

**Tarelin A. O., Orlovskij B. P., Kovaljov A. S. And Nechayev A. V.** Calculation and experimental research of influence of vapor ionization on the parameters of wet steam flow in supersonic nozzle.....3–10

*The main features of the developed mathematical model and program complex designed on its basis that allows calculating the parameters of nonequilibrium vapor condensation for the channels of adjusted geometry, taking into account volume condensation on both homogeneous and heterogeneous embryos are studied. It was found that the change in absolute values of the pressures along the flow of the nozzle obtained by calculation is in good coincidence with the experimental data. It is stated that a number of experimental studies to determine the effect of heterogeneous condensation nuclei obtained by ionization of vapor on the steam flow parameters in supersonic nozzles are carried out for the first time. For this purpose experimental bench with different capacity of steam generators were created; vapor ionizers of corona and barrier type were designed; convergent-diffuser supersonic nozzles with different Mach numbers were designed and manufactured. The possibility of reducing losses from hypothermia and condensation jumps by vapor ionization that can help to improve the efficiency and compartment's power of wet steam stages of full-scale turbines is shown. It is found that the ionization efficiency of the steam is higher when pressure is higher and steam temperature is closer to its saturation line.*

**Keywords:** steam turbine, mathematical model, ionization, nonequilibrium, condensation jump, experimental test bench, efficiency.

*Рассмотрены основные особенности разработанной математической модели, на базе которой создан программный комплекс, позволяющий выполнять расчеты параметров неравновесно конденсирующегося пара в каналах с заданной геометрией с учетом объемной конденсации как на гомогенных, так и на гетерогенных зародышах. Установлено, что изменение абсолютных значений давлений вдоль проточной части сопла, полученные расчетным путем, хорошо согласуются с экспериментальными данными. Констатируется, что впервые выполнен ряд экспериментальных исследований по определению влияния гетерогенных ядер конденсации, полученных путем ионизации пара, на параметры парового потока в сверхзвуковых соплах. Для этих целей созданы экспериментальные стенды с разной производительностью парогенераторов, разработаны ионизаторы пара коронного и барьерного типов, спроектированы и изготовлены конфузотно-диффузные сверхзвуковые сопла с различными значениями чисел Маха. Показана возможность снижения потерь от переохлаждения и скачков конденсации за счет ионизации пара, что может способствовать повышению КПД и мощности отсеков влажнопаровых ступеней натуральных турбин. Установлено, что эффективность ионизации пара тем выше, чем выше давление и чем ближе его температура к линии насыщения.*

**Ключевые слова:** паровая турбина, математическая модель, ионизация, неравновесность, скачок конденсации, экспериментальный стенд, КПД.

#### References

1. Stodola, A. (1922). Dampf- und Gas- Turbinen, Berlin, Verlag von Julius Springer.
2. Garmathy, G. (1962). Grundlagen einer Theorie der Nabdampfturbine, Zurich.
3. Frankel, Y. I. (1959). Collection of selected works. V. 3. Kinetic theory of liquids, Moscow., Leningrad, USSR Academy of Sciences.
4. Saltanov, G. A. (1972). Supersonic two-phase flows, Minsk, Vyshaya Shkola.
5. Saltanov, G. A. (1979). Nonequilibrium and nonstationary processes in gas dynamics of single-phase and two-phase media, Moscow, Nauka.
6. Filippov, G. A. and Povarov, O. A. (1979). "Investigation of the influence of hydrophobic additives on the turbine stages of wet steam." Thermal Engineering 6: 33–35.
7. Deitch, M. E. (1986). "Influence of additives of octadecylamine (ODA) on the structural and energy characteristics of two-phase flow." Thermal Engineering 9: 14–18.
8. Patent № 2385259 of Canada, МПК6 F 01 D 25/30. Device to increase turbine efficiency by removing electric charge from steam / A. O. Tarelin, V. P. Skliarov (Ukraine), O. Weres (USA). № 20022385259; application 16.05.02; published 22.11.02. Access mode: ru.espacenet.com.
9. Tarelin, A. A., Sklyarov, V. P. and Kovalev, A. S. (2008). "Mathematical modeling of processes occurring during the nonequilibrium expansion of the wet steam. "Problems of mechanical engineering V. 11, № 1 : 3–7.
10. Tarelin, A. A. and Sklyarov, V. P. (2011). Steam turbines: electrophysical phenomena and nonequilibrium processes, St. Petersburg, Energotech.

11. Sklyarov, V. P. and Kovalev, A. S. (2012). "Development of physical principles for determining the concentration of heterogeneous embryos of condensation in an expanding in the two-phase area steam." Proceedings of the National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute'. Collected Works. Special Issue: "Power and thermal processes and equipment." – Kharkov: NTU "KPI". № 7: 88–96.
12. Tarelin, A. A. (2014). "Electrization of wet-steam and its impact on the reliability and efficiency of turbines." Thermal Engineering 11: 21–28.

**Tertyshnyi I. N., Prilipko S. A. and Parafeynik V. P.** Thermodynamic analysis issues of operating process efficiency of booster turbo-compressor packages with gas turbine drive. Part II ..... 10–18

*The results of system analysis of operating process efficiency for booster turbo-compressor package (GPA) TKA-C-6,3A/77-4,37 modifications with power 6,3 MW based on gas turbine engine (GTE) of D-336 type designed by ZMBK Ivchenko Progress and natural gas centrifugal compressor (CC) designed by Sumy NPO PJSC are set out. The data on exergy loss in the package components are obtained that is the reason for its further updating. It is shown that intermediate cooling of gas in two stage centrifugal compressor allows to reduce exergy losses in compression sections, air cooling units and to provide the higher characteristics of GPA efficiency that shows higher exergy efficiency and fuel gas saving while gas main pipeline running. The technology fundamentals of operating process efficiency analysis of natural gas GPA, equipped with aircraft GTE, CC with single-stage and two-stage compression, compressing gas cooling system based on air cooling unit as well as process system and some auxiliary systems were presented in the I part of the work (see "Issues of Machine Building", T.18, No.4/1, 2015). The analysis of the package operating process has been made using exergy method striking mass, power and exergy balances. Exergy efficiency was used as system index of thermodynamic perfection of GPA and its components. Exergy losses were determined as two components: exergy destruction and exergy losses connected with thermal interference of analyzed component with environment.*

**Key words:** turbo-compressor package, centrifugal compressor, exergy, exergy efficiency factor, destruction.

*Представлены результаты системного анализа эффективности рабочего процесса модификаций дожимного газоперекачивающего агрегата (ГПА) ТКА-Ц-6,3А/77-4,37 мощностью 6,3МВт, создаваемого на основе газотурбинного двигателя (ГТД) типа Д-336 конструкции ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» и центробежных компрессоров (ЦК) природного газа конструкции ПАО «Сумское НПО». Получены данные о потерях эксергии в элементах агрегата, что является основой его дальнейшего совершенствования. Показано, что введение промежуточного охлаждения газа в двухкаскадном ЦК позволяет снизить потери эксергии в секциях сжатия, аппаратах воздушного охлаждения и обеспечить более высокие характеристики эффективности ГПА, что проявляется в более высоком эксергетическом коэффициенте и экономии топливного газа при работе магистрального газопровода. В I части работы (см. «Проблемы машиностроения», Т.18, №4/1, 2015г.) были представлены основы методики анализа эффективности рабочего процесса ГПА природного газа, оснащенных ГТД авиационного типа, ЦК с однокаскадным и двухкаскадным сжатием, системой охлаждения компримируемого газа, создаваемой на основе аппаратов воздушного охлаждения, а также технологическим контуром и рядом вспомогательных систем. Анализ рабочего процесса агрегата выполнялся с использованием эксергетического метода с соблюдением массового, мощностного и эксергетического балансов. В качестве системного показателя термодинамического совершенства ГПА и его элементов применялся эксергетический КПД. Потери эксергии определялись в виде двух составляющих: деструкция эксергии и потери эксергии, связанные с наличием теплового взаимодействия анализируемого элемента с окружающей средой.*

**Ключевые слова:** газоперекачивающий агрегат, центробежный компрессор, эксергия, эксергетический коэффициент полезного действия, деструкция.

#### References

1. Tertyshnyi I. N., Prilipko S. A., Miroshnichenko E. A., Parafeynik V. P. "Thermodynamic Analysis Issues of Operating Process Efficiency for Booster Turbo-Compressors with Gas Turbine Drive. Part I" Problems of Mechanical Engineering. – T. 18 (4/1): 9-17.
2. 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.Podgorny. – Kharkov, 2014. – P. 269.

3. Morosuk T., Tsatsaronis G. "A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines" Energy 33: 890-907.
4. Morosuk T. V. "New phase in exergy analysis development" Refrigerating Engineering and Technology. – 2014, No.4 (150): 13-14.
5. Parafejnik V. P., Petukhov I. I., Syryi V. N., Shakhov Yu. V. "Thermodynamic analysis of ACU efficiency as a part of oil gas compressor unit" Chemical and Oil and Gas Machine building. 2004 (8): 23-27.
6. Parafejnik V. P., Lazorenko R. A., Prilipko S. A., Rogachev V. A., Semenayko A. V. "ACU efficiency analysis as stand- alone product and element of energo-technological system to compress hydrocarbon gas" Writings of XVI International Science and Technical Conference on Compressor Building. – St.Petersburg.: REP Holding. – 2014, T.1: 385–398.

*Heat Transfer in Engineering Constructions*

**Bozbiei L. S., Kostikov A. O. and Tkachenko V. I.** Heat and mass transfer in the heated from below free cylindrical elementary convection cell with a conical cavity bottom..... 19–24

*The problem of thermal convection of a viscous incompressible fluid in a cylindrical elementary convective cell with a conical bottom and free boundary conditions is considered. The analytical solutions of a stationary linear Rayleigh problem in the case of free boundary conditions as basic functions should be used. The spatial field distribution of the flow velocities in the cell with conical bottom was defined. Stokes' functions are built in a cylindrical free convective cell with plane boundaries and in the conical cavity bottom as well. Current lines distributions in cells with different model functions are qualitatively alike; different model functions of current lines differ in the numerical value of their maximum. The distribution model Stokes' streamlines temperature perturbations in a cylindrical elementary convective cell with a conical bottom and free boundary conditions are obtained based on the Fujiwara effect.*

**Key words:** elementary convection cell, free boundary, convective processes, heat transfer, temperature gradient.

*Рассмотрена задача о тепловой конвекции вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической элементарной конвективной ячейке с конически углубленным дном и свободными граничными условиями. В качестве базовых функций использовались аналитические решения стационарной линейной задачи Рэлея в случае свободных граничных условий. Определено пространственное поле распределения скоростей потока в ячейке с коническим дном. Построены функции Стокса в цилиндрической свободной конвективной ячейке с плоскими границами, а также в коническом углублении дна ячейки. Распределения линий тока в ячейках с различными модельными функциями качественно подобны, распределения линий тока в ячейках с различными модельными функциями отличаются максимальной величиной функции Стокса. На основании эффекта Фудзивары получены модельные распределения линий тока Стокса и возмущенной температуры в цилиндрической элементарной конвективной ячейке с конически углубленным дном и свободными граничными условиями.*

**Ключевые слова:** элементарная конвективная ячейка, свободные границы, конвективные процессы, теплоперенос, температурный градиент

**References**

1. Strutt J. W. (Lord Rayleigh): On convection currents in a horizontal layer of fluid when the higher temperature is on the under side, Phil. Mag., 32, 529 – 546 (1916).
2. Gershuni G. Z., Zhuxovickij E. M.: Convective stability of incompressible fluid, Science, Moscow, (1972) (in Russian).
3. Getling, A. V.: Formation of spatial structures of Rayleigh-Benard convection. Advances of physical sciences. 161, Issue 1, 1–80 (2012) (in Russian).
4. Zierep J.: Über rotationssymmetrische Zellularkonvektionsströmungen. Z. Agev. Mah. Mech. Bd., 39, Issue 7/8, 329-333, (1958).
5. Koschmieder E. L.: Benard Cells and Taylor Vortices. Cambridge University Press, (1993).
6. Bozbiei L. S.: Elementarnaya konvektivnaya yacheyka v sloe nesjumaemoy, vjazkoy judkosti. Konferenciya molodich uchenuch I specialistov IPMas NAN Ukrainu, X, Kharkov, (2013) (in Russian).
7. Bozbiei L. S., Kostikov A. O., Tkachenko V. I. Elementary Convective Cell in Incompressible Viscous Fluid and its Physical Properties. International Conference MSS-14 "Mode Conversion, Coherent Structures and Turbulence", Space Research Institute, Russia, Moscow, (2014).

8. Bozbey L. S., Borts B. V., Kostikov A. O., Tkachenko V. I.: Formation of Elementary Convective Cell in Horizontal Layer of Viscous Incompressible Fluid, East-European J. of Phys., 4, Issue 1, 49–56 (2014).
9. Bozbey L. S., Kostikov A. O., Tkachenko V. I.: Destruction of Bernard Cells Under Local Irregularities of Thermal Equilibrium and their Forming Over the Bernard Cells, East-European J. of Phys., 2, Issue 2, 24–33, (2015).
10. Vinnikov S. D., Proskuryakov B. V.: Gidrofizika: uchebnik dlya vuzov, Gidrometeoizdat., (1988) (in Russian).
11. Landau L. D., Livshits E. M.: Teoreticheskaya fizika: Gidrodinamika, Nauka, (1986) (in Russian).
12. Korn G. A., Korn T. M.: Spravochnik po matematike dlya nauchnuch rabotnikov I inginerov, Nauka, (1977) (in Russian).
13. Fujiwhara S.: The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 47, Issue 200, 287–292, (1921).

### *Dynamics and Strength of Machines*

**Avramov K. V., Raimberdiyev T. P., Shehvatova Ye. M.** Resonance subharmonic vibrations of beam with breathing fatigue crack.....25–30

*The vibrations of the beam with breathing crack are described by the partial differential equation with contact parameter. The quasi linear dynamical system with finite degrees of freedom is obtained to analyze the beam vibrations. In order to obtain this dynamical system the solution is expanded by eigenmodes. The Galerkin method is applied to the partial differential equation, which is described the beam vibration. It is shown, when the stiffness matrix of the beam with crack is symmetric and when it is asymmetric. The multiple scales method is used to analyze the quasilinear dynamical system. The considered dynamical system contains the internal resonance. The second main resonance is analyzed. The system of four autonomous differential equations is obtained. The characteristic exponents of the linearized modulation equations are calculated to analyze stability of the periodic motions. The frequency response at the second principal resonance is obtained. This frequency response describes the system subharmonic vibrations.*

**Keywords:** vibrations of beam with breathing crack, Galerkin method, finite degree of freedom dynamical system, multiple scales method, principle resonance.

*Колебания балки с дышащей трещиной описываются уравнениями в частных производных с параметром контакта. Для исследования колебаний этой балки получена квазилинейная динамическая система с конечным числом степеней свободы. Для вывода этой системы решения раскладывались по формам линейных колебаний. Метод Галеркина применялся к уравнению в частных производных, описывающему колебания балки с трещиной. Показано, в каких случаях матрица жесткости балки с трещиной является симметричной, а в каких – несимметричной. Для исследования квазилинейной динамической системы применялся метод многих масштабов. Рассматриваемая динамическая система содержит внутренний резонанс. Отметим, что анализу подвергается второй основной резонанс. В результате получена система четырех автономных модуляционных уравнений, описывающая колебания системы. Для исследования устойчивости периодических колебаний рассчитываются характеристические показатели линеаризованной системы модуляционных уравнений. Получена амплитудно-частотная характеристика в области второго основного резонанса. Она описывает субгармонические колебания системы.*

**Ключевые слова:** уравнение колебаний балки с дышащей трещиной, метод Бубнова–Галеркина, динамическая модель с конечным числом степеней свободы, метод многих масштабов, основной резонанс.

#### **References**

1. E. Luzzato. Approximate computation of non-linear effects in a vibrating cracked beam. J. of Sound and Vibr. Vol. 265. p. 745–763 (2003)
2. S. Christides, A. D. S. Barr. One- dimensional theory of cracked Bernoulli- Euler beams. Int. J. Mech. Sci. Vol. 26. p. 639- 648 (1984)
3. M.-H. H. Shen, C. Pierre. Free vibrations of beams with a single-edge crack. J. of Sound and Vibr. Vol. 170. p. 237-259 (1994)
4. M.-H. H. Shen, Y. C. Chu. Vibrations of beams with a fatigue crack. Comp. and Struc. Vol. 45. p. 79–93 (1992)

5. Y. C. Chu, M.-H. H. Shen. Analysis of forced bilinear oscillators and the application to cracked beam dynamics. *AIAA Journal*. Vol. 30. p. 2512–2519 (1992)
6. T. G. Chondros, A. D. Dimarogonas, J. Yao. A continuous cracked beam vibration theory. *J. of Sound and Vibr.* Vol. 215. p. 17–34 (1998)
7. A. H. Nayfeh, D.T. Mook. *Nonlinear oscillations*. New York: Wiley, 1988.

**Safonyk A. P. and Targonyi I. M.** The computer modeling of aerobic processes wastewater treatment .....31–36

*The work is devoted to the problem of wastewater treatment from various impurities. To avoid corrupting influence of anthropogenic factors using various treatment system filters the most common of which are biological. There are a number of problems that require deep study or interpretation despite the large number of works devoted to this subject. In particular, the works of the biological treatment is considered as a process and believe that the quality of treatment affect the basic geometric dimensions of structures. Some authors describe processes in manufacturing facilities in the biological purification of waste water only partially, not including all mutual influences. According to the research of process of aerobic wastewater treatment, the mathematical model was developed. It describes the processes of changing the concentration of bacteria, organic and biological materials and includes the interact of these parameters with each other. Based on calculations the influence of the main parameters of the efficiency of biological treatment were considered. The influence of oxygen concentration and sludge on the quality of the cleaning process was shown.*

**Keywords:** mathematical model, aerobic treatment, reverse effect, asymptotics, waste water, active sludge.

*Работа посвящена актуальной проблеме очистки сточных вод от разного рода примесей. Для предотвращения губительного влияния технологического фактора используют различные системы очистных фильтров, самыми распространенными из которых являются биологические. Несмотря на большое количество работ, посвященных данной теме, есть ряд задач, которые требуют углубленного изучения или решения. Например, в части работ биологическая очистка рассматривается как технологический процесс и считается, что на качество очистки основным образом влияют геометрические размеры конструкций. Некоторые авторы описывают процессы, происходящие в технологических объектах при биологической очистке сточных вод, лишь частично, не учитывая всех взаимных влияний. Исходя из этого для исследования процесса аэробной очистки сточных вод построена математическая модель, описывающая процессы изменения концентраций бактерий, органического и биологически неокислительного веществ и учитывающая взаимодействие этих параметров между собой. Разработан алгоритм решения соответствующей модельной задачи, на основе которого проведен компьютерный эксперимент средствами пакета прикладных программ MatLab. На основе результатов расчетов рассмотрено влияние основных параметров на эффективность биологической очистки, а также показано влияние концентрации кислорода и активного ила на качество процесса очистки.*

**Ключевые слова:** математическая модель, аэробная очистка, обратное влияние, асимптотика, сточные воды, активный ил.

**References**

1. Bomba, A., A. Safonyk (2013). “Mathematical modeling of aerobic wastewater treatment in porous medium.” *Zeszyty Naukowe WSInf* 12(1): 21–29.
2. Adetola, V., D. Lehrer, et al. (2011). Adaptive estimation in nonlinearly parameterized nonlinear dynamical systems. *Americ. American Control Conf. on O’Farrell Street. San Francisco*: 31–36.
3. Boulkroune, B., M. Darouach, S. Gille, et al. (2009). A nonlinear observer for an activated sludge wastewater treatment process. *American. American Control Conference*: 1027–1033.
4. Brun, R., M. Kiihni, W. Gujer et al. (2002). “Practical identifiability of ASM2d parameters – systematic selection and tuning of parameter subsets.” *Water Research* 36: 4113–4127.
5. Brune, D. (1985). “Optimal control of the complete-mix activated sludge process.” *Environmental Technology* 6(11): 467–476.
6. Dochain, D., P. Vanrolleghem. (2001). *Dynamical modelling and estimation in wastewater treatment processes*. London: IWA Publishing: 342.

7. Henze, M., G. P. L. Grady, W. Gujer et al. (1987). Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment processes. London. Activated sludge model no. 1. Scientific and Technical Report 1, IAWPRC: 243.
8. Henze, M., W. Gujer, T. Mino et al. (2000). Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment. London. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. Scientific and Technical Report 9, IWA Publishing: 122.
9. Knightes, G. D. (2000). "Peters Statistical analysis of nonlinear parameter estimation for monod biodegradation kinetics using bivariate data." *Biotechnol. Bioeng.* 69(2): 160–170.
10. Ghai, Q., Q. Ghai. (2008). Modeling, estimation and control of biological wastewater treatment plants. Doctoral Theses at NTNU, Porsgrunn. Telemark University College: 187.

**Budanov V. E., Budanov O. V. and Suslov N. N. On the energy of a magnetostatic field.....37–43**

*Certain facts cast some doubt upon the 'plus' sign of the term for the energy flux of a magnetostatic field in the Poynting formula. To cite an example, consider two equal point charges moving uniformly with equal velocities. Generally the electric repulsive forces act on the charges, being directed along the line connecting them. At the same time, components of the magnetic attracting forces act along the same line, and so the work required to bring the charges together is smaller than if magnetic interaction were absent. This fact motivates the hypothesis that the energy of a magnetostatic field is negative. A force action of electrostatic and magnetostatic fields localized in a uniformly moving ellipsoidal layer on a point charge moving synchronously outside the layer is discussed using the virtual work principle. It is shown that in order to avoid violation of the principle of the conservation of energy (as well as of the relativity principle) the energy of a magnetostatic field must be negative. In our proof we are dealing with the energy of 'co-occurrence' of two simplest objects of classical electrodynamics – the point charges  $q_T$  and  $q_C$ . The entire space around the charge  $q_C$  may be considered as subdivided into spherical (or ellipsoidal) layers; for each of these layers the theorem on negativity of the energy of a magnetostatic field is proved.*

**Keywords:** magnetostatic layer energy, principle of a virtual work, ellipsoidal layer.

*Сомнения в достоверности знака «плюс», стоящего перед слагаемым для плотности энергии магнитостатического поля в формуле Пойнтинга, следует, например, из такого факта. Если взять два одинаковых точечных заряда, равномерно движущихся с одинаковыми скоростями, то в общем случае на заряды будут действовать силы электрического отталкивания, направленные вдоль прямой, их соединяющей. Но вдоль этой же линии будут действовать составляющие сил магнитного притяжения, так что для сближения зарядов будет затрачена работа, меньшая той, когда бы магнитное взаимодействие отсутствовало. И этот факт обуславливает выдвижение гипотезы об отрицательности энергии магнитостатического поля. С использованием принципа виртуальной работы рассмотрено силовое воздействие статических электрического и магнитного полей, локализованных в равномерно движущемся эллипсоидальном слое на синхронно с ним движущийся вне слоя точечный заряд. Показано, что во избежание нарушения принципа сохранения энергии (равно как и принципа относительности) статическое магнитное поле должно обладать отрицательной энергией.*

**Ключевые слова:** энергия магнитостатического слоя, принцип виртуальной работы, эллипсоидальный слой.

**References**

1. Feynman, R. P. The Feynman Lectures on Physics, 3 vols., Vol. 2. / R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands. Redwood City, CA, Addison-Wesley, 1989.
2. Budanov, V. E., On one equivalent formulation of the foundations of the Faraday-Maxwell electrodynamics / V. E. Budanov – Kharkov, 1992 – 47 p. – (Preprint / Academy of Sciences of Ukraine, Institute for Mechanical Engineering Problems, No. 362).
3. Budanov, V. E., Particular features of electric field lines of a point charge / V. E. Budanov // *Radiofizika i Elektronika*, No. 2, 144–157, 2000.
4. Budanov, V. E. A virtual work principle in the theory of the Aharonov-Bohm effect / V. E. Budanov, and O. V. Budanov – Kharkov, 2011. – 24 p. – (Preprint / Academy of Sciences of Ukraine, Institute for Mechanical Engineering Problems, No. 404).

**Khud O. M.** Solving the problem of optimal packing of homothetic ellipsoids into a container of minimal volume.....44–49

*The paper studies the packing problem of homothetic the same oriented ellipsoids into a container of minimal volume. The container can be a rectangular parallelepiped or an ellipsoid. We formulate the model in the form of a nonlinear programming problem. To construct the non-overlapping and containment constraints using of phi-function technique. We propose the efficient algorithm, which employes a homothetic transformation of ellipsoids and the optimization procedure Local Optimization with Feasible Region Transformation (LOFRT), which allow us to reduce considerably the dimension of the problem and computational time. Our algorithm also involves generating a number of random starting points. We choose the best local minimum as the solution of the problem. Our model can be realized by the current state-of-the art local or global solvers. A several computational results are provided.*

**Keywords:** optimal packing, homothetic ellipsoids, phi-functions, starting point, non-overlapping, containment, nonlinear optimization, iterative procedure, LOFRT procedure.

*Рассматривается задача оптимизации упаковки гомотетических одинаково ориентированных эллипсоидов в контейнере минимального объема. Строится математическая модель в виде задачи нелинейного программирования. Ограничения непересечения эллипсоидов и их включения в контейнер построены с использованием метода phi-функций В качестве контейнера рассматривается либо прямоугольный параллелепипед переменной длины, ширины и высоты, либо эллипсоид с переменным коэффициентом гомотетии. Предлагается алгоритм поиска локально оптимальных решений. с использованием гомотетических преобразований эллипсоидов и оптимизационной процедуры, позволяющей свести задачу с большим числом неравенств к последовательности задач с меньшим числом неравенств. Для поиска локальных минимумов задачи используется подход, в основе которого лежит метод мултистарта и оптимизационная процедура, включающая поиск допустимых стартовых точек и локальную оптимизацию. В качестве локально-оптимального решения выбирается наилучший из полученных локальных экстремумов. С целью минимизации числа нелинейных неравенств, формирующих область допустимых решений, предложена процедура LOFRT, которая позволяет значительно сократить вычислительные ресурсы. Приводятся результаты численных экспериментов.*

**Ключевые слова:** оптимальная упаковка, гомотетические эллипсоиды, phi-функции, стартовые точки, непересечение, включение, нелинейное программирование, итерационная процедура, процедура LOFRT.

#### References

1. Wright S. J. Packing Ellipsoids with Overlap. SIAM Review, 55(4):671-706. 2013.
2. Kallrath J. Packing ellipsoids into volume-minimizing rectangular boxes. Journal of Global Optimization. DOI:10.1007/s10898-015-0348-6.
3. Pankratov A., Romanova T., Khud O. Quasi-phi-functions in packing of ellipsoids. Radioelectronics & Informatics, 68:37–42. 2015.
4. Lubachevsky B. D., Stillinger F. H. Geometric properties of random disk packings. Journal of Statistical Physics, 60 (5–6):561-583. 1990.
5. Bennell J. A., Oliveira J. F. A tutorial in irregular shape packing problem. Journal of the Operational Research Society. 2009. 60:93–105.
6. Chernov N., Stoyan Yu., Romanova T. Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. Computational Geometry: Theory and Applications. 2010. Vol. 43, № 5. P. 533-553.
7. Stetsuk P. I., Romanova T. E., Subota I. O. NLP-zadacha upakovky homotetychnyh elipsiv u priamokutnyi konteiner. Teoriya optimalnyh rishen: zb. nauk. pr. – Kiev: In. kibernetiky im. V. M. Hkushkova NAN Ukrainy. 2014. S. 139-146.
8. Stoyan Yu. G. A mathematical model and a solution method for the problem of placing various-sized circles into a strip / Yu. G. Stoyan, G. N. Yaskov. European Journal of Operational Research. 2004. Vol. 156. P. 590–600.
9. Stoyan Y., Pankratov A., Romanova T. Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. Journal of Global Optimization. 2015. DOI:10.1007/s10898-015-0331-2.

**Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V. and Gritsay O. L.** Building and research of operator approximation of functions of two variables with preservation of class  $C^r(R^2)$  for traces of derivatives to a fixed order in the specified line .....50–57

*The problem of constructing a function with preservation of differentiability class has very important applications in the theory and practice of solving boundary value problems in which the boundary conditions are expressed by differential operators of the first, second and higher orders. In particular, in the solution of the biharmonic equation, if the boundary conditions are not uniform, the structural method for solving boundary value V. L. Rvachev's problems this problem is one of the most important. If the first derivative with respect to the normal to the boundary of the region in one or more points is a continuous or once differentiable function of one variable, the existing methods for constructing structures of boundary value problems will be automatically carry these qualities into the domain of integration. At the same time the classical methods of solving boundary value problems continue to monitor the solution inside the domain while preserving infinitely differentiable. In this article construction and research of an operator of approach of functions of 2 variables with preservation of a class  $C^r(R^2)$  with help these tracks and tracks these derivations of the fixed order on given curve. Development of the methods of the recovery of the functions of two variables with preservation of the class  $C^r(R^2)$  in the neighborhood curve of the class  $C^r$ . The methods using the tracks the functions and tracks these derivations until of the fixed order on given curve.*

**Keywords:** preservation of differentiability class, function traces, the traces of the derivatives on the line, Taylor polynomial in one variable.

*Проблема построения функции с сохранением класса дифференцируемости имеет очень важные применения в теории и практике решения краевых задач, в которых граничные условия выражаются дифференциальными операторами первого, второго и более высоких порядков. В частности, при решении бигармонического уравнения, если граничные условия являются неоднородными, то в структурном методе решения краевых задач В. Л. Рвачева эта проблема является одной из важнейших. Если первая производная по нормали на границе области в одной или нескольких точках является лишь непрерывной или один раз дифференцируемой функцией одной переменной, то существующие методы построения структур краевых задач автоматически будут эти свойства переносить внутрь области интегрирования. В то же время классические методы решения краевых задач продолжают след решения внутрь области с сохранением бесконечной дифференцируемости. В данной работе предложены и исследованы методы построения операторов восстановления дифференцируемых функций двух переменных в окрестности гладкой линии  $\Gamma: \omega(x, y) = 0 \omega \in C^r(R^2)$ , которые сохраняют класс дифференцируемости  $C^r(R^2)$ . Методы используют для построения указанных операторов следы восстанавливаемой функции и её частных производных по одной переменной до заданного порядка на указанной линии.*

**Ключевые слова:** сохранение класса дифференцируемости, следы функции, следы производных на линии, полином Тейлора по одной переменной.

#### References

1. Vidnovlennya funktsiy dvoh zminnyh iz zberezhennyam klasu  $C^r(R^2)$  za dopomogoyu ih slidiv ta slidiv ih pohidnyh do fiksovanogo poryadku na zadaniy linii / I. V. Sergienko, O. M. Lytvyn, O. O. Lytvyn, O. V. Tkachenko, O. L. Gritsay // Dop. NAN Ukrainy. - 2014. - №2. - S. 50–55. (in Ukrainian)
2. Sergienko, I. V. Sistemnyi analiz / I. V. Sergienko, V. S. Dejneka. – Kiev: Nauk. dumka, 2013.– 500 s. (in Russian)
3. Sergienko, I. V. Elementy zagal'noi teorii optymal'nyh algorytmiv I sumizhni pytannya / I. V. Sergienko, V. K. Zadiraka, O. M. Lytvyn – K.: Nauk. dumka, 2012. – 404 s.
4. Tihonov, A. N. Uravneniya matematicheskoi fiziki / A. N. Tihonov, A. A. Samarskiy – M.: Nauka, 1966. – 724 s. (in Russian)
5. Kvasov, B. I. Metody izogeometricheskoi approksimatsii splaynami / B. I. Kvasov. – M.: Fizmatlit, 2006. – 360 s. (in Russian)
6. Shilov, G. E. Matematicheskiy analiz. Vtoroy spets. kurs / G. E. Shilov. – M.: Nauka, 1965. – 327 s. (in Russian)
7. Nikol'skiy, S.M. Priblizhenie funktsiy mnogih peremennyh I teoremy vlozheniya / S. M. Nikol'skiy. – M.: Nauka, 1969. – 480 s. (in Russian)
8. Besov, O. V. Integral'nye predstavleniya funktsiy I teoremy vlozheniya / O. V. Besov, V. P. Il'in, S. M. Nikol'skiy – M.: Nauka, 1975. – 480 s. (in Russian)



9. Stein, I. Singul'arnye integraly I differentsial'nye svoistva funktsiy / I. Stein. – M.: Mir, 1973. – 342 c. (in Russian)
10. Vladimirov, V. S. Obobschennye funktsii v matematicheskoy fizike / V. S. Vladimirov. – M.: Nauka, 1979. – 318 s. (in Russian)
11. Hermander, L. Differentsial'nye operatory s postoyannymi koeffitsientami / L. Hermander. – M.: Mir, 1986. – 455 s. (in Russian)
12. Matematicheskaya entsiklopediya / Pod. red. I. M. Vinogradova: v 5 t. – M.: Sov. entsiklopediya, 1984. – T.5. – 1215 s. (in Russian)
13. Lytvyn, O. M. Interpolyatsiya funktsiy ta ih normal'nyh pohidnyh na gladykh liniyah v  $R^n$  / O. M. Lytvyn // Dop. AN URSSR. – 1984. – № 7. – S. 15–19. (in Ukrainian)
14. Lytvyn, O. M. Tochnyi rozvyazok zadachi Koshi dlya rivnyannya  $\prod_{i=0}^n \left( \frac{\partial}{\partial t} - a_i^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) u(x,t) = g(x,t)$  / O. M. Lytvyn // Dop. AN URSSR. – 1991. – № 3. – S. 12–17. (in Ukrainian)
15. Lytvyn, O. M. Interfletatsiya funktsiy pry rozvyazuvanni tryvymirnoi zadachi teploprovodnosti: monografiya / O. M. Lytvyn, L. I. Gulik – K.: Nauk. dumka, 2011. – 210 s. (in Ukrainian)
16. Lytvyn, O. M. Interlinatsiya funktsiy ta deyaki ii zastosuvannya / O. M. Lytvyn – Kharkiv: Osnova, 2002. – 544 s. (in Ukrainian)
17. Lytvyn, O. M. Interlinatsiya funktsiy / O. M. Lytvyn – Kharkiv: Osnova, 1993. – 235 s. (in Ukrainian)
18. Lytvyn, O. M. Metody obchislen'. Dodatkovi rozdily / O. M. Lytvyn – Kyiv: Nauk. dumka, 2005. – 331 s. (in Ukrainian)
19. Sergienko, I. V. Matematychnye modelyuvannya v kompyuterniy tomografii z vykorystanniam interfletatsii funktsiy / I. V. Sergienko, O. M. Lytvyn, U. I. Pershina // Monografiya. – Kharkiv, 2008, 160 s. (in Ukrainian)
20. Optymal'ni algoritmy obchislennya integraliv vid shvydkoostsiluuchykh funktsiy ta ih zastosuvannya: U 2 t. T. 1. Algoritmy / I. V. Sergienko, V. K. Zadiraka, O. M. Lytvyn, S. S. Mel'nikova, O. P. Nechuyviter. – K.: Nauk. dumka, 2011.– 447 s. (in Ukrainian)
21. Optymal'ni algoritmy obchislennya integraliv vid shvydkoostsiluuchykh funktsiy ta ih zastosuvannya: U 2 t. T. 2. Zastosuvannya / I. V. Sergienko, V. K. Zadiraka, O. M. Lytvyn, S. S. Mel'nikova, O. P. Nechuyviter – K.: Nauk. dumka, 2011. – 348 s. (in Ukrainian)

**High Technology in Mechanical Engineering**

**Kanyuk G. I., Babenko I. A., Mezerya A. Yu., Kozlova M. L., Suk I. V. and Serdyuk A. V.** Unified structure of the precision high-speed energy system and resource-saving automatic control and regulation.....58–67

*It is considered one of the main problems of saving energy and resources, namely the creation and introduction of new efficient technologies and technological systems in all fields of technology and industry. As a solution to this problem is proposed use of mechatronic systems with electrohydraulic servo actuators (EHSA), which are currently considered as electro-hydraulic servo system (EGSS). Their use is justified by the fact that they combine a high specific energy characteristics of the electro-hydraulic mechanisms with intelligent control and information capabilities of microprocessor electronics and allow a high degree of accuracy and speed of playback control actions, that vary in the an arbitrary, including and previously unknown laws. The algorithm for selecting the optimal circuit design of electrohydraulic drive EHD. On the basis of this algorithm is chosen the most effective typical version of the concept for use in high-speed precision EGSS - EHD single-channel version with separate volume-throttle speed control. With the direct participation of the author of this paper conducted a cycle of research and development activities in the course of which two sizes of part-turn hydraulic motors have been created. Challenge definition of introducing energy-saving of automatic systems of technological objects and processes. It is proposed as an effective management solution, based on the methods of system analysis and mathematical modeling.*

**Keywords:** mechatronic systems, resource saving, electro-hydraulic servo system, electrohydraulic drive, automatic control system.

*Рассмотрена одна из основных проблем энерго- и ресурсосбережения, а именно, создание и внедрение новых эффективных технологий и технологических систем во всех отраслях техники и промышленности. В качестве решения этой проблемы предложено использование мехатронных систем со следящими*

электрогидравлическими исполнительными механизмами, которые в настоящее время рассматриваются как электрогидравлические следящие системы (ЭГСС). Их использование обосновано тем, что они совмещают в себе высокие удельные энергетические характеристики электрогидравлических механизмов с интеллектуальными и информационными возможностями управляющей микропроцессорной электроники и позволяют с высокой точностью и скоростью воспроизводить управляющие воздействия, которые изменяются по произвольным, в т. ч. и заранее неизвестным законам. Разработан алгоритм выбора оптимального схемного решения электрогидравлического привода (ЭГП). На основании данного алгоритма выбран наиболее эффективный типовой вариант принципиальной схемы для использования в быстродействующих прецизионных ЭГСС – одноканальный ЭГП раздельного исполнения с объемно-дроссельным регулированием скорости. При непосредственном участии автора настоящей статьи проведен цикл научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в ходе которого были созданы два типоразмера неполноповоротных гидродвигателей. Раскрыта проблема внедрения энергосберегающих систем автоматического управления технологическими объектами и процессами. Предложено решение в виде эффективного управления, основанное на методах системного анализа и математического моделирования.

**Ключевые слова:** мехатронные системы, ресурсосбережение, электрогидравлическая следящая система, электрогидравлический привод, система автоматизированного управления.

### References

1. T. Isii, I. Simoyama, H. Inoue and others. Mechatronics. Mir. Japan., 1988. 318 p.
2. Kanyuk, G. I. Prospects for the use of electronic-hydraulic device in modern energy- and resource-saving energy systems. Vestn. Harkov. politehn. un. Kharkov. 1999, no 44. pp. 39–40.
3. Topcheev Yu. I. Atlas for the design of automatic control systems. Mashinostroenie. Moscow. 1989. 752 p.
4. Kanyuk G. I., Shuvanov A. N., Bliznichenko E. N., Logvinov M. V. By the choice of the type of actuator for mechatronic systems. Vestn. nats. tehn. un. «HPU». Kharkov. 2002, no.7. pp. 120–125.
5. Ivaschenko N. N. Automatic control. Theory and elements of systems. Mashinostroenie. Moscow. 1978. pp 98, 736.
6. Fedorets, V. A., Strutinskiy V. B. Analysis of the dynamic properties of the hydraulic drive, controlled hydraulic booster jet of high pressure. Hydraulic and hydro pneumatic automation: Republican interdepartmental scientific and technical collection. Kyiv. 1981. pp. 44–48.
7. Komissarenko, Yu. Ya. Elastic characteristics of the exciter with gas-hydraulic batteries. Hydraulic and hydro pneumatic automation: Republican interdepartmental scientific and technical collection. Kyiv. 1988, no 27. pp.25–29.
8. Iskovich-Lototskiy R. D., Matveev I. B and others. Hydroimpulsive drive. Hydraulic and hydro pneumatic automation: Republican interdepartmental scientific and technical collection. Kyiv. 1982, no 18. pp. 56–60.
9. Kollektiv sostaviteley. Hydro and pneumatic and its elements Marketplace. Engineering. Moscow. 1992. 232 p.
10. Chuprakov Yu. I. Hydraulic tools and hydro pneumatic: Tutorial. Engineering. Moscow. 1979. 232 p.
11. Kondakov L. A., Nikitin G. A., Prokofev V. N. i dr. Machine hydraulic. Engineering. Moscow. 1978. 495 p.
12. Kanyuk G. I., Shuvanov A. N., Topchiy A. G., Bliznichenko E. N. i dr. Modular test bench elements of car transmissions. Vestn. Khar. Polytechn. Un. Kharkov. 1999, no 45. pp. 52–54.
13. Kanyuk G. I. Creation of electronic-hydraulic servo systems dynamic simulation booth. Vestn. Khar. Polytechn. Un. Kharkov. 1999, no. 46. pp. 42–46.
14. Rogachov A. I. Power saving modes control non-stationary processes: Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 2008. 36 p.
15. Duel M. O. Automated process control systems of thermal power elektrostanschy (development, research, implementation): Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 1998. 36 p.
16. Gorelik O. X. Improving the automated control of nuclear power i power plants to improve the reliability ix ekspluatashynoyi: Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 2007. 36 p.
17. Ryumshin M. O. Synthesis, development and implementation of automated process control systems and steel rolling mills: Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 2007. 36 p.
18. Severin V. P. Models i methods optimize quality parameters of automatic control unit nuclear power plant: Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 2007. 35 p.
19. Kanyuk G. I. Models i i parametric methods of structural synthesis of precision electrohydraulic servo systems automated test benches: Abstract Dis. Dr. Sc. Harkiv. 2009. 35 p.