

*Aero- and Hydromechanics in Power Machines*

**Papazov S.V., Yakovlev V.A. and Yershov, S.V.** Numerical simulation of flow in a compressor cascade under wide range of flow conditions.....3–9

*The numerical results are presented for the two-dimension viscous turbulent flow of working medium through the transonic compressor cascade under wide range of flow conditions. The mathematical model is constructed on a basis of the system of the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations and the two-equation differential  $k-\omega$  SST Menter's turbulence model supplemented by realisability constraints. The equations are integrated numerically with the implicit ENO scheme of the second order of approximation. The boundary condition treatment modification is used at the exit to improve reliability of flow computations for compressor blade rows. The detailed analysis of flow nature for working and stalling branches of the compressor characteristic is presented using computational data visualization with the Mach number contours and "numerical Schlieren" approach. The obtained numerical results are in an agreement with known theoretical ideas about supersonic flows in compressors. It is shown, that for detailed visualization of complex wave flow structure for supersonic flows in compressor cascades it is appropriate to use computational meshes with about and more than 100 000 cells per a tangential section.*

**Key words:** axial compressor, airfoil cascade, viscous flow, numerical simulation, numerical Schlieren approach.

*Приведены результаты численного моделирования двухмерного вязкого турбулентного течения рабочего тела в трансзвуковой компрессорной решетке в широком диапазоне режимов обтекания. Математическая модель построена на основе системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, и двухпараметрической дифференциальной модели турбулентности  $k-\omega$  SST Ментера, дополненной ограничением реализуемости. Уравнения численно интегрируются неявной ENO схемой второго порядка аппроксимации. Используется модификация численной реализации граничных условий на выходе, улучшающая надежность расчетов течений в компрессорных лопаточных аппаратах. Представлен подробный анализ физики течения на рабочей и срывной ветвях характеристики компрессора, проведенный с использованием визуализации расчетных данных, которая выполнялась с помощью изолиний чисел Маха и «численного шлирен-метода». Полученные результаты численного моделирования согласуются с известными теоретическими представлениями о сверхзвуковых течениях в компрессорах. Показано, что для детальной визуализации сложной волновой структуры потока при расчете сверхзвуковых течений в компрессорных решетках целесообразно использовать разностные сетки с разрешением порядка 100 000 и более ячеек в тангенциальном сечении.*

**Ключевые слова:** осевой компрессор, решетка профилей, вязкий поток, численное моделирование, численный шлирен-метод.

**References**

1. Yershov, S., Yakovlev, V., Derevyanko, A., Grizun, M., Kozyrets, D. (2011). Development of Application Package for Computation of Three-Dimensional Flow of Viscous Compressible Gas through Turbomachinery Blade Rows. Power and Heat Engineering Processes and Equipment. Bulletin of National Technical University «KhPI» 5: 25–32.
2. Yershov, S. (2008). Realisability Constraint for SST  $k-\omega$  Turbulence Model. Mechanical Engineering Problems 11(2): 14–23.
3. Yershov, S. (2011). Numerical Realisation of Boundary Conditions at Permeable Boundaries for Gasdynamics Equations. Mechanical Engineering Problems 14(4): 25–37.
4. Menter, F.R. (1994). Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications 32(8): 1598–1605.
5. Pilipenko, A., Polevoy, O., Prikhodko, A. (2012). Numerical Simulation of Mach Number and Incidence Angle Influence on Regime of Transonic Turbulent Flow around Aerodynamic Airfoils. Transactions of Central Aerohydrodynamical Institute 43(1): 3–31.

*Heat Transfer in Engineering Constructions*

**Tarasova V. A. and Kharlampidi D. Kh.** Thermoeconomic model of heat pump unit on the basis of negentropy approach to formation cost of the expected product ..... 10–16

*A modern approach to determining the price of the desired product energy conversion system based on the use of the apparatus of thermoeconomic which considers exergy flows as carriers of value and price of the final product connects with each stage of the transformation of exergy. The thermoeconomic analysis allows to esti-*

mate the costs associated with the consumption of resources and thermodynamic irreversibility in the production process as a whole, to identify ways to better use and conservation of resources. For this purpose a joint analysis of the thermodynamic transformations and economic indicators. On the basis of the use of the concept of negentropy has been proposed a new thermo-economic model of heat pump installation, allowing to carry out its thermoeconomic functional analysis to determine the cost of exergy destruction in each element. The cost of exergy destruction in the elements is determined from the equations of cost balances, and not by assigning it the value of "fuel" element. The proposed model allows for the first time to estimate the effect of the ratio of capital and operating expenses for the cost of exergy destruction in each element of the installation. Hence we can follow, at what stage the installation manual removal destruction exergy economically feasible due to the capital costs, and in what - at the expense of the operating costs.

**Key words:** negentropy, thermoeconomic model, heat pump system.

Современный подход к определению цены целевого продукта энергопреобразующей системы основан на использовании аппарата термoeкономики, которая рассматривает потоки эксергии в качестве носителей стоимости, а цену конечного продукта связывает с каждым этапом преобразования эксергии. Термoeкономический анализ позволяет оценить затраты, связанные с потреблением ресурсов и термодинамической необратимостью в рамках производственного процесса в целом, выявить пути более эффективного использования и сбережения ресурсов. Для этого применяется совместный анализ термодинамических превращений и экономических показателей. На основе использования понятия негэнтропии предложена термoeкономическая модель теплонасосной установки, позволяющая определить стоимость деструкции эксергии в элементах из уравнений стоимостных балансов, а не путем назначения ее по стоимости «топлива» элемента. В этом авторы усматривают элементы универсальности разработанной термoeкономической модели теплонасосной установки. Предложенная модель позволяет впервые оценить влияние соотношения капитальных и эксплуатационных затрат на стоимость деструкции эксергии в каждом элементе установки. Следовательно, можно проследить, на каком этапе эксплуатации установки устранение деструкции эксергии экономически целесообразно за счет капитальных, а на каком – за счет эксплуатационных затрат.

**Ключевые слова:** негэнтропия, термoeкономическая модель, теплонасосная установка.

#### References

1. Al Said, I.M. Evans, R.B. (1970). Thermoeconomika i proektirovanie teplovih system. Trudi amerikanskogo obshchestva inzhenerov mekhanicov. Energeticheskije mashini. 1, 22 - 31.
2. Brodyansky, V.M. (2011). Dostupnaja energija Zemli i ystojchivoe razvitie system zhizneobespechenija. 2. Resursi Zemli. Tehn. gazi, 3, 48 - 63.
3. Lozano, M., Valero, A. (1993). Theory of Exergetic Cost. Energy, 18(9), 939 - 960.
4. Santos, J., Nascimento, M., Lora, E., Reyes, A. M. (2009). On the Negentropy Application in Thermoeconomics: A Fictitious or an Exergy Component Flow? Int. J. Thermodynamics, 12(4), 163 - 176.
5. D'Accadia, M. D., De Rossi, F. (1998). Thermoeconomic analysis and diagnosis of a refrigeration plant. Energy Conversion and Management, 39, 1223 - 1232.
6. D'Accadia, M. D., De Rossi, F. (1998). Thermoeconomic Optimization of Refrigeration Plant. Int. J. Refrigeration, 21, 42-54.
7. Piacentino, A. Cardona, F. (2010). Scope-Oriented Thermoeconomical Analysis of Energy Systems. P. I. Looking for a Non-Postulated Cost Accounting for the Dissipative Devices of a Vapour Compression Chiller. Is it Feasible?. Applied Energy, 87, 943 - 956.
8. Frangopoulos, C. A. (1987). Thermo-economic Functional Analysis and Optimization. Energy, 12(7), 563 - 571.
9. Tsatsaronys, G. (2002). Vzaemodystviye termodinamyky i ekonomiky dlya mynymyzatsyy stoimosty enerhopreobrazuyushey systemyi. Odessa: Nehotsyant, 152 c.
10. Tarasova, VA, Kharlampidi, D.Kh. (2013). Sravnitelnyy analiz termoeconomycheskykh modeley formirovaniya ekserhetycheskoy stoimosty holoda. Tehn. gazi, 6, 55-63.
11. Morosuk, T., Tsatsaronys, G. (2011). Advansed exergoeconomic analysis of refrigeration machine: Part 1. Methodology and first evaluation. Proc. 2011 Int. Mech. Eng. Congress at Denver (USA), 1 - 10.
12. Wall, G. (1986). Thermoeconomic Optimization of a Heat pump System. Energy Journal, 11(10), 957 - 967.
13. Kharlampidi, D. Kh, Bratuta, E.G., Sherstuk, A.V. (2012). Raschet ryversyvnogo konditsyonera-typlovoho nasosa pri perevode yeho na alternatyvnie hladahenti. Integrovani tehnologii ta energozberezheniya, 3, 78 - 83.

14. Matsevytiy, Y.M., Bratuta, E. G., Kharlampidy, D.Kh., Tarasova, V.A. (2014). Sistemno-strukturniy analiz parokompresornih termotransformatorov. Kharkov. Institut problem mashinostroeniya im. A.N. Podgornogo NAN Ukraini, 269 c.

*Dynamics and Strength of Machines*

**Tkachuk N. N., Chepurnoy A. D., Litvinenko A. V., Scripchenko N. B. and Tkachuk N.A.** Contact of rectangular punch with rounded edges with a half-space ..... 17–22

*Rectangular shape with rounded edges of a punch interacting with an elastic half-space represents an important case which is investigated in this paper. Boundary element method is applied for the analysis of contact interaction. Peculiar distributions of contact pressures on the interface between the rigid punch and the elastic foundation are obtained. Relation of the maximal value of contact pressure upon the punch geometry. In particular, the size of the punch and edge rounding radii were varied. It has been discovered that the localization of the maximal contact pressure for the small rounding radii is observed close to the rounding edge. However contact pressure rapidly drops to zero at the boundary of the contact spot. Meanwhile it has its minimal in the middle of the punch. To the contrary with increasing rounding the contact pressure in the middle of the punch gradually grows and becomes greater than in the rest of the contact spot. Furthermore, an elastic Winkler layer that models the rough interface is introduced. With the increase of its compliance the contact area grows, whilst the magnitude of the contact pressure drops. The developed approach to the analysis of contact interaction can be applied for bodies of various shape. Its formulation enables further extensions, since it is free from many essential limitations of traditional models of the mechanical contact.*

**Keywords:** the contact interaction, punch with rounded edges, the boundary element method.

*Важным вариантом геометрической формы пуансона, взаимодействующего с полупространством, является прямоугольная в плане со скруглениями по периметру. Исследуется взаимодействие прямоугольного в плане пуансона со скругленными краями с полупространством. Для анализа распределения контактного давления применен метод граничных элементов. Получены характерные распределения контактных давлений в сочетании пуансона с полупространством. Установлены зависимости максимальных контактных давлений от радиуса скругления краев. В частности, проварьированы размеры подошвы пуансона и радиус скругления. Установлено, что при малых радиусах скругления максимумы контактных давлений достигаются ближе к кромке пуансона. При этом в зоне скругления контактные давления уменьшаются до нулевого значения. В центре подошвы пуансона достигается минимум контактных давлений. При увеличении радиуса скругления значения контактных давлений в центре подошвы пуансона возрастают, стремясь к максимуму. Кроме того, исследовано влияние податливости упругого винклерова слоя, который имитирует слой шероховатости. при увеличении податливости площадь зоны контакта возрастает, а контактных давлений – снижается. Разработанный подход к решению контактной задачи может быть применен к исследованию взаимодействия тел разнообразной формы. Этому способствует исходная постановка задачи, которая свободна от многих ограничений традиционных моделей.*

**Ключевые слова:** контактное взаимодействие, пуансон со скругленными краями, метод граничных элементов.

**References**

1. L.A. Galin. Contact problems of the theory of elasticity and viscoelasticity. - М.: Nauka, 1980 - 303 p.
2. Popov G.Y. Contact problems for linearly deformable base / G.Y. Popov. - Kiev-Odessa: Vishcha School, 1982. - 168 p.
3. Tkachuk N.N., Movshovich I.J., Tkachuk N.A., Skripchenko N.B., Litvinenko A.V. Analysis of the contact interaction of smooth and rough-body by boundary element method: models and resolving equations // Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure. - М.: Ltd. "Tiso Print", 2014. - № 3 - P. 3-10.
4. Tkachuk N.N., Movshovich I.J., Tkachuk N.A., Skripchenko N.B., Litvinenko A.V. Analysis of the contact interaction of smooth and rough-body by boundary element method: models and resolving equations // Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure. - М.: Ltd. "Tiso Print", 2014. - № 4 - P. 3-8.
5. Crouch S. Boundary Element Methods in Solid Mechanics. / C. Crouch, A. Starfield. - М.: Mir, 1987. - 328 p.
6. Tkachuk N.N. Analysis of contact interaction complex shaped elements of engineering structures with kinematical surfaces: diss ... Cand. tehn. Sciences: spec. 05.02.09. -Harkov, 2011. - 203 p.

7. Johnson C. Contact mechanics / C. Johnson. - М.: Mir, 1989. - 509 p.

**Akhundova P. E.** Optimum displacement function of external contour points of contact pair hub taking into account the thermal stresses and roughness inner contour .....22–30

*Based on the model of friction rough surface and the equal strength principle theoretical analysis on the definition of displacement function of external contour points of contact pair hub carried out taking account the temperature difference in the details of the contact pair. Force calculation scheme most corresponds to physical nature of actual loading is used. According to this scheme, in the place of shaft and bushing contact the normal distributed loads and the corresponding to loads friction forces act. The friction forces are arising in work process and not known in advance. The friction forces to be determined from the solution of the problem of shaft and bushing contact interaction, taking into account the roughness of real friction surface, frictional heat generation and surface wear of the contact pair parts. The minimization of the stress state of the contact pair bushing is carried out by using of the equal strength principle. The obtained displacement function of external contour points of the bushing provides increase of load bearing capacity of the bushing contact pair. As an example the calculation of the contact pair applied to downhole sucker rod oil pump is considered.*

**Key words:** contact pair, hub, shaft, friction rough surface, temperature, minimizing of bushing stress state.

*На основе модели шероховатой поверхности трения и принципа равнопрочности проведен теоретический анализ по определению функции смещений точек наружного контура втулки контактной пары с учетом перепада температуры в деталях контактной пары. Используется расчетная силовая схема, наиболее близко отвечающая физической сущности действительного нагружения. Согласно этой схеме в местах контакта вала и втулки действуют распределенные нормальные нагрузки и соответствующие им заранее неизвестные силы трения, возникающие в процессе работы. Силы трения подлежат определению из решения задачи о контактном взаимодействии вала и втулки, с учетом шероховатости реальной поверхности трения, теплообразования при трении и износа поверхности деталей контактной пары. Проведена минимизация напряженного состояния втулки контактной пары с помощью принципа равнопрочности. Найденная функция смещений точек внешнего контура втулки обеспечивает повышение несущей способности втулки контактной пары. В качестве примера рассмотрен расчет для контактной пары применительно к скважинным штанговым нефтяным насосам.*

**Ключевые слова:** контактная пара, втулка, вал, шероховатая поверхность трения, температура, минимизация напряженного состояния втулки.

#### References

1. Husu A.P., Wittenberg Y.R., Palmov V.A. Roughness of surface (theoretical probabilistic approach). Moscow: Nauka, 1975.
2. Galin L.A. Contact problem of theory of elasticity and visco-elasticity. Moscow: Nauka, 1980.
3. Goryacheva I.G. Mechanics of frictional interaction. Moscow: Nauka, 2001.
4. Goryacheva I.G., Dobychin M.N. Contact Problems in Tribology. Moscow: Mashinostroenie, 1988.
5. Muskhelishvili N.I. Some Basic Problems of Mathematical Theory of Elasticity. Moscow: Nauka. 1966.
6. Parkus H. Instationare Warmes-Pannungen. Wien: Springer, 1959.
7. Mirsalimov V.M. Non-one-dimensional elastoplastic problems. Moscow: Nauka, 1987.

**Dyomina N. A.** Parametric models for investigation of contact interaction of elements stamp tools .....31–35

*A new approach to modeling of contact interaction of bodies is proposed. Parameterization methodology was developed to provide variability. It covers all stages of the research. In particular, the results of stress-analysis for a system of three bodies are presented as an example for die equipment. Форма пуансона была выбрана в виде цилиндра, заготовки – круглой пластины, матрица – полый цилиндр с утолщением на конце. The shape of the punch was chosen as the cylinder blank - circular plate matrix - a hollow cylinder with a thickening at the end. The problem is solved in axisymmetric formulation based on an axial symmetry of the construction, loads and boundary conditions. Calculation scheme of the problem was constructed, that was calculated in the software ANSYS. To describe the behavior a linear elastic material model is used, and a stuff is defined for each of the elements. Generalized parametric modeling approach is adapted to provide a variation of investigated objects –all the varied factors of the model of the investigated process or condition considered as generalized parameters. The set of these parameters generates a generalized parametric space, each point of that identifies the analyzed model. Defined in the parameter space for a discrete set of points, it is possible to organize the process of numerical studies, working in automated mode. Using the proposed approach stress-strain state investigation of the elements of the system "matrix - material - punch" were held.*

**Keywords:** *mathematical model, parametric model, system prismatic bodies, contact interaction.*

Предлагается новый подход к моделированию контактного взаимодействия системы тел. Для обеспечения вариативности разработана методология параметризации. Она охватывает все этапы исследований. В частности, на примере элементов штамповой оснастки проиллюстрированы результаты расчетов напряженно-деформированного состояния системы из трех тел. Форма пуансона была выбрана в виде цилиндра, заготовки – круглой пластины, матрица – полый цилиндр с утолщением на конце. С учетом осевой симметрии конструкции, нагрузок и граничных условий задача решается в осесимметричной постановке. Построена расчетная схема задачи, которая была рассчитана в программном комплексе Ansys. Для описания поведения материала используется линейная упругая модель, а для каждого из элементов задается свой материал. Для обеспечения вариативности исследуемых объектов адаптирован подход обобщенного параметрического моделирования – все варьируемые факторы модели исследуемого процесса или состояния рассматриваются как обобщенные параметры. Совокупность этих параметров формирует обобщенное параметрическое пространство, каждая точка которого идентифицирует исследуемую модель. Определяя в параметрическом пространстве некоторое дискретное множество точек, можно организовать процесс численных исследований, работающий в автоматизированном режиме. С использованием предложенного подхода проведены исследования напряженно-деформированного состояния элементов системы „матрица – материал – пуансон”, контактирующих между собой.

**Ключевые слова:** *математическая модель, параметрическая модель, система призматических тел, контактное взаимодействие.*

#### References

1. Dyomina, N. A. Mathematical modeling of the contact interaction of prismatic bodies / Dyomina, N. A. // Problems of engineering. -2014, v. 17. - № 3. -P. 52-56.
2. Belytschko T. Contact-Impact by the Pinball Algorithm with Penalty and Lagrangian Methods / T. Belytschko, M.O. Neal // Int. J. for Numerical Methods in Engineering. – 1991. – vol. 31. – P. 547-572.
3. Dyomina, N. A. Improved methods of calculating elements die equipments based on an analysis of the stress-strain state: Author. Dis. for obtaining sciences. degree candidate. Sc. sciences specials. 05.03.05 "processes and equipment fabrication" / N.A. Demina - Kharkiv, 2011. - 20 p.
4. Tkachuk N. The finite-element model of the elements of complex mechanical systems: technology and automated generation of parameterized descriptions / N.A. Tkachuk, G.D. Gritsenko, A.D. Chepurnoy, E.A. Orlov, N. N. Tkachuk // Mechanics and Engineering - Kharkiv: NTU "KhPI», 2006. - №1. - P.57-79.

#### Applied Mathematics

**Bomba A. Ya. and Safonyk A. P.** Modelling the water treatment process with the clarification filter with the layer of hanging up sediment.....36–43

*In preparation of drinking water from natural sources of centralized water supply system is used, consisting of illuminator and filter devices. These devices are compact incorporated in setting with the floating filter loading, that showed positive results. However, for today, not enough attention is paid to the development of the theory of processes of water purification by settings with floating loading, mathematical description of corresponding processes is practically absent in particular, so as, obviously in general case difficult processes can not be adequately enough described by elementary methods. Coming from it, in this work the mathematical model of water treatment is formed and analysed in the illuminator with the layer of hanging up sediment taking into account influence of dose of reagent and irreversible coagulation of impurity particles. The algorithm of the numerical-asymptotic approaching of decision of corresponding model small nonlinear spatial problem was built for systems of differential equations as "convection-diffusion-mass transfer." On this basis, a computer experiment is conducted. Calculation dependences of concentrations of impurities, flakes and substances for making flakes in filtration flow with the aim of engineering prognostication of dependence between production inputs of filter-illuminator and the degree of efficiency.*

**Keywords:** *model clarification water, the task with delay, spatial model, asymptotics decision, convection-diffusion-mass transfer, perturbation.*

*При подготовке питьевой воды из естественных источников централизованного водоснабжения используется система, которая состоит из осветителей и фильтрующих устройств. Эти устройства компактно объединены в установке с плавающей фильтрующей загрузкой, которая показала положи-*

тельные результаты. Однако на сегодняшний день недостаточно внимания отводится развитию теории процессов очищения воды установками с плавающей засыпкой, в частности, практически отсутствует математическое описание соответствующих процессов, так как, очевидно, в общем случае сложные процессы не могут быть достаточно адекватно описаны элементарными методами. Исходя из этого, в данной работе сформирована и проанализирована математическая модель очистки воды в осветителе со слоем зависящего осадка с учетом влияния дозы реагента и необратимой коагуляции примесных частиц. Построен алгоритм численно-асимптотического приближения решения соответствующей модельной малой нелинейной пространственной задачи для системы дифференциальных уравнений типа «конвекция-диффузия-массообмен». На этой основе проведен компьютерный эксперимент. Получены расчетные зависимости концентраций примесей, хлопьев и веществ для создания хлопьев в фильтрационном течении с целью инженерного прогнозирования зависимости между затратами на производство фильтра-осветителя и степенью эффективности его работы.

**Ключевые слова:** модель освещения воды, задача с опозданием, пространственная модель, асимптотическое решение, конвекция-диффузия-массообмен, возмущения.

#### References

1. Filipchuk V. L. Rationalizaciya tehnologicheskikh shem ochistki metalosoderjashchih mnogokomponentnyh stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij / V. L. Filipchuk // Himiya i tehnologiya vody. – Kiev : Naukova dumka, 2002. – Т. 24, № 6. – PP. 567–577.
2. Dolina L. F. Sovremennaya tehnika i tehnologii dlya ochistki stochnyh vod ot soley tyajelih metallov / L. F. Dolina // Dnepropetrovsk: Kontinent, 2008.– 254 p.
3. Babenkov E.D. Ochistka vody koagulantami / E.D. Babenkov // M.: Nauka, 1977. – 355 p.
4. Bomba A. I. Neliniyni singuliarno-zbureni zadachi typu "konvekciya – dyphuziya" / A. I. Bomba, S. V. Baranovskiy, I. M. Prisyajnik // Rivne: NUWGP, 2008. – 252 p.
5. Bomba A. I. Neliniyni zadachi typu philtraciya- konvekciya dyphuziya –masoobmin za umov nepovnyh danyh / A. I. Bomba, V. I. Gavrilyuk, A. P. Safonyk, O. A. Fursachyk // Rivne: NUWGP, 2011. – 276 p.
6. Bomba A. I. Komputerne modeluvannia procesu osvittleniya vody na proyasnivachah iz sharom zavislogo osadu / A.I. Bomba, B.M. Sivak, A.P. Safonik // Visnyk NUWGP: Zb. nauk. pr. – Вип. 4 (40).ч. 2. – Rivne: NUWGP. – 2007. – PP. 365-372.
7. Zapolskiy A.K. Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody / A.K. Zapolskiy // Pidruchnik. – K.: Vishcha shkola, 2005. – 671 p.
8. Diffusion mass transfer in fluid systems / E.L. Cussler // Cambridge University Press, 2009. — 631 p.
9. Berres S. Numerical identification of parameters for a strongly degenerate convection-diffusion problem modelling centrifugation of flocculated suspensions / S. Berres, R. Burger, A. Coronel, M. Sep'ulveda // Appl. Numer. Math., 52:311–337, 2005.
10. Modeling and simulations of polydisperse suspensions / S. Berres // Doctoral Thesis, University of Stuttgart, 2006.

**Goroshko A. V. and Royzman V. P.** Parametric tolerance synthesis as multiple inverse problem of providing complex engineering system operability.....43–50

*The paper considers the current state of the problem of parametric tolerances synthesis for complex technical systems. Given the shortcomings of the existing methods to search the area of efficiency, using the Monte Carlo method, in particular a significant amount of computation required and the lack of information on patterns of random processes, variations of system parameters. A formalization of parametric synthesis of tolerances as the inverse ensure efficiency of complex technical systems. This task should be carried out with the use of modern approaches to the solution of inverse problems in general and the particular parametric synthesis. Requested to provide tolerances as hyper parallelepiped. To construct the field of technical efficiency of the system suggested to solve the problem of incorporating sound tolerances as hyper parallelepiped to performance using criterion value, solving vector optimization problems with constraints. The requirement for a minimum cost of manufacturing the product replaced in some sense equivalent to the requirement of maximizing all tolerances. Based recommendations on the choice of the optimization method. It is shown that the approximation to clarify the area of efficiency field tolerances effectively use irregular grids as a modification of the method of matrix test and parametric synthesis method according to the criterion of efficiency of stock. Introduced in the approach to the parametric synthesis of tolerances provides a region of system performance at lower cost and is not limited to the normal distribution changes the output parameters.*

**Key words:** tolerances, parametric synthesis, operability, inverse problem.

*Рассмотрено современное состояние проблемы параметрического синтеза допусков сложных технических систем. Приведены недостатки существующих методов поиска области работоспособности, использующих метод Монте-Карло, в частности значительный объем необходимых вычислений и отсутствие информации о закономерности случайных процессов вариации параметров системы. Предложена формализация параметрического синтеза допусков как обратной задачи обеспечения работоспособности сложных технических систем. Решение этой задачи должно осуществляться с использованием современных подходов к решению обратных задач в целом и параметрического синтеза в частности. Предложено представлять поля допусков в виде гиперпараллелепипедов. Для построения области работоспособности технической системы предложено решать задачу обоснованного вписывания поля допусков в виде гиперпараллелепипеда в область работоспособности с помощью критерия стоимости, решая задачу векторной оптимизации при наличии ограничений. Требование минимальной стоимости изготовления изделия заменено в определенном смысле равносильным требованием максимизации всех допусков. Обоснованы рекомендации по выбору метода оптимизации. Показано, что для уточнения аппроксимации области работоспособности полем допусков эффективно использование нерегулярных сеток как модифицированного метода матричных испытаний и метода параметрического синтеза по критерию запаса работоспособности. Представленный в работе подход к параметрическому синтезу допусков позволяет получить область работоспособности системы с меньшими затратами, не ограничиваясь нормальным законом распределения изменения выходных параметров.*

**Ключевые слова:** допуски, параметрический синтез, работоспособность, обратная задача.

### References

1. Nazarov, D.A. (2009). An algorithm for constructing the field performance with detailed quantization search area. Proceedings of the International Symposium "The reliability and quality", T. 2, 18-22. (in Russian)
2. Abramov, O.V. (1992). Parametric synthesis of stochastic systems with regard to the requirements of reliability. Moscow. Nauka, 176p. (in Russian)
3. Antushev, G.S. (1989). Methods of parametric synthesis of complex technical systems. Moscow, Nauka, 89p. (in Russian)
4. Inshakov, A.N., Inshakov, S.A. Tolerable analysis in the design of complex technical systems. Science in Education: Electronic scientific editions. E number of PS 77 - 48211. The state registration №0421200025. ISSN 1994-0408. Mode of access to the journal: <http://www.technomag.edu.ru/doc/45563.html>
5. Abramov, O.V. Katueva, Y.V., Nazarov, D.A. (2007.). Optimal parametric synthesis by the criterion of efficiency of stock. Problems of control, №. 6, 64-69 (in Russian)
6. Digo G.B., Digo N.B. (2009). Search for the optimal values of the internal parameters of the technical system on the criterion of efficiency of stock. Proceedings of the International Symposium "The reliability and quality", 52-54. (in Russian)
7. Shiloh, G.N., Kovalenko, D.A., Gaponenko, N.P. (2009). Calculation of normal tolerances given deviation coefficients of external influences. Technology and design of electronic equipment, 15-18. (in Russian)
8. Royzman, V., Goroshko, A. (2012). Multiple inverse problem. Journal of Vibroengineering. Volume 14, Issue 3. ISSN 1392-8716. 1417-1424
9. Goroshko, A.V., Royzman V.P., Bubulis A., Juzėnas K. (2014). Methods for testing and optimizing composite ceramics-compound joints by solving inverse problems of mechanics. Journal of Vibroengineering. Vol. 16, Issue 5, 2014, 2178-2187
10. Bogdanovich, Z.P., Yukhimenko, A.I. (1971). Adoption complex multicriteria decision in economic systems. Kyiv. Ukrainian Academy of Sciences. Institute of Cybernetics, 11 p. (in Russian)
11. Gutkin, L.S. (1972). On the synthesis of the radio on several quality indicators. Moscow. Radio technology, №9. 62-65. (in Russian)
12. Sobol, I.M., Statnikov, R.B. (1981). Selection of optimal parameters in problems with many criteria. Moscow. Nauka, 110 p. (in Russian)
13. Establishment of the optimization program for solving nonlinear mathematical programming: Report on the host. Related №615. GSU. I.N. Kalinin. Gorky, 1980. -100 p. (in Russian)
14. Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, V. 15, №. 3. 234-281.
15. Digo, G.B., Digo, N.B. (2008). Using ellipsoids to describe the field of Health. Informatics and control systems, №1 (15), 22-28. (in Russian)
16. Nazarov, D.A. (2010). Binary multilevel detailing elements of the grid representation of the field performance. Proceedings of the International Symposium "The reliability and quality", T. 1. 337-341. (in Russian)

**Kravchenko O. V. and Glinko A. I.** Application of ultrasound in activation technology preflame composite fuels.....51–55

*The article is devoted to experimental studies to determine the feasibility and appropriateness of applying ultrasound for activation preflame dust fuels. In order to determine the effectiveness of ultrasound on the fuel composition (including powdered), created an experimental stand, which investigated the effect of ultrasonic oscillations on pulverized coal. Found that ultrasound disperses the pulverized coal fuel, providing the maximum effect on the fraction size of which ranges from 140 to 640 microns. These results show that sonication under certain conditions leads to the increase in the specific surface area of the pulverized fuel, its mechanochemical activation. This effect is suggested to use in devices preflame activation and atomization of fuel in order to improve energy and ecological indicators of thermal generation plants. An experimental stand and describes a method allowing to carry out comparative studies of all construction materials, including multi-layer, in order to determine their ability to transmit ultrasonic vibrations with minimal losses.*

**Keywords:** composite fuel, before the fiery activation, ultrasound.

*Статья посвящена экспериментальным исследованиям по определению возможности и целесообразности применения ультразвука для предпламенной активации пылевидных топлив. С целью определения эффективности воздействия ультразвука на композиционные топлива (в том числе пылевидные) создан экспериментальный стенд, на котором проведены исследования влияния колебаний ультразвуковой частоты на пылеугольное топливо. Установлено, что ультразвук диспергирует пылевидное угольное топливо, оказывая максимальное воздействие на фракцию, размер которой находится в диапазоне от 140 до 640 мкм. Полученные результаты показывают, что ультразвуковое воздействие при определенных режимах приводит к увеличению удельной площади поверхности пылевидного топлива, его механохимической активации. Данный эффект предлагается использовать в устройствах предпламенной активации и распыливания топлив с целью улучшения энергоэкологических показателей теплоэнергетических установок. Создан экспериментальный стенд и приведена методика, позволяющие проводить сравнительные исследования любых конструкционных материалов, в том числе многослойных, с целью определения их способности к передаче ультразвуковых колебаний с наименьшими потерями.*

**Ключевые слова:** композиционные топлива, предпламенная активация, ультразвук.

#### References

1. Kravchenko O. V., Suvorova I. G., and Kholobtsev S. S. (2008) Nonconventional Methods of Producing Artificial Composite Liquid Fuels. Vestn. SevNTU. Ser. Mekhanika, energetika, ekologiya. Sevastopol: SevNTU, Issue 87, 34–38.
2. Kravchenko O. V., Tarasenko L. V., Basteev A. V. and Forfutdinov V. V. (2007) Substantiating the Effectiveness of Using Suspension Fuels in Industrial Power Plants. Aviats.-kosmich. tekhnika i tekhnologia, No. 7(43), 44–48.
3. Kravchenko O. V. (2007) New Hydrocavitation Technologies in the Processes of Effective Production and Usage of Hydrocarbon-Containing Energy Carriers. Visn. Nats. Tekhn. Un. Kharkiv Polytechnic Institute. Kharkiv: NTU KhPI, No. 2, 171–178.
4. Kravchenko O. V., Suvorova I. G., Smirnov Y.V. and Kholobtsev S. S. (2006) Unconventional energy technologies for efficiently producing and using artificial composite liquid fuels. Scientific and technical journal NAU “HAI”. Aviats.-kosmich. tekhnika i tekhnologia. Харьков:, No. 10(36), 91–97.
5. Patent UA79,617. IPC (2006) C10G 15/00. Method of Cavitation Hydrogenation and Hydrolysis of Hydrocarbons and a Device Therefor / I.I. Miroshnichenko, Yu.M. Matsevyt, I.I. Miroshnichenko, O.V. Kravchenko, A.A. Tarelin; applicant and patent holder A.N. Podgorny Inst. Problems in Mechanical Engineering NAS of Ukraine. – No. a2005 00188; filed 10.01.2005; publ. 10.07.07, Bull. No. 10.
6. Application UA № 2005 10753 Ukraine, IPC B01F 7/00, C 10 G 7/06. Method of processing heavy oil and rotary-cavitation dispersant for its implementation / I.I. Miroshnichenko, I.G. Suvorova, Yu.M. Matsevyt, O.V. Kravchenko, A.O. Tarelin, I.I. Miroshnichenko
7. (Ukraine). – field 14.11.05.
8. Hmelev V.N. and Popova O.V. (1997) Multifunctional ultrasonic devices and their application in small industries, agriculture and at home: a scientific monograph. Alt. gos. Tehn. Univ. im. I.I. Polzynova. Barnayl: AltGTU, 160.
9. Yrazovskiy S.S. and Polockiy I.G. (1940) About dispersed by ultrasound. Colloidal. g., 6, 9, 779.
10. Agranata B.A. Ed. (1974) Ultrasonic technology. Moscow: Metallurgy.



11. Gershgal D.A. and Fidman V.M. (1974) Ultrasonic technology hardware. Moscow: Energy.
12. Markova A.I. Ed. (1975) Application of ultrasound in the industry. Moscow: Mechanical engineering.
13. Characteristics of PZT-19. <http://www.elpapiezo.ru/generalpurpose.shtml>. [On the Internet]
14. Koshkin N.N. and Shirkevich M.G. (1976) Handbook of elementary physics. Moscow: Science, 256.
15. Kikoin I.K. (1976) Tables of physical quantities. handbook Moscow: Atomizdat, 1008.
16. Kylemin A.V. (1978) Ultrasound and diffusion in metals. Moscow: Metallurgy, 199.
17. Characteristics of anthracite. <http://centrcoal.com/products/anthracite/>. [On the internet]
18. Characteristics of anthracite. [http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2\\_5\\_2\\_21\\_2.htm](http://www.ecosystema.ru/08nature/min/2_5_2_21_2.htm). [On the internet]

**Popovich A. N., Klimash A. A. and Soloviev G. I.** Development of catalytic stabilized burners for implementation of high temperature processes .....55–59

*This article is devoted to development and experimental investigation of catalytically stabilized burners with new design of catalyst. Two working prototype catalytically stabilized burners with directional infrared radiation are presented in this work. The main difference between this device is the catalyst unit. The first type of catalytic unit intended for use in smelting furnaces, where the operating temperatures ranging from 1000 °C to 1600 °C, a second type of unit - as a "light" heater. The refractory ceramic fibers "ALSIFLEX KT-1600" were used as a catalyst carrier. The refractory spinel of chromate and aluminate magnesium was used as a catalyst. As a result of development the burners has been achieved improvement technological, environmental, economic performance. Namely, has been achieved increase coefficient of efficiency up to 95% , reducing the flow of natural gas to 15% through the use of the catalyst and recovery of the exhaust gases, increase the thermal load to 55W / cm<sup>2</sup> through the use of refractory fiber, reducing to a minimum the content of CO and NO<sub>x</sub>, an increase in the proportion infrared radiation due to the developed surface of the catalytic unit, increasing reliability and safety of the burners for the work on the lean-burn, reduced capital costs..*

**Key words:** oxide catalysts, methane combustion, mineral fiber, catalytically - stabilized burner.

*Статья посвящена разработке и экспериментальному исследованию каталитически-стабилизированных горелок с новым дизайном катализатора. В работе представлены два рабочих прототипа каталитически-стабилизированных горелок с направленным инфракрасным излучением. Основное отличие между ними – это устройство каталитического блока. Первый тип каталитического блока предназначен для работы в плавильных печах, где рабочие температуры в пределах от 1000 до 1600°C, второй тип блока – в качестве «светлого» обогревателя. В качестве носителя катализатора используется огнеупорное керамическое волокно «ALSIFLEX KT-1600», а в качестве катализатора – тугоплавкая шпинель хромата и алюмината магния. В результате проведенной работы было увеличено КПД до 95%, снижен расход природного газа на 15% за счет использования катализатора и рекуперации отходящих газов, увеличена термическая нагрузка до 55Вт/см<sup>2</sup> за счет использования огнеупорного волокна, сведено к минимуму содержание CO и NO<sub>x</sub>, увеличена доля инфракрасного излучения за счет развитой поверхности каталитического блока, повышены надежность и безопасность работы горелок на обедненных смесях, уменьшены капитальные затраты. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения каталитически-стабилизированного горения углеводородного топлива как перспективной замены беспламенному поверхностному сжиганию топлива, поскольку улучшаются эксплуатационные, технологические и экологические показатели.*

**Ключевые слова:** оксидные катализаторы, сжигание метана, минеральное волокно, каталитически-стабилизированная горелка.

#### References

1. Herman, R. (1997). «Development of active oxide catalysts for the direct oxidation of methane to formaldehyde» Catalysis today 37. 1-14.
2. Iwamoto, M. (1996). «Heterogeneous catalysis for removal of NO in excess oxygen» Catalysis today 29. 29-35.
3. Burch, R. (1995). «Selective reduction of nitrogen oxides by hydrocarbons under lean – burn conditions using supported platinum group metal catalysts» Catalysis today 26. 185-206.
4. Kirienko, P. I., N. A. Kirienko and S.A. Solovev (2010). «Razrabotka mnogokomponentnykh metall-oksidnykh katalizatorov nejtralizatsii vykhlopov dvigatelej vnutrennego sgoraniya» Sxidno-evropejskij zhurnal peredovix tehnologij 6 (44). 18-24 p.
5. Kurzina, I.A., (2005). «Glubokoe okislenie metana na platinovykh i palladievyykh katalizatorax, nanesennykh na nitrid kremniya» Izvestiya tomskogo politexnicheskogo universiteta 4. 19-31.
6. Cimino, S (2000) «Methane combustion on perovskites-based structured catalysts» Catalysis today 59.

7. Klimash, A. A., G.I. Solovov and A.N. Popovich (2013) «Issledovanie kataliticheski – stabilizirovannykh gazogorelochnykh ustrojstv dlya bytovykh i promyshlennykh apparatov» *Texnichna teplofizika ta promislova teploenergetika: zbirnik naukovix prac* 5. 32-39.

**Cherny A. A., Maschenko S. V. and Honcharov V. V.** Simulation of ion-atom interactions at the corpuscular bombardment of the surface of steel samples .....59–64

*In the paper the problem of modeling of ionic implantation as the technology of influence on the surface properties of materials is solved. On the basis of existing physical models computer program "RIO" is developed. Capabilities of the software allow us to calculate the penetration depth of the ions in the target material, the formation of the deposited film and the sputtering surface. Program "RIO" takes into account the surface microgeometry, that allows to build profiles and to calculate the cross-sectional surface roughness, length of the profile, the average tilt angle, etc. Comparison of the results obtained using this model with the microanalytical data confirmed the accuracy of the developed program. For the purpose of modeling the behavior of the entire surface was investigated possibility of using neural networks. Analysis of micrographs showed high prediction accuracy relief ion-implanted surface modeling method using neural networks. The similarity values of Ra shows that the neural networks reliably reproduce the ratio of the height of the peaks and valleys of the surface. Accumulation of the results increases the accuracy of the simulation, and thus allows to control the textural characteristics of the implants. The results of research shows perspectives for application of the developed methods for the design of heat exchangers and catalytic devices, precision and tribological pairs, etc.*

**Keywords:** ionic implantation, a computer model, implants, neural networks.

*В работе решена проблема моделирования процесса ионной имплантации как технологии воздействия на поверхностные свойства материалов. На основе существующих физических моделей разработана компьютерная программа "RIO". Возможности данного программного продукта позволяют рассчитывать глубину проникновения целевых ионов в материал, образование осаждаемой пленки и распыление поверхности. Программа "RIO" учитывает микрогеометрию поверхности, что позволяет строить профили поперечного сечения и рассчитывать шероховатость, длину профиля, средний угол наклона и т.п. Сравнение результатов, полученных с помощью данной модели, с данными микроанализа подтвердило высокую точность разработанной программы. С целью моделирования характеристик по всей поверхности исследовали возможность применения метода нейронных сетей. Анализ микрофотографий продемонстрировал высокую точность прогнозирования рельефа ионно-имплантированной поверхности методом моделирования с помощью нейронных сетей. Сходство значений Ra свидетельствует, что нейросети достоверно воспроизводят соотношения высот пиков и впадин поверхности. Накопление результатов повышает точность моделирования, а значит, позволяет контролировать текстурные характеристики имплантатов. Результаты исследования открывают перспективы для применения разработанных методов при проектировании теплообменных и каталитических устройств, прецизионных и трибологических пар и т.д.*

**Ключевые слова:** ионная имплантация, компьютерная модель, имплантаты, нейронные сети.

#### References

1. Begrambekov, L., B. (2001). *Modifikatsiya poverkhnosti tverdykh tel pri ionnom i plazmennom vozdeystvii*. Moscow, Moskovskiy inzhenerno-fizicheskiy institute: 34.
2. Val'dner, V., O, et al. (1987). "Vliyaniye nizkoenergeticheskoy implantatsii na mekhanicheskiye svoystva splavov titana i zheleza." *Fizika i khimiya obrabotki materialov* 2: 18-24.
3. Kosterin, K., V. (1995). "Raspyleniye tverdykh tel ionnoy bombardirovkoj: adatomnyye mekhanizmy i vozmozhnaya rol' fononov." *Fizika i khimiya obrabotki materialov* 3: 43 48.
4. Belous, V., A., G. I. Nosov and N.A. Azarenkov (2010). "O vliyanii oblucheniya ionami Ar<sup>+</sup> na korrozionnyuyu stoykost' metallov i splavov." *Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti* 2(8): 161-168.
5. Vital'skiy, D., V. (2007). *Modifikatsiya i ekspluatatsionnyye svoystva poverkhnostey detaley mashin i instrumentov pri ionnoy implantatsii azota: dis. ... kand. tekhn. nauk* Tula: 137.
6. Nikitin, A., A. (1986). "Ionnaya implantatsiya – effektivnyy metod izmeneniya svoystv poverkhnosti metallov i splavov." *Byulleten' Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta chermeta* 23: 9-18.
7. Kalin, B., A. (2001). "Radiatsionno-puchkovyye tekhnologii obrabotki konstruksionnykh materialov." *Fizika i khimiya obrabotki materialov* 4: 5-16.

8. Goncharov, V., V. and V. O. Zazhigalov (2012). Sintez nanorazmernykh slojev aktivnykh metallov na poverkhnosti fol'gi iz nerzhavayushchey stali. Tezisy dokladov III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii Nanostrukturnyye, Russia.
9. Zelenskiy, V., F., I. M. Neklyudov and T. P. Chernyayeva (1988). Radiatsionnyye defekty i raspukhaniye metallov. Kiyev, Naukova dumka: 296.
10. Khirvonen, Dzh., K. (1985). Ionnaya implantatsiya. Moscow, Metallurgiya: 285.
11. Boyko, V., I., B. Ye. Kadlubovich and I. V. Shamanin (1991). "Vliyaniye defektnosti struktury metallov na profil' raspredeleniya vnedrennykh ionov." Fizika i khimiya obrabotki materialov 3: 56-61.
12. Nikonenko, V., A. (2001). Matematicheskoye modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov: Modelirovaniye v srede MathCAD. Praktikum. Moscow, Moskovskiy institut stali i splavov: 48.
13. Bobyl', A., V. and S. F. Karmanenko (2005). Fiziko-khimicheskiye osnovy tekhnologii poluprovodnikov. Puchkovyye i plazmennyye protsessy v planarnoy tekhnologii: Ucheb. Posobiye. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo Politekhnicheskogo universiteta: 113.
14. Fal'kone, D. (1992). "Teoriya raspyleniya." Uspekhi fizicheskikh nauk 1(162): 71-117.
15. Berish, R. (1986). Raspyleniye tverdykh tel ionnoy bombardirovkoj. Moscow, Mir: 488.
16. Keywell, F. (1955). "Measurements and Collision-Radiation Damage Theory of High-Vacuum Sputtering." Phys. Rev. 6(97): 1611-1619.
17. Antonetti, D. et al. (1988). MOP-SBIS. Modelirovaniye elementov i tekhnologicheskikh protsessov. Moscow, Radio i svyaz': 496.
18. PARTICLE INTERACTIONS WITH MATTER. Web-site James F. Ziegler: <http://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm>.
19. Dudognon, J., M. Vayer, A. Pineau and R. Erre (2008). "Grazing incidence X-ray diffraction spectra analysis of expanded austenite for implanted stainless steel." Surface & Coating Technology 20(202): 5048 – 5054.
20. Dudognon, J., M. Vayer, A. Pineau and R. Erre (2006). "Modelling of grazing incidence X-ray diffraction spectra from Mo-implanted stainless steel. Comparison with experimental data." Surface & Coating Technology 200: 5058 – 5066.
21. Pout, Dzh., K. Tu and Dzh. Meyyer (1982). Tonkiye plenki – vzaimnaya diffuziya i reaktsii. Moscow, Mir: 576.
22. Khass, G. and R. E. Tun (1968). Fizika tonkikh plenok: sovremennoye sostoyaniye issledovaniy i tekhnicheskiye primeneniya. Moscow, Mir: 331.
23. Wu, Zhongzhen, Xiubo Tian, Chunzhi Gong, Shiqin Yang and Paul K. Chu. (2013). "Micrograph and structure of CrN films prepared by plasma immersion ion implantation and deposition using HPPMS plasma source." Surface & Coating Technology 25(229): 210 - 216.
24. Liu, Hongxi, Qian Xu, Xiaowei Zhang, Chuanqi Wang and Baoyin Tang (2013). "Residual stress analysis of TiN film fabricated by plasma immersion ion implantation and deposition process." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 15(297): 1 - 6.
25. Liu, Hongxi, Qian Xu, Chuanqi Wang, Xiaowei Zhang and Baoyin Tang (2013). "Investigating the microstructure and mechanical behaviors of DLC films on AISI52100 bearing steel surface fabricated by plasma immersion ion implantation and deposition." Surface & Coating Technology 15(228): 159 - 163.
26. Gwyddion. Free SPM (AFM, SNOM/NSOM, STM, MFM, ...) data analysis software: <http://gwyddion.net/>.