

**Shulzhenko M. G., Gontarovskiy P. P. and Matiukhin I. I.** Steam turbine disk resource with initial defects of discharge openings area under creep .....3–10

*The impact of the hypothetical defects (nicks and scratches) in the steam discharge openings area of disc 2nd stage on medium pressure turbine K-300-240-2 rotor resource under creep is considered. Evaluation of disc damage in the area of openings is investigated with three-dimensional finite element method with simultaneously solving the linked creep and damage equations with two phenomenological parameters: scalar and vector, which responsible for viscous and brittle failure of the material, respectively. It is shown that the presence of defects reduces the time to crack initiation, but increases the time of its evaluation to a critical size. Nick in the discharge opening is modeled by two damaged finite elements at the area of the median plane of the disk. And the scratch is modeled by number of damaged elements along the thickness of the disk surface. In case of occurrence of a crack during nicks is approximately three times less than in the absence of damage. The time of crack initiation caused by nicks is approximately three times less than in the absence of damage. The time of crack initiation is six times less in case of scratch, accordingly. However, the total resource in the first case is 60% compared with intact disk resource, and in the second case - 25%. Thus, the defect reduces the time until the crack, but increases the time of its evaluation to a critical size. Slight damage in the discharge openings area may have a significant impact on the disc resource.*

**Keywords:** turbine, resource, creep, scattered damage, discharge openings.

*Рассматривается влияние гипотетических дефектов (забоин и царапин) в зоне пароразгрузочных отверстий диска 2-й ступени на ресурс ротора среднего давления турбины K-300-240-2 при ползучести. Развитие повреждений диска в зоне отверстий исследуется в трехмерной постановке методом конечных элементов при совместном решении связанных между собой уравнений ползучести и повреждаемости с двумя феноменологическими параметрами: скалярным и векторным, отвечающим соответственно за вязкое и хрупкое разрушение материала. Показано, что с наличием дефектов сокращается время до зарождения трещины, но увеличивается время ее развития до критического размера. Забоина в разгрузочном отверстии моделируется двумя поврежденными конечными элементами в районе срединной плоскости диска, а царапина – рядом поврежденных элементов по всей толщине полотна диска. В случае забоины время появления трещины примерно в три раза меньше, чем при отсутствии повреждений, а в случае царапины – в шесть раз меньше. Однако полный ресурс в первом случае составляет около 60 % по сравнению с ресурсом диска без повреждений, а во втором – 25 %. Таким образом, при наличии дефекта сокращается время до появления трещины, но увеличивается время ее развития до критического размера. Незначительные повреждения в области разгрузочных отверстий могут оказывать существенное влияние на ресурс диска.*

**Ключевые слова:** турбина, ресурс, ползучесть, рассеянные повреждения, разгрузочные отверстия.

#### References

1. Kostyuk, A. G. et al. (2004), Prochnost' tsel'nokovanyh rotorov turbin moschnost'yu 200, 300 i 800 MVt proizvodstva LMZ pri dlitel'nom staticheskom nagrujenii. Teploenergetika. – № 10. – S. 45–52.
2. Vznachennya rozrahunkovogo resursu ta otsinka jivuchosti rotoriv korpusnih detaleiy turbin: SOU-N MEV 40.1-21677681-52:2011. – K.: M–vo energetiki ta vugil'noi prom. Ukraini (2011). – 42 s. – (Normativniiy dokument Minenergovugillya Ukraini. Metodichni vkazivki).
3. Turbiny parovyye statsionarnyye. Raschet na staticheskuyu prochnost' diskov i rotorov: OST 108.020.109-82. – Vzamen OST 108.020.109-76. – L.: NPO TsKTI, 1983. – 22 s.
4. Shul'jenko, N. G., P. P. Gontarovskiiy, Yu. I. Matyuhin, N. G. Garmash (2010), Raschetnaya otsenka dlitel'noy prochnosti diskov rotora parovoy turbiny. Probl. prochnosti. – № 4. – S. 77–86.
5. Shul'jenko, N. G., P. P. Gontarovskiiy, B. F. Zaiytsev (2011), Zadachi termoprochnosti, vibrodiagnostiki i resursa energoagregatov (modeli, metody, rezul'taty issledovaniy): monografiya. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 370 s.
6. Shul'jenko, N. G. et al. (2007) Otsenka dlitel'noy prochnosti rotorov parovyh turbin na osnove analiza rasseyannyh povrejdeniy. Probl. mashinostroeniya. – V. 10, № 4. – S. 71 – 81.
7. Shul'jenko, M. G., P. P. Gontarovskyi, Yu. I. Matyuhin, S. I. Panasenko (2011), Rozrahunkova otsinka jivuchosti plastin pri povzuchosti z vikoristannyam parametriv rozsiyanogo poshkodjennya. V 2 ch. Ch. 1. Vsn. Ternopl'. nats. tehn. un–tu. Spets. vipusk. – S. 47 – 54.

8. Rezinskih, V. F., V. I. Gladshiteyn, G. D. Avrutskiiy (2007), Uvelichenie resursa dlitel'no rabotayuschih parovyh turbin. – M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2007.– 296 s.
9. Analiz i obobschenie slujebnyh karakteristik rotornoj stali 25H1M1FA (R2MA) v ishodnom sostoyanii. Rabota № 510-1917 / PO turbostroeniya Leningradskiiy metallicheskiy zavod .– L.: PO LMZ, 1986. – 102 s.

**Hasanov Sh. G.** Effect of small recesses and swellings on cohesive crack growth in stretched by two concentrated forces plate .....10–24

*An isotropic thin plate of everywhere constant thickness, except for some  $S_1$  and  $S_2$  areas on prolongation of the rectilinear crack with bonds between the faces near the crack ends, is considered. The plate is stretched by two concentrated forces. It is assumed that the fracture process is localized in the end zone, which is considered as crack part and can be comparable to crack size. We investigate the plane fracture problem of cohesive crack retardation by small changes in the material thickness on the crack growth path. The boundary value problem for the equilibrium of the cohesive crack in the plate under the action of external tensile forces is reduced to solving of nonlinear singular integral equation. Using the Gauss-Chebyshev quadrature formulas, the singular integral equation reduces to a finite algebraic system that solving by iterative algorithm similar to the Il'yushin's method of elastic solutions. From the solution of the nonlinear singular integral equation the stresses in the bonds are found. The most widely distributed in the practice forms of the recesses and swellings are considered. The considered examples demonstrate the new effects of the retardation and stable development of through cohesive cracks, only caused by variable plate thickness on the crack ends.*

**Key words:** crack with bonds between the faces, retardation of cohesive crack, thin isotropic plate, concentrated forces.

*Рассматривается тонкая изотропная пластина постоянной толщины всюду за исключением некоторых областей  $S_1$  и  $S_2$  вблизи концов сквозной прямолинейной трещины со связями между берегами на продолжении трещины. Пластина растягивается двумя сосредоточенными силами. Считается, что процесс разрушения локализован в концевой зоне, которая рассматривается как часть трещины и может быть сравнима с размером трещины. Исследуется плоская задача механики разрушения о торможении когезионной трещины малыми изменениями толщины материала на пути ее роста. Краевая задача о равновесии когезионной трещины в пластине при действии внешних растягивающих сил сводится к решению нелинейного сингулярного интегрального уравнения. Используя квадратурные формулы Гаусса-Чебышева, сингулярное интегральное уравнение сводится к конечной алгебраической системе, решаемой итерационным алгоритмом, подобным методу упругих решений Ильюшина. Из решения нелинейного сингулярного интегрального уравнения найдены нормальные и касательные напряжения в связях. Рассмотрены наиболее распространенные на практике формы выточек и утолщений. Рассмотренные примеры демонстрируют новые эффекты торможения и устойчивого развития сквозных когезионных трещин, вызванные только переменной толщиной пластины в концах трещины.*

**Ключевые слова:** трещина со связями между берегами, торможение когезионной трещины, тонкая изотропная пластина, сосредоточенные силы..

**References**

1. Finkel, V. M. Physical basis of fracture retardation. Moscow: Metallurgiya. 1977.
2. Cox, B. N., Marshall, D. B. Concepts for bridged cracks fracture and fatigue // Acta Met. Mater. 1994. V. 42, No. 2. p. 341–363.
3. The special issue: Cohesive models // Eng. Fract. Mech. 2003. V. 70, No14. p. 1741–1987.
4. Mirsalimov, V. M. Fracture of plates of variable thickness. Materials Science. 1996. V. 71, No. 32. p. 296–305.
5. Gadzhiyev, V. D. and Mirsalimov, V. M. The limit equilibrium state of a component of the hub type of a contact pair with bridged crack. In: The Optimal design of Mechanical systems. Baku: Elm. 1999, pp.50-63.
6. Muskhelishvili, N. I. Some Basic Problems of Mathematical Theory of Elasticity. Amsterdam: Kluwer. 1977.
7. Il'yushin, A. A. Plasticity. Moscow and Leningrad: Gostekhizdat, 1948.
8. Panasyuk, V. V., Savruk, M P., Datsyshyn, A. P. The stress distribution around cracks in plates and shells. Kiev Naukova Dumka, 1976.
9. Mirsalimov, V. M. 1987. Non-one-dimensional elastoplastic problems. Moscow: Nauka; 1987.

10. Ladopoulos, E. G. Singular integral equations: Linear and non-linear theory and its Applications in Science and Engineering. Berlin: Springer Verlag, 2000.
11. Cherepanov G. P. Mechanics of brittle fracture. New York: Mc Graw-Hill, 1979.
12. Birger, I. A. The design of structures allowings for plasticity and creep // Izv. Akad. Nauk SSSR Mekhanika. 1965. No2. Pp. 113–119.
13. Goldstein, R. V., Perelmuter, M. N. Modeling of fracture toughness of composite materials // Computational continuum mechanics. 2009. V. 2, No. 2. Pp. 22–39.

**Mirsalimov V. M. and Akhundova P. E. Minimization of fracture parameters for friction pair hub.....24–35**

*A fracture mechanics problem for the friction pair hub during the operation is considered. It is assumed that near the friction surface the hub is weakened by rectilinear crack. Based on the model of friction rough surface and minimax criterion the theoretical analysis on the definition of displacement function of external contour points of friction pair hub, minimizes the fracture parameters of hub, is carried. Force calculation scheme most corresponds to physical nature of actual loading is used. In the place of plunger and hub contact the normal distributed loads and the corresponding to loads friction forces act. The friction forces to be determined from the solution of the problem of plunger and hub contact interaction, taking into account the roughness of real friction surface, frictional heat generation and surface wear of the contact pair parts. The problem of equilibrium of the friction pair hub with rectilinear crack reduces to the solution of a singular integral equation with kernel of Cauchy type. The obtained displacement function of external contour points of the hub provides increase of load bearing capacity of the bushing contact pair. As an example the calculation for the contact pair of borehole sucker rod oil pump is considered.*

**Keywords:** friction pair, hub, plunger, temperature, rough friction surface, minimization of stress intensity factors.

*Рассматривается задача механики разрушения для втулки фрикционной пары в процессе работы. Считается, что втулка вблизи поверхности трения ослаблена одной прямолинейной трещиной. На основе модели шероховатой поверхности трения и минимаксного критерия проведен теоретический анализ по определению функции перемещений точек внешнего контура втулки фрикционной пары, обеспечивающей минимизацию параметров разрушения втулки фрикционной пары. Используется расчетная силовая схема, наиболее близко отвечающая физической сущности действительного нагружения, согласно которой в местах контакта плунжера 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 плунжера и втулки, с учетом шероховатости реальной поверхности трения, теплообразования при трении и износа поверхности деталей контактной пары. Задача о равновесии втулки фрикционной пары с прямолинейной трещиной сводится к решению сингулярного интегрального уравнения с ядром типа Коши. Найденная функция перемещений точек внешнего контура втулки обеспечивает повышение несущей способности втулки фрикционной пары. В качестве примера рассмотрен расчет для фрикционной пары применительно к скважинным штанговым насосам.*

**Ключевые слова:** фрикционная пара, втулка, плунжер, температура, шероховатая поверхность трения, минимизация коэффициентов интенсивности напряжений.

**References**

1. Galin, L. A. Contact problem of theory of elasticity and visco-elasticity. Moscow: Nauka, 1980.
2. Goryacheva, I. G. Contact mechanics in Tribology. Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 1998.
3. Goryacheva, I. G. Mechanics of frictional interaction. Moscow: Nauka, 2001.
4. Muskhelishvili, N. I. Some basic problems of mathematical theory of elasticity. Moscow: Nauka. 1966.
5. Cherepanov, G. P. Mechanics of brittle fracture. New York: Mc Graw-Hill, 1979.
6. Parkus, H. Instationare Warmes-Pannungen. Wien: Springer, 1959.
7. Panasyuk, V. V., Savruk M. P., Datsyshyn A. P. The stress distribution around cracks in plates and shells. Kiev Naukova Dumka, 1976.
8. Mirsalimov, V. M. Non-one-dimensional elastoplastic problems. Moscow: Nauka, 1987.

**Lazariev I.** Axial internal forces in power transformer active part elements after short circuit ..35–43

*The paper studies core type transformers, in which radial and axial electromagnetic short circuit forces act upon winding coils. In the conductors, these forces cause stresses due to bending in the radial and axial directions, as well as tensile or compressive stresses. Due to plastic deformations originating in the winding conductors during winding fabrication, there was suggested the method for checking conductor strength in bending by the limiting state, under which the stress in every point of the dangerous section of the conductor equals to the proof stress of conductor material. There were obtained analytical expressions for the limiting bending moments of conductors of the round cross-section and rectangular cross-section without regard to its corner round-offs. For calculation of the limiting bending moments of conductors with the rectangular cross-section with regard to its corner round-offs there was obtained a numerically solvable system of equations. It was demonstrated that this solution is a generalised one and covers all the shapes of conductor cross-sections in use. By means of numerical analysis it was indicated that the round-offs of the rectangular cross-section have a substantial impact upon the limiting bending moments of conductors and must be taken into account during practical calculations. By the example of a set of transformers that had been tested for short circuit withstand capability it was demonstrated that the obtained results agree with test results.*

**Keywords:** transformer, winding, short circuit, bending, conductor strength.

*В статье рассматриваются трансформаторы стержневого типа, в которых при коротком замыкании на катушки обмоток действуют радиальные и осевые электромагнитные силы. Они порождают в проводниках напряжения при изгибах в осевом и радиальном направлениях, а также напряжения растяжения или сжатия. Вследствие наличия в проводниках пластических деформаций, возникающих при намотке, предложен метод проверки их изгибной прочности по предельному состоянию, при котором напряжение в каждой точке опасного сечения проводника равно условному пределу текучести его материала. Получены аналитические выражения для предельных изгибающих моментов для проводников круглого сечения и прямоугольного без учета закруглений его углов. Для расчета предельных изгибающих моментов для проводников прямоугольного сечения с учетом закруглений углов получена система уравнений, решаемая численным методом. Показано, что это решение является обобщенным и распространяется на все применяемые формы сечений проводников. С помощью численного анализа продемонстрировано, что закругления углов прямоугольного сечения существенно влияют на предельные изгибающие моменты проводников и должны учитываться при практических расчетах. На примере ряда трансформаторов, испытанных на стойкость к токам короткого замыкания, показано, что полученные результаты согласуются с данными испытаний.*

**Ключевые слова:** трансформатор, обмотка, короткое замыкание, изгиб, прочность проводников.

**References**

1. Tihomirov, P. (1976) "Calculation of transformers", Moscow, Energoatomizdat.
2. Pisarenko, G., Yakovlev, A. and Matveev, V. (1975) "Reference on strength of materials", Kyiv, Naukova dumka.
3. VEI (1977) Guiding document RD 16 431-88 "Power transformers. Analysis of short circuit withstand capability of windings." Moscow, VEI press.
4. Lazariev, V. (2003). "The influence of conductor material strength characteristics upon radial stability critical stresses of power transformer windings." The collected works of the Institute for electrodynamics of the National Academy of sciences of Ukraine 3: 80 – 86.
5. Tamaki, E., Kishi, A., Itoh, S., Taninouchi, K., Murakami, H. (1999) "The Coil Mechanical Behavior under the Short Circuit." CIGRE Transformer Colloquium, Budapest.
6. Kalitkin, N. (1978) "Numerical methods." Moscow, Nauka.

**Yanchevsky I. V.** To the problem of time dependence regaining for non-stationary influence which acts on elastically deformed element of construction.....43–54

*The technique of time dependence identification for non-stationary influence distributed on known area of a constructive element with complex geometry, using values of variable which is more accessible to measurements is presented. In the assumption that reaction of an element linearly depends on the influence the considered boundary inverse problem of mechanics is reduced to a system of linear algebraic equations concerning coefficients which approximate required influence as step-constant function. The system is solved by using regularizing algorithm which provides stability of result to random errors in initial data and errors of calculations. Concrete calculations which confirm an efficiency of the technique are presented for identification of force, kinematic and*

temperature influences. Elements of the system depend on values of the registered variable and «influence functions» as values of the measured variable in case on unit step influence. Calculation of this function was realized by FEM. The stated technique can be developed for identification of space-time dependence of the external influence applied to a constructive element with complex geometry.

**Keywords:** element of construction, non-stationary problem, identification of influence, dependence on time, principle of superposition, influence function.

*Изложена методика идентификации временной зависимости нестационарного воздействия, распределенного на заданной области конструктивного элемента произвольной геометрии, по значениям величины, которая является более доступной для измерений. В предположении того, что реакция элемента линейно зависит от искомого воздействия, рассматриваемая задача, относящаяся к классу граничных обратных задач механики, сведена к системе линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов, посредством которых искомое воздействие аппроксимируется кусочно-постоянной функцией. Для решения этой системы используется регуляризирующий алгоритм, обеспечивающий устойчивость результата к случайным ошибкам в исходных данных и погрешностям вычислений. Конкретные расчеты, свидетельствующие об эффективности методики, проведены для восстановления силового, кинематического и температурного воздействий. При этом для вычисления входящих в элементы расчетных систем значений т.н. «функции влияния», соответствующих показаниям регистрируемой величины на единичное ступенчатое воздействие, был использован метод конечных элементов. Изложенная методика может быть развита на случай идентификации пространственно-временной зависимости внешнего воздействия, приложенного к конструктивному элементу сложной геометрии.*

**Ключевые слова:** элемент конструкции, нестационарная задача, идентификация воздействия, зависимость от времени, принцип суперпозиции, функция влияния.

#### References

1. Vatulian, A. O. (2007). Inverse problems in mechanics of deformable solids. Moscow, Physmathlit. [in russian]
2. Yanyutin, E. G., I. V. Yanchevsky, et al. (2004). Problems of impulse deformation of elements of construction. Kharkiv: Publ. of KhNAHU. [in russian]
3. Doyle, J.F. (2004). Modern experimental stress analysis. Chichester, John Wiley & Sons Ltd.
4. Maia, N.M.M., Y.E. Lage and M.M. Neves (2012). "Recent advances on force identification in structural dynamics." In book "Advances in vibration engineering and structural dynamics", ed. by F. Beltran-Carbajal. Ch. 6: 103-132.
5. Hu, N., H. Fukunaga, et al. (2007). "An efficient approach for identifying impact force using embedded piezoelectric sensors." Int. J. of Impact Engineering 34: 1258-1271.
6. Inoue, H., J.J. Harrigan and S.R. Reid (2001). "Review of inverse analysis for indirect measurement of impact force." Appl. Mech. Rev. 56: 503-524.
7. Yan, G. and Li. Zhou (2009). "Impact load identification of composite structure using genetic algorithms." J. of Sound and Vibration 319: 869-884.
8. Martin, M.T. and J.F. Doyle (1996). "Impact force identification from wave propagation responses." Int. J. of Impact Engineering 18: 65-77.
9. Stevens, K.K. (1987). "Force identification problem – An overview." Proc. of Spring Conference on Experimental Mechanics. Florida. USA: 838-844.
10. Boukria, Z., P. Perrotin and A. Bennani (2011). "Experimental impact force location and identification using inverse problems: application for a circular plate." Int. J. of Mechanics 5(1): 48-55.
11. Lee, S.-K., S. Banerjee and A. Mal (2007). "Identification of impact force on a thick plate based on the elastodynamic and higher-order time-frequency analysis." Proc. IMechE. Part C: J. Mechanical Engineering Science 221: 1249-12.
12. Wang, B.-T. and Ch.-H. Chiu (2003). "Determination of unknown impact force acting on a simply supported beam." Mech. Systems and Signal Processing 17(3): 683-704.
13. Gombi, Sh.L. and D.S. Ramakrishna (2012). "A solution to the inverse problem of impact force determination from structural responses." Int. J. of Engineering and Innovative Technology 1(3): 192-196.
14. Lage Y.E., N.M.M. Maia, et al. (2013). "Force identification using the concept of displacement transmissibility." J. of Sound and Vibration 332: 1674-1686.
15. Wang, B.-T. and Ch.-H. Chiu (1999). "Determination of unknown impact force acting on arbitrary structures." Proc. Int. Soc. for Optical Engineering 2(3727): 1653-1659.

16. Turco, E. (2005). "A strategy to identify exciting forces acting on structures." *Int. J. for Num. Meth. in Engineering* 64(11): 1483-1508.
17. Atobe, S., H. Fukunaga and N. Hu (2011). "Impact force identification of CFRP structures using experimental transfer matrices." *CMC* 26(1): 67-90.
18. Chen, Ch., Yu. Li and F.-G. Yuan (2012). "Impact source identification in finite isotropic plates using a time-reversal method: experimental study." *Smart Mater. Struct* 21: 105-129.
19. El Khannoussi, F., A. Hajraoui, A. Khamlichi, et al. (2010). "Reconstruction of a distributed force impacting an elastic rectangular plate." *J. Basic. Appl. Sci. Res.* 1(1): 20-30.
20. Jacquelin, E., A. Bennani and P. Hamelin (2003). "Force reconstruction: analysis and regularization of a deconvolution problem." *J. of Sound and Vibration* 265: 81-107.
21. Allen, M. S. and Th. G. Carne (2008). "Comparison of inverse structural filter (ISF) and sum of weighted accelerations technique (SWAT) time domain force identification methods." *Mech. Systems and Signal Processing* 22: 1036-1054.
22. Soloviev, A. N. (2005). Direct and inverse problems for finite elastic and electroelastic solids. Thesis for a Doctor Degree in Physics and Mathematics. Rostov/Don, Publ. of South Fed. Univ. [in russian]
23. Romppanen, A.-J. (2008). "Inverse load sensing method for line load determination of beam-like structures." Thesis for the degree of Doctor of Technology. Tampere University of Technology. Publ. 762.
24. Beck, J.V., B. St. Blackwell and Ch. R. Jr. Clair (1985). Inverse heat conduction: Ill-posed problems. New York, J. Wiley & Sons.
25. Matsevityi, Yu. M., A. P. Slesarenko and N.A. Safonov (2008). "Identification of temperature of flame changing due acting it on building structure." *Rep. of NAS of Ukraine* 6: 80-86. [in russian]
26. Uhl, T. (2007). "The inverse identification problem and its technical application." *Arch. of Appl. Mech.* 77(5): 325-337.
27. Biderman, V. L. (1980). The theory of mechanical vibration. Moscow: Vysshaya Shkola. [in russian]
28. Slepyan, L. I. (1972). Nonstationary elastic waves. Leningrad, Sudostroenie. [in russian]
29. Tikhonov, A. N., A. V. Goncharsky, et al. (1995). Numerical methods for the solution of ill-posed problems. Dordrecht, Kluwer Academic Publ.
30. Engl, H.W., Hanke M. and Neubauer A. (1996). Regularization of inverse problems. The Netherlands, Kluwer Academic Publ.
31. Krawczyk-Stańdo, D., M. Rudnicki (2008). "The use of L-curve and U-curve in inverse electromagnetic modelling." *Intell. Comput. Tech. Appl. Electromagn* 119: 73-82.
32. Hansen, P.C. and D.P. O'Leary (1993). "The use of L-curve in the regularization of discrete ill-posed problems." *SIAM J. Sci. Comput.* 14(6): 1487-1503.
33. Chamorro-Servent, J., J. Aguirre, et al. (2011). "Feasibility of U-curve method to select the regularization parameter for fluorescence diffuse optical tomography in phantom and small animal studies." *Optics Express* 19(12): 11490-11506.
34. Choi, H.G., A.N. Thite and D.J. Thompson (2007). "Comparison of methods for parameter selection in Tikhonov regularization with application to inverse force determination." *J. of Sound and Vibration* 304: 894-917.
35. Hanke, M. and P.C. Hansen (1993). "Regularization methods for large scale problems." *Surv. Math. Ind.* 3: 253-315.
36. Vogel, C.R. (2002). "Computational methods for inverse problems." *SIAM*.
37. Yagola, A. G. (2010). "Ill-posed problems with a priori information." *Electr. Math. Proc. of Siberia: C.343-C.361.* [in russian]
38. Bogush, M. V. (2014). Designing of piezoelectric sensors on the base of spatial electrothermoelastic models. Moscow, Technosphere. [in russian]
39. Kubenko, V.D. and I.V. Yanchevskii (2013). "Vibrations of a nonclosed two-layer spherical electroelastic shell under impulsive electromechanical loading." *Int. Appl. Mech.* 49(3): 303-314.
40. Yanchich, V. V. (2008). Piezoelectric sensors by vibrational and impact acceleration. Rostov/Don, Publ. of South Fed. Univ. [in russian]

**Pankratov A. V., Romanova T. E., Chugay A. M.** Optimal packing of convex polytopes using quasi-phi-functions .....55–65

*We study a packing problem of a given collection of convex polytopes into a rectangular container of minimal volume. Continuous rotations and translations of polytopes are allowed. In addition a given minimal allowable*

distances between polytopes are taking into account. We employ radical free quasi-phi-functions and adjusted quasi-phi-functions to describe placement constraints. The use of quasi-phi-functions, instead of phi-functions, allows us to simplify non-overlapping, as well as, to describe distance constraints, but there is a price to pay: now the optimization has to be performed over a larger set of parameters, including the extra variables used by our new functions. We provide an exact mathematical model of the problem as a nonlinear programming problem. We also develop an efficient solution algorithm which involves a starting point algorithm, using homothetic transformations of geometric objects and efficient local optimization procedure, which allows us to runtime and memory). We present here a number of examples to demonstrate the efficiency of our methodology.

**Keywords:** packing, polytopes, continuous rotations, non-overlapping, allowable distances, quasi-phi-functions, mathematical model, non-linear optimization

Рассматривается задача упаковки выпуклых многогранников в прямоугольном контейнере минимального объема. Допускаются непрерывные трансляции и повороты многогранников. Учитываются минимально допустимые расстояния, заданные между многогранниками. Для формализации ограничений размещения применяются свободные от радикалов квази-phi-функции и псевдонормализованные квази-phi-функции. Использование квази-phi-функций, вместо phi-функций, позволяет упростить вид ограничений непересечения многогранников и описать в аналитическом виде ограничения на минимально допустимые расстояния, заданные между многогранниками. Однако процесс оптимизации требует большего числа параметров, включая дополнительные переменные для квази-phi-функций. Строится математическая модель в виде задачи нелинейного программирования. Предлагается эффективный метод решения, включающий: алгоритм, основанный на гомотетических преобразованиях геометрических объектов для построения допустимых стартовых точек, и процедура локальной оптимизации, которая позволила значительно уменьшить размерность задачи, а также сократить вычислительные ресурсы (время и память). Приводятся результаты численных экспериментов, которые демонстрируют эффективность предложенной методологии решения задачи упаковки выпуклых многогранников.

**Ключевые слова:** упаковка, многогранники, непрерывные повороты, непересечение, допустимые расстояния, квази-phi-функции, математическая модель, нелинейная оптимизация.

#### References

1. Wascher, G., Hauner, H., Schumann, H. (2007). "An improved typology of cutting and packing problems". Eur. J. Oper. Res. 183(3,16): 1109–1130.
2. Chazelle, B., Edelsbrunner, H., Guibas, L.J. (1989). "The complexity of cutting complexes." Discr. & Comput. Geom. 4(2): 139–81.
3. Aladahalli, C., Cagan, J., Shimada, K. (2007). "Objective function effect based pattern search – theoretical framework inspired by 3D component layout." J. Mech. Design. 129: 243–254.
4. Cagan, J., Shimada, K., Yin, S. (2002). "A survey of computational approaches to three-dimensional layout problems." Comp.-Aided Des. 34: 597–611.
5. Egeblad, J. (2008). "Heuristics for multidimensional packing problems." PhD Thesis.
6. Egeblad, J., Nielsen, B.K., Odgaard, A. (2007). "Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems." Eur. J. Oper. Res. 183(3):1249–1266.
7. Fasano, G. (2008). "MIP-based heuristic for non-standard 3D-packing problems." 4OR: Quart. J. Belgian, French and Italian Oper. Res. Soc. 6(3): 291–310.
8. Gan, M., Gopinathan, N., Jia, X., Williams, R.A. (2004). "Predicting Packing Characteristics of Particles of Arbitrary Shapes." KONA, 22: 82–93.
9. Jia, X., Gan, M., Williams, R.A., Rhodes, D. (2007). "Validation of a digital packing algorithm in predicting powder packing densities." Powder Techn. 174: 10–13.
10. Korte, A.C.J, Brouwers H.J.H. (2013). "Random packing of digitized particles." Powder Techn. 233: 319–324.
11. Li, S.X., Zhao, J. (2009). "Sphere assembly model and relaxation algorithm for packing of non-spherical particles." Chin. J. Comp. Phys. 26(3): 167–173.
12. Li, S.X., Zhao, J., Lu, P., Xie, Y. (2010). "Maximum packing densities of basic 3D objects." Chin. Scien. Bull. 55(2): 114–119.
13. Sriramya, P., Varthini, P.B. (2012). "A State-of-the -Art Review of Bin Packing Techniques." Eur. J. Scien. Res. 86(3): 360–364.
14. Birgin, E.G., Martinez, J.M., Nishihara, F.H., Ronconi, D.P. (2006). "Orthogonal packing of rectangular items within arbitrary convex regions by nonlinear optimization." Comput. Oper. Res. 33: 3535–3548.

15. Birgin, E., Martínez, J., Ronconi, D. (2005). "Optimizing the packing of cylinders into a rectangular container: A nonlinear approach." *Eur. J. of Oper. Res.* 160 (1): 19–33.
16. Egeblad, J., Nielsen, B.K., Brazil, M. (2009). "Translational packing of arbitrary polytopes." *Comp. Geom.* 42(4): 269–288.
17. Fasano, G. A. (2013). "Global Optimization point of view for non-standard packing problems." *J. Glob. Optim.* 55(2): 279–299.
18. Petrov, M.S., Gaidukov, V.V., Kadushnikov, R.M. (2004). "Numerical method for modelling the microstructure of granular materials." *Powder Metall. and Metal Ceram.* 43 (7-8): 330–335.
19. Torquato, S., Jiao, Y. (2009). "Dense polyhedral packings: Platonic and Archimedean solids." *Phys. Rev.* 80: 041104.
20. Y. Stoyan, N. Gil, G. Scheithauer, A. Pankratov, I. Magdalena (2005). "Packing of convex polytopes into a parallelepiped." *Optimization.* 54(2): 215 – 235.
21. Chernov, N., Stoyan, Y., Romanova, T. (2010). "Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem". *Comput. Geom.: Theory and Appl.* 43(5): 535–553.
22. Stoyan, Y., Chugay, A. (2012). "Mathematical modeling of the interaction of non-oriented convex polytopes". *Cyber. and Syst. Anal.* 48 (6): 837–845.
23. Stoyan Yu., Chugay A. (2011). "Construction of radical free phi-functions for spheres and non-oriented polytopes." *Rep. of NAS of Ukraine.* №12: 35-40.
24. Stoyan Yu., Pankratov A., Romanova T., Chernov N. (2014). "Quasi-phi-function for mathematical modeling of geometric objects interactions." *Rep. of NAS of Ukraine* 9: 53–57.
25. Wachter, A., Biegler, L.T. (2006). "On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming." *Math. Program.* 106 (1): 25–57.
26. Stoyan, Y., Yaskov, G. (2012). "Packing congruent hyperspheres into a hypersphere" *Journal of Global Optimization*, 52(4): 855–868 .
27. Chernov, N., Stoyan, Y., Pankratov, A., Romanova, T. (2014). "Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses." *Subm. to J. of Glob. Optim.*

*Materials Science in Mechanical Engineering*

**Vakulenko K. V., Kazak I. B., Bezludko G. Ya., Yareschenko V. G. and Yolkina E. I.** The change of the coercive force under fatigue testing of 40X steel specimens .....66–71

*The influence of cyclic loading and subsequent surface plastic deformation on the change of the coercive force of normalized 40X steel specimens was studied. It was found that after a cyclic loading of specimens their coercive force increases by 1.5–2 times throughout entire range of loads used, which indicates an increase in the degree of fatigue damage accumulation in steel structure. In the same time, the most essential increase in the coercive force is noted at the initial phases of relative elongation (deformation) of the specimens (up to 1–1.5%). It was revealed that implementation of a surface plastic deformation of the specimens, which have undergone a preliminary cyclic loading, leads to lowering of values of coercive force and allows to raise their longevity by 2.8–3.4 times. The hypothesis was expressed that this effect is related to a healing of the submicron discontinuity flaws, formed in the material during cyclic loading. The hypothesis is based on the concepts of the modern material science concerning a healing of defects in the conditions of hydrostatic compression, on a phenomenon of anomalous mass transfer during a pulsed action on the metal, and on a phenomenon of adhesive interaction of solids.*

**Key words:** cyclic loading; degradation of structure; submicron fissures; coercive force; surface plastic deformation; healing of defects.

*Исследовано влияние циклического нагружения и последующего поверхностного пластического деформирования на изменение коэрцитивной силы нормализованной стали 40X. Установлено, что для образцов после циклического нагружения коэрцитивная сила увеличивается во всем диапазоне используемых нагрузок в 1,5–2 раза, что свидетельствует об увеличении степени накопления усталостных повреждений в структуре стали. При этом наиболее существенное возрастание коэрцитивной силы отмечено на начальных стадиях относительного удлинения (деформации) образцов (до 1–1,5%). Обнаружено, что осуществление поверхностного пластического деформирования образцов, прошедших предварительное циклическое нагружение, приводит к снижению значений коэрцитивной силы и позволяет повысить их долговечность в 2,8–3,4 раза. Высказана гипотеза, что этот эффект связан с залечиванием субмикронесплошностей, образовавшихся в материале в процессе циклического нагружения. Гипотеза основывается на представлениях современного материаловедения о залечивании дефектов в условиях гидроста-*



*тического сжатия, явления аномального массопереноса при импульсном воздействии на металл и явления адгезионного взаимодействия твердых тел.*

**Ключевые слова:** *циклическое нагружение; деградация структуры; субмикротрещины; коэрцитивная сила; поверхностное пластическое деформирование; залечивание дефектов.*

### References

1. Bezlyudko, G. Ya., Zavalnyuk, O. P., Nesterenko, V. B., Marchenko, A. Yu., Solomaha, R. N. (2012) Obzornaya ocenka sostoyaniya i detalnaya ekspertiza ustalosti metalla bolsherazmernykh obektov i konstrukcii nerazrushayushim magnitnym metodom Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayushii kontrol. №3. – p. 57–65.
2. Lobanov L. M., Nehotyaschij V. A., Rabkina M. D. Perepichaj A. A., Belostochnyj V. V., Belostochnyj A. V., Chizhenko V. P. (2011) Magnitnyj control i structurno-teksturnye osobennosti metalla kislorodnykh ballonov Tehnicheskaya diagnostika i nerazruschayuschij control. №1. – p. 7–12.
3. Bezlyudko G. Ya., Yolkina E. I., Popov B. E. (2009) Radikalnoe uluchshenie otsenki tekuschego sostoyaniya kislorodnykh ballonov primeneniem metoda koertsetivnoj sily (po rezultatam issledovaniy 1990-2000 gg.) V mire nerazruschayuschego controlya. №3. – p. 34–35.
4. Ostash O. P., Voldemarov O. V., Gladyshev P. V. (20013) Diadnostuvannya structurno-mehanichnogo stanu stalej paragoniv koertsitimetrichnym metodom i prognozuvannya ih resursu Fizyko-himichna mehanika materialiv. №5. – p. 98–111.
5. Ivanova, V. S. (1963) Ustalostnoe razrushenie metallov. – M.: Gos. nauch.– tehn. izd-vo lit. po chernoi i cvetnoi metallurgii. – 272 p.
6. Bida G. V. (2010) Razmer zerna i korrelyatsiya prochnostnykh plasnichnykh i vyazkiykh svoystv s koertsetivnoj siloj ferrito-perlitnykh stalej Tehnicheskaya diagnostika i nerazruschayuschij control. №3. – p. 40–44.
7. Skoblo T. S., Bezlyudko G. Ya., Sidashenko A. I., Klochko O. Yu., Belkin E. L., Marchenko A. Yu. (2014) Otsenka strukturoobrazovaniya pri deformatsii malouglerodistykh stalej Stal. №9. – p. 65–70.
8. Popov B. E., Kotelnikov V. S., Zarudnyj A. V. Levin E. A., Bezlyudko, G. Ya. (2011) Magnitnaya diagnostika i ostaochnyj resurs pod'emnykh sooruzhenij Bezopasnost truda v promyshlennosti. №2. – p. 44–49.
9. Aronson, E. V., Bida, G. V., Kamardin, V. M., Miheev, M. N., Poner D.M. (1997) Vliyanie temperatury konca prokatki I stepeni obzhatuya na mehanicheskie svoystva i koertsetivnuju silu stali 3 sp Defektoskopiya №4. – C.99–104.
10. Matsevityi, V. M., Bezlyudko, G. Ya, Vakulenko K. V., Kazak I. B., Karabin, V. V. (2010) Nekotorye zakonomernosti izmeneniya koertsetivnoj sily plastichnykh (nezakalennykh) stalej pri aktivnom rastyazhenii Vestnik NTU “KhPI”. Sbornik nauchnykh trudov. Tematicheskij vypusk: Technologii v mashinostroenii №25. – C. 19–24.
11. Matsevityi, V. M., Bezlyudko, G. Ya, Belous, E. V., Vakulenko, K. V., Kazak, I.B. (2009) Sposobnost k peremagnichivaniyu stali 14H17N2 posle termoobrabotki, kovki i ciklicheskogo nagruzheniya Problemy mashinostroeniya. – Harkov. T. 12. №4. – 79–85.
12. Matsevityi, V. M., Bezlyudko, G. Ya, Kazak, I. B., Vakulenko, K. V., Belous, E. V. (2012) Izmenenie koertsetivnoj sily pri staticheskom rastyazhenii I tsiklicheskom nagruzhenii obraztsov iz stali ShH15 Problemy prochnosti №3. – C. 151–155.
13. Beresnev, B. I., Martynov, E. D., Rodionov, K. P., Bulychov, D. K., Ryabinin, Yu. N. (1969) Plastichnost i prochnost tverdykh tel pri vysokikh davleniyah. – M.: Nauka. – 161 p.
14. Matsevityj, V. M., Kazak, I. B., Vakulenko, K. V. (2010) Fiziko-tehnicheskie aspekty adgezii tverdykh tel. – Kiev: Naukova dumka. – 253 p.
15. Vakulenko, K. V., Matsevityj, V. M., Kazak, I. B. (2008) Obobschennaya kovtseptsiya adgezii tverdykh tel Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij. № 4/2 (34). – p. 13–23.
16. Larikov, L. N., Falchenko, V. M., Mazanko, V. F. Gurevich, S. M., Harchenko, G. K., Ignatenko, A. I. (1975) Anomalnoe uskorenie diffuzii pri impylnom nagruzhenii metallov. Dokl. AN SSSR. V. 221, №5. – p. 1073–1075.
17. Macevityi, V. M., Kazak, I. B., Vakulenko, K. V., Belous, E. V., Lyashok, S. V. (2008) K fizicheskomu mehanizmu razrusheniya metallov Problemy mashinostroeniya. – Harkov. V.11. № 5–6. – 87–96.
18. Matsevityj, V. M., Vakulenko, K. V., Kazak, I. B. (2012) O zalechivanii defektov v metallah pri plasticheskoj deformatsii Problemy mashinostroeniya. V.15, №5–6. – p. 66–76.

**Solovey V. V., Zipunnikov N. N. and Shevchenko A.A.** Studying the efficiency of the electrode materials operation in the electrolysis systems providing a separate cycle of gas generation .....72–76

*The article describes the main principles of realization of the electrochemical method for generating the high-pressure hydrogen and oxygen from water when the electrodes are manufactured from the variable valence materials. There was studied the chemical activity of cooperation of the Ni - Fe, Cm.3 - Fe and 08X18H10T - Fe electrode pairs with the caustic potassium water solution. The study results are compared as well as the advantages and disadvantages of each electrode pair are estimated. The dynamics of the complete cycle of voltage change of hydrogen and oxygen isolation are presented when the current density for the above mentioned electrode pairs was  $I = 0,015 \text{ A/cm}^2$ . Considered the galvanic effect of the precipitation of iron salts of acids on the surface of electrolysis cell, which leads to a reduction of the duration of the half cycle of oxygen generation. The laboratory stand manufacturing scheme is described. It displays the electrolyzer operation parameters: voltage change, current strength, pressure and quantity of the isolated hydrogen (oxygen). Selected optimal limits of voltage changes of the electrochemical reaction (0,3 – 1 V), which gives the possibility to minimize the unit cost of electrical energy for the process generation of hydrogen and oxygen. The recommendations are given as to application of this hydrogen (oxygen) generation method under use of the renewable energy as a primary energy source (solar, wind), characterized by impermanence of receipt.*

**Keywords:** hydrogen, overvoltage, gas absorbing electrode, electrochemical cell, current density.

*Рассмотрены основные принципы реализации электрохимического метода получения водорода и кислорода высокого давления из воды с использованием материалов электродов с переменной валентностью. Исследована химическая активность взаимодействия электродных пар Ni – Fe, Cm.3 – Fe и 08X18H10T - Fe с водным раствором едкого калия. Проведено сравнение полученных результатов и указаны преимущества и недостатки каждой из рассматриваемых электродных сборок. Составлена динамика полного цикла изменения напряжения выделения водорода и кислорода с использованием исследуемых электродных сборок при плотности тока  $I = 0,015 \text{ A/cm}^2$ . Рассмотрен гальванический эффект осаждения солей железной кислоты на поверхности электролизной ячейки, что приводит к сокращению длительности полуцикла выделения кислорода. Описано технологическую схему лабораторного стенда, фиксирующего параметры работы электролизера: изменение напряжения, давления, силы тока и количества выделяемого водорода (кислорода). Выбраны оптимальные пределы изменения напряжения протекания электрохимической реакции (0,3 – 1 В), что дает возможность минимизировать удельные затраты электрической энергии на процесс выделения водорода и кислорода. Даны рекомендации по применению данного способа получения водорода (кислорода) с использованием в качестве первичного источника возобновляемых видов энергии (солнца, ветра), отличающихся непостоянством поступления.*

**Ключевые слова:** водород, перенапряжение, газопоглощающий электрод, электрохимическая ячейка, плотность тока.

#### References

1. Solovey, V. (2003) Resource Flows: Improvement of turbine plants by methods of mathematical and physical modeling: 250 –254.
2. Patent № 29852A of Ukraine, MKI6 S 25B 1/40. An apparatus for producing hydrogen and oxygen high pressure / A.S. Zhiron, V.S. Plichko, V.V. Solovey, A.A. Makarov (Ukraine). – № 97084338; Application 21.08.97; Published 29.12.99, Bulletin № 8. – 15.
3. Patent № 29853A of Ukraine, MKI6 S 25B 1/12, C 25B 11/03. An apparatus for producing hydrogen / A.S. Zhiron, V.V. Solovey, A.A. Makarov (Ukraine). – № 97084339; Application 21.08.97; Published 29.12.99, Bulletin № 8. – 9.
4. Patent № 18579 of Ukraine, MPK6 S 25B 1/02. An apparatus for producing hydrogen high pressure / V.V. Solovey, A.A. Shevchenko, A.S. Zhiron, A.A. Makarov (Ukraine). – №. 200605150; Application 10.05.06; Published 15.11.2006, Bulletin № 11. – 4.
5. Solovey, V., A. Shevchenko, et al. (2008). "Increase of efficiency process generation of the hydrogen in electrolyzers with the gas-absorbing electrode" Journal of Kharkov National automobile and road university № 43: 69 – 72.
6. Yakimenko L. (1977) Electrode materials in applied electrochemistry – 264.