developer are given. The results of solving a test identification problem demonstrate the possibility and feasibility using the Optimum system for identification of the mathematical model of GT D045 during its lapping.

***Keywords**: mathematical model, identification, GTE, variable parameters, controlled parameters, objective function.*

Необходимость идентифицировать основные контролируемые параметры (характеристики) двигателя, определяемые в ходе экспериментальных исследований, которые зависят от большого количества параметров, неконтролируемых в ходе эксперимента, определила необходимость применения программных средств идентификации, позволяющих снизить трудоемкость этих работ. В статье представлены результаты адаптации математической модели ГТД Д045 к программному комплексу оптимизации, идентификации параметров и характеристик энергетических установок Optimum, разработанному в ИПМаш НАН Украины, который позволяет вести расчет критериев идентификации, параметров и характеристик исследуемого объекта по тем же уравнениям, что и при проектировании. Описан выбор варьируемых и контролируемых параметров, а также диапазонов их изменений. Приведены принципы дальнейшего совершенствования методологии задания диапазонов изменения варьируемых и контролируемых параметров, основанных на прямых измерениях материальной части и опыте исследователя-разработчика. Результаты решения тестовой задачи идентификации показывают возможность и целесообразность использования системы Optimum для идентификации математической модели ГТД Д045 при его доводке.

***Ключевые слова:** математическая модель, идентификация, ГТД, варьируемые параметры, контролируемые параметры, функция цели.*

References

1. Annopol'skaia I. E., Antiptsev Iu. P., Parshin V. V. i dr (2004). "Identifikatsiia parametrov matematicheskikh modelei gazoturbinnykh dvigatelei po rezul'tatam ispytanii na etapakh proektirovaniia i dovodki". Problemy mashinostroeniia 7(3): 3-8.
2. Kurzke J. GasTurb 12 (2012). Design and Off-Design Performance of Gas Turbines. Available at: http://www.gasturb.de/manual.html
3. Kurzke J. (2007) “About Simplifications in Gas Turbine Performance Calculation”. Proceeding of ASME Turbo Expo 2007: Power for Land, Sea and Air, Montreal, Canada (GT2007-27620): p.9.
4. GECAT. (2000) Available at: http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2000-3893.
5. GSP 11 User Manual (2014). Available at: http://www.gspteam.com.
6. Morozov S. A. (2003). Programmnyi kompleks GRAD – gazodinamicheskie raschety aviatsionnykh dvigatelei. Sb. dokl. nauch.-prakt. Konf. Aviakosmicheskie tekhnologii i oborudovanie, Kazan', KGTU: 190-196.
7. Programmnyi kompleks GRAD. Available at: http://grad.kai.ru
8. Tkachenko A. Iu., Kuz'michev V. S., Kulagin V. V., Krupenich I. N., Rybakov V. N.(2009). Avtomatizirovannaia sistema gazotermodinamicheskikh raschetov i analiza (ASTRA-4) gazoturbinnykh dvigatelei i energeticheskikh ustanovok. Mater. dok. mezhd. nauch.-tekhn. konf. Problemy i perspektivy razvitiia dvigatelestroeniia. – Samara: SGAU 2(2): 80-82.
9. Druzhinin L. N., Shvets L. I. (1979). Matematicheskoe modelirovanie GTD na sovremennykh EVM pri issledovanii parametrov i kharakteristik aviatsionnykh dvigatelei. Trudy TsIAM, 832: p. 45.

10. Tarelin A. A., Annopol'skaia I. E., Antiptsev Iu. P., Parshin V. V. (2012) "Informatsionno-instrumental'naia sistema dlia resheniia zadach optimizatsii i identifikatsii pri proektirovanii i dovodke energeticheskikh ustanovok". Visnik natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI» 8: 17-25.
11. Sinkevich M. V. (1988) Sovershenstvovanie metoda issledovaniia i dovodki gazodinamicheskikh kharakteristik sudovikh GTD na baze vysokoinformativnoi matematicheskoi modeli. Diss. kand. tekhn. nauk: 05.08.05. Nikolaev: p. 214.
12. Chobenko V. N., Palienko R. V., Liutikov A. L. (2013). "Matematicheskie model' odnoval'nogo GTD D045." Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii 12(63): 18–21.
13. Zhernakov, S. V., Muslukhov I. I. (2007). Bortovaia intellektual'naia sistema kontrolia i diagnostiki aviatsionnogo GTD v rezhime real'nogo vremeni. Aktual'nye problemy v nauke i tekhnike: sb. mater. regional'noi shkoly-seminara aspirantov i molodykh uchennykh, Ufa 2: 108-112.

Tertyishnyiy I. N., Prilipko S. A., Miroshnichenko E. A. and Parafeynik V. P. Thermodynamic Analysis Issues of Operating Process Efficiency for Booster Turbo-Compressors with Gas Turbine Drive. Part I. 9–17

The analysis procedure for operating process efficiency of natural gas turbo-compressor packages (GPA) equipped with gas turbine drives, centrifugal compressors (CC) with single- and double-stage compression, cooling system of gas to be compressed, as well as process system and some auxiliary systems is presented in this work. The package operating process analysis as a complex energo-technological system has been made taking into account different designs and affine energy conversion in the main components of the package. It is used the exergy method with the application of the I and II laws of thermodynamics and keeping mass, power and exergy balances. Exergy efficiency is used as the index of thermodynamic sophistication level of GPA and its component parts. Analysis of losses value has been made using the terms exergy of "fuel" and "product". Exergy losses are divided into two components: exergy destruction and exergy losses connected with thermal interference of analyzed element with ambient medium. The GPA operating process analysis has been considered as applied to GPA of TCA-C-6,3A type with power 6,3 MW based on gas turbine engines of D-336 type designed by "Ivchenko-Progress" ZMBK, CC and other systems of the package designed by Sumy NPO PJSC.

***Keywords**: booster turbo-compressor package, centrifugal compressor, losses, exergy, destruction.*

В работе представлены основы методики анализа эффективности рабочего процесса газоперекачивающих агрегатов (ГПА) природного газа, оснащенных газотурбинными приводами, центробежными компрессорами (ЦК) с однокаскадным и двухкаскадным сжатием, системой охлаждения компримируемого газа, а также технологическим контуром и рядом вспомогательных систем. Анализ рабочего процесса агрегата как сложной энерготехнологической системы выполнен с учетом различного конструктивного исполнения и разнокачественных энергетических превращений в основных элементах агрегата. Используется эксергетический метод с применением I и II законов термодинамики и с соблюдением массового, мощностного и эксергетического балансов. В качестве показателя уровня термодинамического совершенства ГПА и его элементов применяется эксергетический КПД. Оценка величины потерь выполнена с использованием понятий эксергия «топлива» и «продукта». Потери эксергии разделяются на две составляющие: деструкция эксергии и потери эксергии, связанные с наличием теплового взаимодействия анализируемого элемента с окружающей средой. Анализ рабочего процесса агрегатов рассмотрен применительно к ГПА типа ТКА-Ц-6,3А мощностью 6,3МВт, создаваемых на основе газотурбинных двигателей типа Д-336 конструкции ЗМКБ «Ивченко-Прогресс», ЦК и других систем агрегата конструкции ПАО «Сумское НПО».

***Ключевые слова:** дожимной газоперекачивающий агрегат, центробежный компрессор, потери, эксергия, деструкция.*

References

1. Typical technical requirements to gas turbine GPA and their systems/STO Gazprom 2-3.5-138-2007. VNIIgaz LLC. Gazprom PJSC, M., 2007. – p.63
2. Martynovskii, V. S. Cycles, diagrams and characteristics of thermotransformers. – M.: Energy, 1979 – p. 285
3. Arkharov, A. M., Sychyev, V. V. (2005) «Principles of entropy-statical analysis of real energy losses in low temperature and high temperature equipment and units.» Refregirating Engineering 12: 14–23)

4. Brodyanskii, V. M., Fratsher, V., Mikhalyek, K. Exergy method and its application. – M.: Energoizdat, 1988 – p.288
5. Elsner, N., Fratsher, V. Drawing the exergy balance of gas turbine unit. Thermodynamic analysis issues (exergy method). – M.:Mir, 1965. – P.122–138.
6. Ber, G. D. Engineering Thermodynamics. – M.: Mir, 1977. – P. 518.
7. Tseitlin, Ju. A., Murzin, V.A. Pneumatic units of mines. – M.:Nedra, 1985, P.351.
8. Andreyev, L.P., Nikulshin, V.R. (1996) «Determination of gas mechanical compressors efficiency» Heat process engineering. – T.18, No. 4: 33–35.
9. Parafejnik, V. P., Frolov, S. D., Petukhov, I.I. and others. (2002) «Analysis of generalized chart for energotechnological plant of hydrocarbon gases based on exergy method» Heat process engineering. – T.24, No.5: 63–68.
10. Parafejnik, V. P. «Scientific foundation for designing of skids and gas turbine drive plants» Modernization of turbine units using mathematical and physical simulation: collection of studies. – Kharkov, 2003: 36–46)
11. Parafejnik, V. P., Bukholdin, Yu. S., Petukhov, I. I., Shakhov, Yu. V., Minyachikhin, A.V. (2004) «Assessment method of thermodynamic perfection of operating process for oil gas centrifugal compressor» Compressor technology and pneumatics in XXI century: studies of 13th International Scientific and Technical Conference on compressor building. – Sumy: Sumy State University. T.1: 201–211)
12. Technical report on factory test of the package GPA-C-6,3A/56-1,45 with turbine engine D-336 at testing bench of Sumy NPO PJSC. – 1991. P.150)
13. Tertyshnyi, I. N., Parafejnik, V. P., Nefyodov, A. N., Rogalskii, S. A. (2014) «Efficiency analysis of centrifugal compressor as complex energotechnological system.» Compressor and power engineering 4(38): 6–10.
14. Parafejnik, V. P. (2006) «System concept for analysis of operation condition of gas turbine drive of turbocompressor package.» Heat process engineering 28 (3): 54–61.
15. Matsevityi, Yu. M., Bratuta, E. G., Kharlampidi, D. Kh, Tarasova, V. A. «System-structured analysis of vapor-compressor thermotransformers.» National Academy of Science of Ukraine, Institute for Problems in Engineering named after A.N.Podgornyi. – Kharkov, 2014– P.269 .
16. Morozuk, T. V. (2014) «New stage in exergy analysis development.» Refrigirating technology and engineering 4 (150): 13 – 14.
17. Morosuk, T., Tsatsaronis, G. (2008) «New approach to the exergy analysis of refrigeration machines» Energy 33: 890–907.
18. Bratuta, E. G., Kharlampidi, D. Kh., Tarasova, V. A., Sherstyuk, A. V. (2013) «Thermoeconomic approach to diagnostics of refrigirating machines and heat pumps.» Refrigirating technology and engineering 5 (145): 39–44.
19. Parafejnik, V. P. (1996) «Thermodynamic efficiency and designing of hydrocarbon mix separators for compressor units of oil industry» Chemical and oil engineering 4: 42 – 47.

Aero- and Hydromechanics in Power Machines

Yershov S. V. and Yakovlev V. A. Grid resolution influence on the results of three-dimensional flow calculations in turbomachine flowpaths at use RANS models.....18–25

The paper considers the question of the influence of a difference mesh refinement on a numerical solution for calculations of the three-dimensional viscous flows in turbomachinery, using the RANS flow models and the second-order accurate numerical methods. The flow computations are performed for a number of turbine and compressor cascades for which successively refined meshes were generated. The meshes are of H-type with an approximate orthogonality near the solid walls. The CFD solver F, that based on the second-order accurate ENO scheme, is used for the flow computations. The simplified multigrid algorithm and local time stepping permits a convergence acceleration. The results obtained are estimated in their ability both to resolve qualitatively the transonic flow pattern and to predict quantitatively the losses. It is concluded that for scientific researches of the 3D turbomachinery flows, it makes sense to use the difference meshes with number of cells from 10^6 to 10^8 per a single blade-to-blade passage, while for engineering calculations, a mesh of less than 10^6 cells per the single blade-to-blade passage could be sufficient under certain conditions.

Keywords: *turbomachinery cascades, CFD modeling, viscous flow, mesh convergence, shock waves, wakes, separations, losses.*

Рассматривается вопрос влияния степени измельчения разностной сетки на результаты расчета трехмерных течений вязкого газа в проточных частях турбомашин при использовании моделей течения RANS и численных методов второго порядка. Выполнены расчеты течений для ряда турбинных и компрессорных решеток на последовательно измельчающихся сетках. Рассматривались сетки типа H с приближенной ортогонализацией ячеек в пограничном слое. Расчеты проводились с помощью CFD решателя F с использованием неявной ENO схемы второго порядка, локального шага по времени, упрощенного многосеточного алгоритма. При расчете течения на мелких сетках применялись: средства ускорения сходимости, реализованные в решателе; усечение расчетной области с последующим распространением результатов на основе свойства симметрии; разбиение расчетной области на части и распараллеливание вычислений. Проведено сопоставление полученных результатов как по качественному разрешению сложной структуры трансзвуковых потоков, так и по количественной оценке потерь. Сделан вывод, что для научных исследований трехмерных течений имеет смысл использовать разностные сетки с количеством от 1 до 100 млн ячеек в одном межлопаточном канале, в то время как для инженерных расчетов при выполнении некоторых условий достаточно сетки с количеством менее 1 млн ячеек в одном межлопаточном канале.

Ключевые слова: *решетки турбомашин, CFD моделирование, вязкий поток, сеточное разрешение, скачки уплотнения, следы, отрывы, потери.*

References

1. Hirsch, C. (2007). Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd Edition. – Elsevier, Butterworth-Heinemann. 680 p.
2. ERCOFTAC – European research Community on Flow, Turbulence and Combustion [Electronic resource] – Access mode: http://www.ercoftac.org. – October 5, 2015. 5.10.2015
3. CFD Online [Electronic resource] – Access mode: http://www.cfd-online.com. – October 5, 2015.
4. Menter, F.R. (1994). Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA J. 32(8): 1598–1605.
5. Sergiy Yershov. CFD of Turbomachinery. Free CFD software [Electronic resource] – Access mode: http://sergiyyershov.com. – October 5, 2015.
6. Yershov, S. V. (2012). Development of application package for computation of three-dimensional viscous gas flows. Aerospace technic and technology 5(92): 89–94.
7. Gryzun, M. N., Yershov, S. V. (2013). Numerical simulation of multi-dimensional compressible flows using Newton method. Power and Heat Engineering Processes and Equipment. Bulletin of National Technical University «KhPI» 13: 38–46.
8. Cicatelli, G., Sieverding, C. H. (1997). The effect of vortex shedding on the unsteady pressure distribution around the trailing edge of a turbine blade . J. Turbomachinery 4(119): 810-819.
9. Granovskiy, A. V. (2011) Development of methods for increasing gasdynamical efficiency of high-loaded stages of cooling gas turbines. Thesis Dr.Sc.: 1-217.
10. TFAST Project – Transition Location Effect on Shock Wave Boundary Layer Interaction [Electronic resource] – Access mode: http://tfast.eu. – October 5, 2015.
11. Papazov, S. V., Yakovlev, V. A., Yershov, S. V. (2014). Numerical simulation of flow through compressor cascade in a wide range of flow conditions. J. Mechanical Engineering 4(17): 3–9.
12. Yershov, S. V., Yakovlev, V. A. (2012). Aerodynamic optimization of turbine blading: approaches, techniques, results. J. Mechanical Engineering 2(15): 3–13.

Byikov Yu. A. and Gnesin V. I. An implicit numerical scheme for gas flow simulation in cascade of vibrating airfoils 26–29

An implicit numerical scheme for unsteady gas-dynamic processes in cascades of vibrating turbine airfoils is presented. The scheme is second-order accurate in time and space and based on modified second-order Godunov's scheme. Proposed scheme is suitable for upgrading existing explicit unsteady flow solvers. The algorithm is developed for unstructured grids usage and utilizes iterative numerical methods for the implicit procedure. A numerical simulation of flow in cascade of 4th *standard configuration turbine airfoils is performed. Movement of the airfoils is defined as bending with given frequency and amplitude, inter-blade phase shift is set to zero. In the simulation different time steps are used on purpose to estimate an influence of step value on result accuracy. Conclusion about optimal values for time step is obtained. Estimation of possibility of application of implicit schemes to similar aeroelastic problems is performed. Conclusions about computational effectiveness of exploited scheme are obtained.*

***Keywords**: numerical simulation, turbine cascade, aeroelasticity.*

Предложена неявная численная схема моделирования нестационарных газодинамических процессов в решетках турбомашин с колеблющимися профилями. Схема имеет второй порядок точности по времени и пространству и основана на модифицированной схеме Годунова второго порядка. Предлагаемая схема подходит для модернизации существующих явных алгоритмов моделирования нестационарных течений. Алгоритм разработан для применения неструктурных сеток и использует итерационные численные методы для выполнения неявного шага. Проведено численное моделирование течения в решетке колеблющихся турбинных профилей 4-й стандартной конфигурации. Колебания профилей задавались изгибными с заданной частотой и амплитудой, с нулевым сдвигом фазы между профилями. Численное моделирование выполнялось с различными шагами по времени с целью оценки влияния величины шага на точность получаемых результатов. Получен вывод об оптимальных значениях шага по времени. Проведена оценка применимости неявной схемы для подобных задач аэроупругости. Получены выводы относительно вычислительной эффективности применяемой схемы.

***Ключевые слова:** численное моделирование, решетка турбины, аэроупругость.*

References

1. Brouwer, K., Crowell, A. R., McNamara, J. J. (2015) Rapid Prediction of Unsteady Aeroelastic Loads in Shock-Dominated Flows. Proceeding of 56th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference: 1-20.
2. Padmanabhan, M. A., Pasiliao, C. L., Dowell, E. H. (2014) Simulation of Aeroelastic Limit-Cycle Oscillations of Aircraft Wings with Stores. AIAA Journal 52(10): 2291-2299.
3. Chen, T., Xu, M., Xie, L. (2014) Aeroelastic Modeling Using Geometrically Nonlinear Solid-Shell Elements. AIAA Journal, 52(9): 1980-1993.
4. Kersken, H., Frey, C., Voigt, C., Ashcroft, G. (2012) Time-Linearized and Time-Accurate 3D RANS Methods for Aeroelastic Analysis in Turbomachinery. ASME Journal of Turbomachinery, 134(5): 051024-051024-8.
5. Gupta, K. K., Voelker, L. S. (2012) Aeroelastic Simulation of Hypersonic Flight Vehicles. AIAA Journal 50(3): 717-723.
6. Gnesin, V. I., Bykov, Y. A. (2004) Numerical investigation of aeroelastic characteristics of turbomachine blade cascade at off-design operation mode. Journal of Mechanical Engineering, 7(1): 31-40.
7. Gendel, S., Gottlieb, O., Degani, D. (2015) Fluid–Structure Interaction of an Elastically Mounted Slender Body at High Incidence. AIAA Journal, 53(5): 1309-1318.
8. Wilcox, D.C. (1988) Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models. AIAA Journal, 26(11): 1299-1310.
9. Beam, R. M., Warming, R. F. (1978) An Implicit Factored Scheme for the Compressible Navier-Stokes Equations. AIAA Journal, 16(4): 393-402.
10. Paige, C. C., Saunders, M. A. (1982) LSQR: An algorithm for sparse linear equations and sparse least squares. ACM Transactions on Mathematical Software, March 1982, 8(1): 43-71.
11. Bolcs, A., Fransson, T. H. (1986) Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results. Communication du Laboratorie de Thermique Appliquee et de Turbomachines, Lausanne, EPFL, 13. — 230 p.

Heat Transfer in Engineering Constructions

Kobzar K. A., Gakal P. G., Ovsiannykova E. A. and Tretjak A. V. Thermal state of the rotor winding of the turbogenerator with direct hydrogen cooling 30–35

The temperature field of the rotor of the synchronous turbogenerator is investigated. The temperature distributions in rotor windings of 300 and 550-MW turbogenerators with direct hydrogen cooling of rotor winding are obtained. The transition to more power is implemented by increasing the hydrogen pressure in cooling system from 3 to 5 AT. Flow simulation of the cooling medium in the internal channels of the conductors of the rotor is carried out via a finite volume method. Direct determination of the thermal state of the rotor body is carried out via finite element method. This method was realized in the computer Solid Works environment. The thermal state of the rotor does not restrict the magnitude of the nominal power of the generator. The resource of the winding is estimated. The results of the thermal tests of 300 and 550-MW generators in the idling and short circuit are presented, which were carried out at the State Enterprise Plant "Electrotyazhmash". The maximum

temperature of the rotor winding at rated speed was 74,7 °C (347,7 K) according to test results. The comparison of the calculated data and test results shows that the difference is not more than 10%.

Key words: *turbogenerator, rotor winding, thermal state, finite element method.*

Исследовано температурное поле ротора синхронного турбогенератора. Получено распределение температуры в обмотках ротора для турбогенераторов мощностью 300 и 550 МВт с непосредственным охлаждением обмотки водородом. Переход на большую мощность осуществлен за счёт повышения давления водорода в системе охлаждения с 3 до 5 атм. Моделирование течения охлаждающей среды во внутренних каналах проводников выполнено методом конечных объемов. Непосредственное определение теплового состояния тела ротора осуществлено методом конечных элементов. Данный метод реализован в компьютерной среде SolidWorks. Тепловое состояние ротора не накладывает ограничений на величину номинальной мощности генератора. Оценён ресурс обмотки. Представлены результаты тепловых испытаний генераторов мощностью 300 и 550 МВт в режиме холостого хода и короткого замыкания, проведенные на ГП завод «Электротяжмаш». По результатам испытаний максимальная температура обмотки ротора в номинальном режиме составила 74,7 °C (347,7 К). Сравнение расчётных данных и результатов испытаний показывает, что погрешность расхождения составляет не более 10%.

Ключевые слова: *турбогенератор, обмотка ротора, тепловое состояние, метод конечных элементов.*

References

1. Proektirovanie turbogeneratorov / V.I. Izvehov, N.A. Serihin, A.I. Abramov. – M.: Izd. Mosk. jenerget. in-ta, 2005. – 440s.
2. Boldea, I Synchronous generators / I. Boldea. –Boca Raton. – 2006.
3. Fillipov, I.F. Teploobmen v jelektricheskih mashinah: uchebnoe posobie dlja vuzov / I.F. Fillipov. – L.: Jenergoatomizdat, 1986. – 256 s.
4. Vjejli, L. Temperaturnoe pole rotora turbogeneratora s neposredstvennym ohlazhdeniem s podpazovymi i radial'nymi kanalami : dis. … kand. tehn. nauk / Vjejli Li. – SPb: NIIjelektromash. - 1997. – 15 p.
5. SolidWorks 2007/2008. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike / A.A. Aljamovskij, A.A. Sobachkin, E.V. Odincov, A.I. Haritonovich, N.B. Ponomarev. – SPb.: BHV-Peterburg, 2008. – 1040 s.
6. Solomon I. Khmelnik Navier-Stokes equations. On the existence and the search method for global solutions (in Russian) / S.I. Hmel'nik. – Published by “MiC” - Mathematics in Computer Comp., printed in USA, Lulu Inc., Israel, 2010, – 106 p.
7. Teplotehnicheskij spravochnik: v 2-h t. / pod red. V.N. Jureneva i P.D. Lebedeva T.2. – M.: Jenergija, 1976. – 896 s.
8. Teploperedacha: uchebnik dlja vuzov, 3-e izd. / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. — M.: Jenergija, 1975. – 488 s.
9. Jekspluatacija i remont turbogeneratora TGV-300 / L.Ja. Stanislavskij, G.P. Ezovit, P.Ja. Kartashevskij, B.V. Spivak, I.Ja. Cheremisov, A.A. Chigirinskij. – Kiev: Tehnika, 1973. – 196 s.
10. Gurevich, Je.I. Teplovye ispytanija turbogeneratorov bol'shoj moshhnosti / Je.I. Gurevich. – L.: Jenergija, 1969. – 168s.

Kharlampidi D. Kh. System-structural cycles analysis of refrigerating machines and heat pump installations 35–43

On the basis of modern methods of applied thermodynamics method of system-structural analysis of the thermodynamic efficiency of refrigerating machines (RM) and heat pump systems (HP) been designed. To assess the impact of the structural complexity of the technological scheme of heat pump installations on its thermodynamic perfection the first time in the thermodynamic analysis of the criterion of the complexity of the scheme been introduced. By using the proposed method at the stage of the design analysis RM and HP depending on the structural complexity of the technological scheme the rational design characteristics of the heat exchange surface of the evaporator and condenser, piping of basic equipment can choose. Systemic laws of appearance of losses of irreversibility in the technological scheme of refrigeration and heat pump systems vapor compression type been identified.

Key words: *heat pump installation, refrigerating machine, criterion of the complexity, exergetic loss.*

На основе современных методов прикладной термодинамики разработана методика системно-структурного анализа термодинамической эффективности холодильных машин (ХМ) и теплонасосных

установок (ТНУ). Для оценки влияния структурной сложности технологической схемы теплонасосных установок на ее термодинамическое совершенство впервые в термодинамический анализ вводится критерий сложности схемы. Используя предложенную методику, на этапе проектного анализа ХМ и ТНУ можно обоснованно выбрать рациональные конструктивные характеристики теплообменной поверхности испарителя и конденсатора, а также трубопроводов обвязки основного оборудования в зависимости от уровня структурной сложности технологической схемы. Выявлены системные закономерности проявления потерь от необратимости в технологических схемах холодильных и теплонасосных установок парокомпрессионного типа. По результатам анализа известных усложненных схем одноступенчатых и двухступенчатых циклов ХМ и ТНУ выявлено, что с увеличением структурной сложности технологической схемы возрастает жесткость структурных связей, что делает их более устойчивыми к влиянию термогидравлической необратимости в цикле.

Ключевые слова: *теплонасосная установка, холодильная машина, коэффициент структурных связей, эксергетические потери.*

References

1. Brodyanskyy, V.M., Fratsher V., Myhalek K. (1988). Ekserhetycheskiy metod i ego prilogenij - M.: Energoatomizdat, 288 c.
2. Taubman, EI. (1983). Analis and syntes of teplotehnycheskyh system. Energoatomizdat, 1983, 176 c.
3. Boer, D. (2005). Exergy and structural analysis of an absorption cooling cycle and the effect of efficiency parameters. Intern. J. Thermodynamics. Vol. 8 (4), P. 191–198.
4. Bratuta, E.G., Kharlampidi, D. Kh, Sherstuk, A.V. (2006). Vlijanie neyzobarnosty procesa condensatii i isparenia na energetycheskye pocazateli holodylnih machin i teplovih nasosov. Vostoch. Evrope. Zh. peredovih technology, №3 / 3 (21), C. 91–93.
5. Bratuta, E.G., Sherstuk, A.V., Kharlampidi, D. Kh. (2007). Analysis soprotivlenia soedinitelnih trudoprovodov holodilnih mashin na ee efectivnost. Integrovani technologii i energosberegenie, № 1, C. 16–23.
6. Kim, Y. J., Park, I. S. (2000). Development of Performance-Analysis Program for Vapor-Compression Cycle based on Thermodynamic Analysis. J. Industrial and Engin. Chemistry, Vol. 6 (6), P. 385–394.
7. Kalaiselvam, S., Saravanan, R. Exergy analysis of scroll compressors working with R22, R407C, and R417 as refrigerant for HVAC system. Thermal Scien. Vol. 13, P. 175–184.

Dynamics and Strength of Machines

Martynenko V. G. and Grytsenko M. I. Analysis of static and dynamic strength of the axial fan considering aerodynamic properties of the flow and nonuniformity of temperature field.....44–52

The current paper shows a complex research of dynamics and strength of an axial main ventilation fan of a mine for an extraction of a copper ore. In order to gain aerodynamic loads and parameters of a convective heat transfer between an air of a flowing part and a material of the fan a cyclically symmetric stationary problem of the flow of an air in the guide vane-rotor-straightener system was solved. Determination of the stress-strain state of the structure was clarified with a help of an accounting of an inhomogeneous temperature distribution in the fan. An approach to the formation of a cyclically symmetric calculation model for the determining of the stress-strain state of the rotor of the axial fan was developed. The results of a static analysis indicate a considerable tension of a neck of the root of the rotor blade. The detuning of the resonance of the rotor between the main frequencies and the frequency of the exciting force and its multiplicities was greater than 20%. The research results presented as contour plots of the distribution of the main parameters of the stress-strain state of the structure indicate the static and dynamic strength of the fan.

Keywords: *axial main ventilation fan, rotor, fan impeller, shaft, aerodynamic loads, heat transfer problem, strength.*

Комплексно исследовано динамику и прочность осевого вентилятора главного проветривания рудника по добыче медной руды. С целью получения аэродинамических нагрузок и параметров конвективного теплообмена между воздухом проточной части и материалом вентилятора решена циклически симметричная стационарная задача течения воздуха. Определение напряжённо-деформированного состояния конструкции уточнено с помощью учёта неоднородного распределения температур в вентиляторе. Разработан подход к построению циклически симметричной расчётной модели для определения напряжённо-деформированного состояния ротора осевого вентилятора. Результаты статического анализа свидетельствуют о значительной напряжённости шейки хвоста лопатки

ротора. Проведенный анализ динамической прочности вентилятора показывает, что отстройка ротора от резонанса между собственными частотами и частотами возбуждающей силы и её кратностей составляет более 20%. С целью уточнения роторной собственной частоты была разработана балочная конечноэлементная модель вентилятора, а также построена соответствующая ей диаграмма Кэмпбелла. Результаты исследований, представленные в виде контурных графиков распределения основных параметров напряжённо-деформированного состояния конструкции, а также табличных значений её динамических характеристик, позволяют сделать вывод о статической и динамической прочности вентилятора.

Ключевые слова: *осевой вентилятор главного проветривания, ротор, аэродинамические нагрузки, задача теплопроводности, прочность.*

References

1. Brusilovsky, I.V. (1984) Aerodinamika osevykh ventilyatorov, Moskva, Mashinostroyeniye.
2. Ivanov, S. K. and Kiklevich, Yu. N. (2004) “Osevvyye vysokonapornyye ventilyatory obespechivayut energo- i materialosnabzheniye.” Vseukrainskiy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal: 15-17.
3. Pereyaslavets, L. A. (1980) “Method of comparative analysis of the fatigue strength of centrifugal fan blades.” Strength of Materials: 50-56.
4. Ramamurt, V. and Balasubramanian, P (1987) “Steady state stress analysis of centrifugal fan impellers.” Computers & Structures: 129-135.
5. Bhope, D.V. and Padole, P.M. (2004) “Experimental and theoretical analysis of stresses, noise and flow in centrifugal fan impeller.” Mechanism and Machine Theory: 115-120.
6. Wang, S.L., Sun, Z. and Wu, Z.R. (2011) “Investigation of Strength in G4-73 Type Centrifugal Fan Impeller.” Advanced Materials Research: 5669-5673.
7. Krasyuk, A., Russky, E. and Popov, N. (2012) “Estimating strength of high-loaded impellers of large-size mine axial fans.” Journal of Mining Science: 314.
8. Wang, S.L., Liang, S.F., and Hu, B. (2013) “Study on the Strength of Axial Fan Blades Based on Fluid-Solid Coupling.” Applied Mechanics and Materials: 3382-3385.
9. Oleynik, A.V. (2004) Dinamika i prochnost' rabochikh koles so sdvoyennymi listovymi lopatkami osevykh ventilyatorov glavnogo provetrivaniya. Institut gornogo dela RAN.
10. Melekhina, O.V. and Novakovskyj, G.S. (2011) “Proyektirovaniye i analiz novogo shakhtnogo ventilyatora instrumentom ANSYS Workbench.” URL: http://www.mining-media.ru/ru/article/newtech/118-proektirovanie-i-analiz-novogo-shakhtnogo-ventilyatora-instrumentom-ansys-workbench.
11. “Temperature, density, specific heat, thermal conductivity, expansion coefficient, kinematic viscosity and Prandtl's number for temperatures ranging.” URL: http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html: 150-400
12. Kubo, R. (1970) Termodinamika. Moskva, Mir.
13. Birger, I.A. and Panovko Ya.G. (1988) Prochnost' i ustoychivost'. Moskva, Mashinostroyeniye.
14. Serensen, S. and Tetelbaum I. (1940) Dinamicheskaya prochnost' v mashinostroyenii. Leningrad, Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo mashinostroitel'noy literatury.
15. Babakov, I.M. (2004) Teoriya kolebaniy. Moskva, Drofa.
16. Kolesnikov K.S. (1978) Vibratsii v tekhnike. Kolebaniya mashin, konstruktsiy i ikh elementov. Moskva, Mashinostroyeniye.

Orujeva R. U. Crack nucleation in an isotropic medium under non-uniform stress field.....52–58

We give a mathematical description of a calculation model for cracking in an isotropic medium under influence of non-uniform stress field. When the isotropic medium is loading by traction load in the material of medium was appear a prefracture zone which is modeled as a zone of weakened interparticle bonds of the material. A model of the pre-fracture zone with bonds between the faces is used. Cracking is assumed as the transition from the pre-fracture zone to zone of the broken bonds between the surfaces of the isotropic medium material. The interaction between the faces of prefracture zone is modeled by bonds between the faces of prefracture zone with given deformation law. Size of the prefracture zone is unknown in advance and determined in the process of problem solving. The equilibrium problem of the prefracture zone (zone of weakened interparticle bonds of material) in an isotropic medium under the influence of non-uniform stress field is reduced to solving a system of two integro-differential equations. Then the integral equations are reduced to a system of nonlinear algebraic equations which is solved by method of successive approximations. Directly from the solution of algebraic systems the tractions in the bonds and disclosure of prefracture zone faces are determined. Criterion of the crack

initiation is formulated. The tractions in the bonds between the prefracture zone faces, the size of the prefracture zone and the limit external load, at which in the medium a crack is occurrence, are found. Analysis of limit-equilibrium state of the isotropic medium, at which a crack is occurrence, is reduced to the parametric studies of obtained algebraic systems and the criterion of crack appearance with the various laws of bonds deformation, elastic constants of the material and geometric characteristics of the medium.

Keywords: *isotropic medium in a non-uniform stress field, prefracture zone with bonds between the faces, cohesive forces, crack nucleation.*

Дается математическое описание расчетной модели зарождения трещины в изотропной среде в неоднородном напряженном поле. При нагружении изотропной среды силовой нагрузкой в материале среды возникают зоны предразрушения, которые моделируются как зоны, где ослаблены межчастичные связи материала. Используется модель зоны предразрушения со связями между берегами. Трещинообразование принимается как процесс перехода зоны предразрушения в зону разорванных связей между поверхностями материала изотропной среды. Взаимодействие между берегами зоны предразрушения моделируется связями между берегами зоны предразрушения, закон деформирования которых принят заданным. Размер зоны предразрушения заранее неизвестен и определяется в процессе решения задачи. Задача о равновесии зоны предразрушения (зоны ослабленных межчастичных связей материала) в изотропной среде под действием неоднородного напряженного поля сводится к решению системы двух интегродифференциальных уравнений. Интегральные уравнения затем сводятся к системе нелинейных алгебраических уравнений, которая решается методом последовательных приближений. Непосредственно из решения полученных алгебраических систем определяются усилия в связях и раскрытие берегов зоны предразрушения. Сформулирован критерий зарождения трещины. Найдены усилия в связях между берегами зоны предразрушения, размер зоны предразрушения, предельные внешние нагрузки, при которой происходит появление трещины в среде. Анализ предельно-равновесного состояния изотропной среды, при котором появляется трещина, сводится к параметрическому исследованию полученных алгебраических систем и критерия появления трещины при различных законах деформирования связей, упругих постоянных материала и геометрических характеристиках среды.

Ключевые слова: *изотропная среда в неоднородном напряженном поле, зона предразрушения со связями между берегами, силы сцепления, зарождение трещины.*

References

1. Levin V.A., Morozov E.M., Matvienko Yu.G. Selected nonlinear problems of fracture mechanics. Moscow: Fizmatlit, 2004.
2. Mirsalimov V.M. Initiation of defects such as a crack in the bush of contact pair // Matematicheskoe Modelirovanie. 2005. V. 17, №2. p. 35-45.
3. 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, №1, p.120–136.
4. Panasyuk V.V. Mechanics of quasibrittle fracture of material. Kiev: Naukova Dumka. 1991.
5. Goldstein R.V., Perelmuter M.N. Modeling of fracture toughness of composite materials // Computational continuum mechanics. 2009. 2, No. 2, p. 22–39.
6. Cox B.N. Marshall D.B. Concepts for bridged cracks fracture and fatigue // Acta Met. Mater. 1994. Vol. 42, №2. p. 341–363.
7. Ji H. de Genes P.G. Adhesion via connector molecules: The many-stitch problem // Macromolecules. 1993. V.26. P. 520–525.
8. The special issue: Cohesive models // Eng. Fract. Mech. 2003. V. 70, №14. P. 1741–1987.
9. Muskhelishvili N.I. Some basic problems of mathematical theory of elasticity. Amsterdam: Kluwer, 1977.
10. Mirsalimov V.M. Non-one-dimensional elastoplastic problems. Moscow: Nauka, 1987.
11. Il'yushin A.A. Plasticity. Moscow: Logos, 2003.
12. Birger I.A. General algorithms for solving theories of elasticity, plasticity and creep // Adv deformable environments. Moscow: Nauka, 1975. p. 51–73.

High Technology in Mechanical Engineering

Кутовой В. А., Луценко А. С. Эффективный метод подготовки бурого угля к сжиганию на тепловых электрических станциях 59–62

We have to move on solid fuels: shale, brown coals, as the oil and gas reserves are declining. The main application of brown coal is its use as a fuel in thermal power plants (TPP), small boilers and industrial plants. To prepare the coal for combustion, additional costs needed it's associated with drying and grinding. Equipment for drying and grinding of coal takes a large area, and it has a high-energy consumption and metal. This is a costly process, in terms of both energy consumption and the required time of production. Furthermore, solid fuel, especially lignite, contains sulfur and nitrogen. Therefore, oxides and dioxides of sulfur and nitrogen formed during combustion, which also entails an additional burden on the environment. The development of thermal power in the modern environment requires high-quality fuel with low sulfur and nitrogen. Natural coals have high moisture and ash content, unlike liquid and gaseous fuels. The analysis of scientific, technical and patent literature has shown that there is the need to upgrade the fuel preparation processes in order to increase the efficiency of thermal power plants, reduce energy consumption of metal equipment, decreasing the sulfur and nitrogen in the brown coal, which reduces the amount of harmful emissions into the atmosphere by burning it.

Keywords: *thermal vacuum plant, lignite, nanosized powder, quality and ecology.*

Основным направлением применения бурого угля является его топливное использование на тепловых электрических станциях, малых котельных и промышленных предприятиях. Для подготовки бурого угля к сжиганию требуются дополнительные затраты, связанные с сушкой и дроблением. Оборудование для сушки и дробления угля занимает большие площади, имеет высокую металло- и энергоемкость. Это дорогостоящие процессы как в отношении потребления энергии, так и требуемого производственного времени. Кроме того, твердое топливо, особенно бурый уголь, содержит серу и азот. При их сжигании образуются оксиды и диоксиды серы и азота, что влечет за собой дополнительную нагрузку на окружающую среду. Развитие теплоэнергетики в современных условиях требует высококачественного топлива с низким содержанием серы и азота. В отличие от жидкого и газообразного топлива природные угли имеют высокую зольность и влажность. Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что существует необходимость модернизации процессов подготовки топлива к сжиганию с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций, снижению энергозатрат, металлоемкости оборудования, понижению содержания серы и азота в буром угле. В данной работе приведен новый термовакуумный энергосберегающий метод сушки и одновременного измельчения бурого угля, который позволяет с высокой эффективностью в непрерывном режиме получать нанодисперсное альтернативное топливо с влажностью менее 1%, снижает в буром угле содержание серы и азота, что приводит к уменьшению вредных выбросов в атмосферу при его сжигании.

Ключевые слова: *термовакуумная установка, бурый уголь, нанодисперсный порошок, качество, экология.*

References

1. International Patent, a20507488 27.07.2005 UA, МПК F26B5/04; F26B23/06; F26B23/00. Apparatus for Drying of Wet Dispersed Raw Materials. / V. O. Kutovyi. – # PCT/UA2005/000051; Filling. 15.01.2005; Pudlic. 01.02.2007; Publication number W0/2007/013866. – 6p.
2. Energy-saving thermal vacuum drying and grinding of lignite / VM Koshelnik, VA Kutovoy, G. Kazarinov, A. Lutsenko // Science tehnika, tehnologiya, Osvita, Health Protection: twenty-practical Mizhnarodna NAUKOVO konferentsiya. - Kharkiv, Ukraine, 2013. - 297 pp.
3. Koshelnik VM Scientific - technical bases of thermal vacuum drying heat and power processes of carbon materials / VM Koshelnik, VA Kutovoy, A. Lutsenko // News natsionalnogo tehnichnogo universitetu "KhPI." Seriya Energetichni that teplotehnichni processes ustatkuvannya minutes. - 2014. - №12 (1055). - S. 142-149.
4. VA Kutovoy development of energy efficient techniques drying and grinding of carbon materials / VA Kutovoy, JS Mysak // East - European Journal of advanced technologies. - 2014. - №6 / 8 (72). - S. 35-40.
5. VA Kutovoy Scientific and practical bases of energy-saving thermal vacuum drying of dispersed materials / VA Kutovoy, A. Lutsenko, VM Koshelnik // News Natsionalnogo tehnichnogo universitetu "KhPI." - 2013. - №70 (1043). - S. 175-180.

Shubenko O. L. and Sarapin V. P. Improvement scheme of low-temperature separation of natural gas for fields with different pressure wells.....63–66

The article describe technological scheme of low-temperature separation of natural gas, intended for separation of low-boiling hydrocarbons fields with wells, having high and low reservoir pressure of natural gas. Proposed method of improvement of the technological scheme to increase the pressure of low-pressure gas wells in front of devices low-temperature separation through the use of the compressor, which is driven by the turboexpander. In the turboexpander gas due to the overpressure of the gas produced from high-pressure wells, extended to gas pressure, providing the temperature of the dew point in the low-temperature separation devices. The dependence of the gas pressure of low-pressure from high-pressure wells in three gas ration three gas ratios of costs to meet the low-temperature separation of natural gas. The proposed solution allows to produce gas from low-pressure wells without the use of a booster compressor station. Determined the gas temperature after mixing, high-pressure and low-pressure flows, which is lower than the temperature of the produced gas at the wellhead, which gives an additional positive effect in the process of low-temperature separation. Shows the dependence of the gas temperature after mixing, high-pressure and low-pressure flows from the pressure of low-pressure wells in three ratios of gas flow rate.

Keywords: *natural gas, dew point, low-temperature separation, technological scheme, turboexpander, compressor.*

Рассмотрена принципиальная технологическая схема низкотемпературной сепарации природного газа, предназначенная для отделения низкокипящих углеводородов на месторождениях со скважинами, имеющими высокое и низкое пластовое давление природного газа. Предлагается вариант усовершенствования технологической схемы для повышения давления газа низконапорных скважин перед устройствами низкотемпературной сепарации за счет использования компрессора, который приводится в действие турбодетандером. В турбодетандере газ за счет избыточного давления газа, добываемого из высоконапорных скважин, расширяется до давления газа, обеспечивающего температуру точки росы в устройствах низкотемпературной сепарации. Показана зависимость давления газа низконапорных скважин от давления в высоконапорных при трех соотношениях расходов газа для выполнения условия низкотемпературной сепарации природного газа. Предлагаемое решение позволяет добывать газ из низконапорных скважин без использования дожимной компрессорной станции. Определена температура газа после смешения высоконапорного и низконапорного потоков, которая ниже температуры добываемого газа в устье скважины, что дает дополнительные положительный эффект в процессе низкотемпературной сепарации. Приведена зависимость температуры газа после смешения высоконапорного и низконапорного потоков от давления низконапорных скважин при трех соотношениях расходов газа.

Ключевые слова: *природный газ, точка росы, низкотемпературная сепарация, технологическая схема, турбодетандер, компрессор.*

References

1. U 2014 roci privatni vydobuvnyky gazu narostyly vyrobnyctvo na 18 % [Electronic resource] – [2015]. – The official website of the NJSC Naftogaz of Ukraine. http://www.naftogaz.com – Last address 09.07.2015.
2. U 2014 roci Ukraina skorotyla spozhyvannia pryrodnogo gazu na 16% % [Electronic resource] – [2015]. – The official website of the NJSC Naftogaz of Ukraine. http://www.naftogaz.com – Last address 09.07.2015.
3. Energetychna strategia Ukrainy na period do 2030 r. [Electronic resource] – [2013]. – The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine. http://zakon2.rada.gov.ua – Last address 16.07.2015.
4. Gurevich G.R. Separacija prirodnogo gaza na gazokondensatnyh mestorozhdenijah. – Mosskva: Nedra, 1982. – 200 p.
5. Shirkovskij A.I. Razrabotka I ekspluatacija gazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij. – Mosskva: Nedra, 1979. – 303 p.
6. Brusilovskij A.I. Fazovyjeprevrashchenijapro razrabotke mestorozhdenij nefti i gaza. – Mosskva: Graalj, 2002. – 575 p.
7. Sivuhin D.V. Obshchij kurs fiziki. V 5 t. T. II. Termodinamika i molekuljarnaja fizika. – Mosskva: FIZMATLIT, 2005. – 544 p.
8. Bekirov T.M., Lanchakov G.A. Tehnologia obrabotki gaza i kondensata. – Mosskva: Nedra, 1999. – 596 p.
9. Jazik A.V. Sistemy i sredstva ohlazhdenija prirodnogo gaza. – Mosskva: Nedra, 1986. – 200 p.
10. Moisejev S.V., Burnjashev A.V., Sarapin V.P. Chislennoe modelirovanije peremennyh rezhimov raboty TDA. Aviacionnaja kosmicheskaja tehnika i tehnologia. – 2005. T. 8(24) Harkov: HAI. p. 72–76.

11. Stepanec A.A. Energosberegajushchije turbodetandernyje ustanovki. – Mosskva: Nedra-biznesscenter, 1999. – 258 p.
12. Pat. 97282 Ukraine. Ustanovka nyzjkotmperaturnoji obrobky pryrodnogo gazu. Sarapin V.P., Shubenko O.L. 10.03.2015
13. Jepifanova V.I. Kompessornyje I rasshiriteljnyje turbomashiny radialjnogo tipa. – Mosskva: Mashinostroenije, 1984. – 376 p.