

Rusanov R. A., Rusanov A. V., Lampart P., Chugay M. A. Analytical method for profiling of radial stator blades of turbine stages.....5–11

The method of analytical profiling of radial stator blades is considered, which in combination with numerical modelling of three-dimensional viscous flows allows us to improve the efficiency of the flow part of high-loaded centripetal turbines. The profile of radial blades is determined in a curvilinear coordinate system and consists of the trailing and leading edges, and also of suction and pressure sides described by polynomial curves of the 5th and 4th order, respectively. Thanks to this method, highly efficient radial stator blades of high-loaded stages can be designed. The special form of blade-to-blade channels allows us to obtain a low level of profile and trailing edge losses, as well as low supersonic and shock wave losses of kinetic energy. Three variants of turbines with different types of stator blade profiles are considered: the profile developed using a standard method for axial blades; the “half-drop” profile and the profile developed using the proposed method. For the stator profile developed in this paper, the stator kinetic energy losses related to the enthalpy drop in the stage were decreased by 2,2% compared to the profile of a classic form, and by 1,1% compared to the “half-drop” profile. Using of the high-loaded stage with a new type of stator blade profile allowed us to significantly improve the aerodynamic characteristics of the flow part in the whole stage.

Keywords: radial-axial turbine, high-loaded stage, flow part, analytical method of profiling, spatial flow, numerical modeling.

Рассмотрен метод аналитического профилирования радиальных лопаток направляющих аппаратов, использование которого в сочетании с численным моделированием трехмерных вязких течений позволяет повысить эффективность проточных частей высоконагруженных центробежных турбин. Профиль радиальных лопаток задается в криволинейной системе координат, состоит из входной и выходной кромок, а также спинки и корытца, описанных кривыми 5-го и 4-го порядков соответственно. Метод дает возможность создавать высокоэффективные радиальные решетки направляющего аппарата (НА) высоконагруженных радиально-осевых ступеней. Специальная форма межлопаточных каналов позволяет обеспечить относительно низкий уровень как профильных и кромочных, так и волновых потерь кинетической энергии. Рассмотрены три варианта турбины с различными типами профилей лопаток НА: профиль, разработанный на основе стандартных методик, используемых для проектирования осевых лопаток; профиль в виде «полукапли» и профиль, разработанный с помощью предлагаемой методики. В предложенном в работе НА потери кинетической энергии, отнесенные к перепаду ступени, снизились на 2,2% по сравнению с профилем традиционной формы и на 1,1% с профилем в форме «полукапли». Применение высоконагруженной радиально-осевой ступени с профилем НА нового типа позволило существенно улучшить аэродинамические характеристики проточной части в целом.

Ключевые слова: радиально-осевая турбина, высоконагруженная ступень, проточная часть, аналитический метод профилирования, пространственное течение, численное моделирование.

References

1. Pasquale, D., Ghidoni, A., Rebay, S. (2013). Shape Optimization of an Organic Rankine Cycle Radial Turbine Nozzle. *J. Eng. Gas Turbines Power*. 135 (4). DOI 10.1115/1.4023118.
2. Jacob, P. A., Ventura, C., Rowlands, A. S., Sauret, E. (2012). Preliminary design and performance estimation of radial inflow turbines: an automated approach. *Trans. ASME: Journal of Fluids Engineering*. № 134.
3. Rusanov, A.V., Moiseev, S.V., Sukhorebryi, P.N. Kos'ianova, A.I, Rusanov, R.A. (2012). Metod proektirovaniia vysokoeffektivnykh protochnykh chastei turbodetan-dernykh agregatov [Method of designing of high-efficiency flow part of turbo expanding assembly] *Aviatsionno-kosmicheskaja tekhnika i tekhnologija [Aerospace Engineering and Technology]*. 8(95): 67–72.
4. Rusanov, A., Rusanov, R., Lampart, P. (2015). Designing and updating the flow part of axial and radial-axial turbines through mathematical modelling. *Open Engineering (formerly Central European Journal of Engineering)*, 5: 399-410. DOI 10.1515/eng-2015-0047, Online ISSN 2391-5439.
5. Tkacz, E., Kozanecka, D., Kozanecki, Z., Miazga, K. (2011). Investigations of Oil Free Support Systems to Improve the Reliability of ORC Hermetic High Speed Turbomachinery. *Mech. Mech. Eng.* 15: 355–365.
6. Uusitalo, A., Honkatukia, J., Turunen-Saaresti, T., Larjola, J., Colonna, P. (2011). Suitability of siloxanes for a mini ORC turbogenerator based on high-speed technology. *First Int. Semin. ORC Power Syst., Delft*.

7. Klonowicz, P., Heberle, F., Preißinger, M., Brüggemann, D. (2014). Significance of loss correlations in performance prediction of small scale, highly loaded turbine stages working in Organic Rankine Cycles. Energy. DOI 10.1016/j.energy.2014.05.040.
8. Kurzrock, J.W. (1989). Experimental Investigation of Supersonic Turbine Performance. Am. Soc. Mech. Eng, 89: 238.
9. Rusanov, A.V., Pashchenko, N.V., Kos'ianova, A.I (2009). Metod analiticheskogo profilirovaniia lopatochnykh ventsov protochnykh chastei osevykh turbin [Method of the analytical profiling of blading of flow part of axial turbines. Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tehnologii [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]. 2/7 (38): 32 – 37.
10. Boyko, A.V., Govorushchenko, Iu.N. (1989). Osnovy teorii optimalnogo proektirovaniia protochnoi chasti osevykh turbomashin [Bases of theory of the optimal planning of flow part of axial turbomachines]. Khar'kov: 217.
11. Rusanov, A., Lampart, P., Rusanov, R., Bykuc, S. (2013). Elaboration of the flow system for a cogeneration ORC turbine. Proc 12th Conf on Power System Engineering. Thermodynamics & Fluid Flow: 10.
12. Rusanov, A. V., Yershov, S. V. (2008). Mathematical modelling of unsteady gasdynamic processes in the turbomachine settings. IPMach NAS of Ukraine: 275.
13. Yershov, S. V., Rusanov, A. V. (1996). C. A. The complex program of calculation of three-dimensional gas flows in multistage turbomachinery «FlowER». State Agency of Ukraine on Copyright and Related Rights, PA number 77: 1.

Lynnyk A. V., Riabova S A., Varenko V. D., Riabov A. V., Khoryev O. N. Computational and experimental investigations of flow parts PL20 for rehabilitation of hydraulic turbines of kremen-chug hydro power plant 12–19

One of the priority directions of development of hydropower engineering in Ukraine is the rehabilitation of obsolescent and worn-out hydropower equipment for hydro power plant, served for 40-50 years. The major concerns of hydro power plant reconstruction are time extension of its operation, capacity increase, effectiveness increase, reliability and safety of equipment and structures, compliance with the requirements of environmental protection, improvement in quality of produced power, and creation of modern working conditions. The capital equipment of Kremenchug hydro power plant reached the end of its standard service life and is not equal in full measure to the modern requirements of the power system. Rehabilitation of the hydraulic equipment provided for the improvement of the main working bodies of the flow parts: the runner and the guide vanes within limits of existing sizes of the inlet and outlet bodies. Two stages of rehabilitation of the flow parts of hydraulic turbines of Kremenchug hydro power plant have been carried out: reconstruction of two units (station № 2 and № 3) for the first stage and three units (station № 7, № 8 and № 9) for the second one. The principal indicators of contractual conditions fulfillment for the rehabilitation were to provide values of nominal and maximum capacity, efficiency, cavitation stock, the valid range of work loads, etc. The complex of theoretical and experimental investigations on the development of blade systems for rehabilitation of hydraulic turbines PL20 Kremenchug hydro power plant has been carried out. The experimental dependences of the relative efficiency of the model from the reduced discharge and comparison the energy and cavitation parameters of tested flow parts at the optimal operating conditions are given. The advantage of improved flow parts on energy and cavitation characteristics is shown. PJSC "Turboatom" has confirmed the contractual conditions that ensure the values of nominal and maximum capacity of turbine, achievement of a weight average efficiency, cavitation performances and etc. according to the functional guarantees. Advanced runners and guide vanes have been manufactured and mounted on the hydraulic units № 2 and № 3, these units have been put into operation. The hydraulic unit № 7 with advanced runner and guide vanes has been put into operation after rehabilitation. The hydraulic units № 8 and № 9 are in the reconstruction stage. The third stage of reconstruction of Kremenchug hydro power plant is planned – two units (station № 1 and № 4).

Key words: Kaplan turbine, the flow part, multipurpose power and cavitation test facility, model tests, runner.

Одним из приоритетных направлений развития гидроэнергетики Украины является модернизация морально и физически изношенного гидроэнергетического оборудования гидроэлектростанций, отработавшего 40-50 лет. Главными задачами реконструкции ГЭС является продление срока ее эксплуатации, увеличение мощности, повышение эффективности, надежности и безопасности оборудования и конструкций, соответствие требованиям защиты окружающей среды, улучшение качества производимой энергии, а также создание современных условий работы. Основное оборудование Кременчуг-

ской ГЭС выработало свой нормативный ресурс и не соответствует в полной мере современным требованиям энергосистемы. Модернизация гидротурбинного оборудования предусматривала совершенствование основных рабочих органов проточных частей: рабочего колеса и направляющего аппарата в пределах существующих размеров подводящих и отводящих органов. Проведено два этапа модернизации проточных частей гидротурбин Кременчугской ГЭС: реконструкция двух агрегатов (станционный №2 и №3) для первого и трех агрегатов (станционный №7, №8 и №9) для второго. Основными показателями выполнения контрактных условий по модернизации являлось обеспечение значений номинальной и максимальной мощности, КПД, запасов по кавитации, допустимого диапазона работы по нагрузкам и др. Выполнен комплекс расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по разработке лопастных систем для модернизации гидротурбин ПЛ20 Кременчугской ГЭС. Представлены экспериментальные зависимости относительного КПД модели от приведенного расхода, а также сравнение энерго-кавитационных параметров испытанных проточных частей на оптимальных режимах работы. Показано преимущество усовершенствованных проточных частей как по энергетическим, так и кавитационным показателям. ПАО «Турбоатом» подтвердил выполнение контрактных условий по обеспечению значений номинальной и максимальной мощности турбины, достижению средневзвешенного КПД, кавитационных показателей и др. согласно функциональным гарантиям. Усовершенствованные рабочие колеса и лопасти направляющего аппарата изготовлены и смонтированы на гидроагрегатах № 2 и № 3, выполнен ввод этих агрегатов в эксплуатацию (ввод в эксплуатацию — start of operation). Гидроагрегат № 7 с усовершенствованными рабочими колесами и лопатками направляющего аппарата введен в эксплуатацию после модернизации. Гидроагрегаты № 8 и № 9 находятся на этапе реконструкции. Планируется третий этап реконструкции Кременчугской ГЭС – двух агрегатов (станционный №1 и №4).

Ключевые слова: поворотно-лопастная гидротурбина, проточная часть, универсальный энергокавитационный стенд, модельные испытания, рабочее колесо.

References

1. Subbotin V. G. Levchenko E. V. Efimenko V. N. (2009). Oborudovanie OAO «Turboatom» dlja gidrojelektrostancij Ukrainy: modernizacija, reabilitacija i perspektivy sozdanija novyh tipov [Equipment of OJSC "Turboatom" for HPP of Ukraine: modernization, rehabilitation and the prospects for the creation of new types] Gidrojenergetika Ukrainy. [Hydropower Ukraine]. № 2: 33–43.
2. Linnik A. V., Haitov V. D. (2010). Sovremennyy uroven' i osnovnye napravlenija razvitija gidroturbostroenija v Ukraine [The present level and main directions of development of turbine construction in Ukraine] Probl. mashinostroenija. [Probl. engineering]. T. 13(1): 11–18.
3. Potashnik S. I. (2005). Strategija razvitija gidrojenergetiki Ukrainy na period do 2030 g. Konceptual'nye polozhenija [The strategy of hydropower development in Ukraine for the period up to 2030 Conceptual provisions] Jenerg. politika Ukrainy. [Energ. policy of Ukraine]. № 7–8: 62–64.
4. Jetinberg I. Je. Rauhman B. S. (1978). Gidrodinamika gidravlicheskih turbin [Hydrodynamics of hydraulic turbines] Mashinostroenie [Machine building]. Leningrad: 280.
5. Jetinberg I. Je. (1965). Teorija i raschet protochnoj chasti povorotno-lopastnyh gidroturbin. [Theory and calculation of flow part of Kaplan turbines] Mashinostroenie [Machine building]. Leningrad: 350.
6. Rauhman B. S. (1972). Raschet obtekanija prostranstvennyh reshetok profilej gidroturbin s programmirovaniem na JeCVM [Calculation of the flow space lattices profile turbines with programming on digital] RTM 24.023.07. Leningrad: 33.
7. Gladyshev S. V. (2003). Razrabotka protochnykh chastej povorotno-lopastnyh gidroturbin v OAO "Turboatom" [Development of hydraulic Kaplan turbines OJSC "Turboatom"]. Probl. mashinostroenija. [Probl. engineering]. T. 6(2): 74–84.
8. Linnik A. V. Rjabov A. V. (2014). Jeksperimental'nyj stend PAO «Turboatom» dlja fizicheskogo modelirovanija gidrodinamicheskikh processov v protochnykh chastjah modelej povorotno-lopastnyh gidroturbin [Experimental stand of PJSC "Turboatom" for physical modeling of hydrodynamic processes in the flow parts of the models of Kaplan turbines] Probl. mashinostroenija. [Probl. engineering]. T. 14(3): 11–18.
9. MJEK 60193 (1999). Model'nye prijomo-sdatochnye ispytaniya gidravlicheskih turbin, nasosov, gidroakumulirujushhijh stancij i nasos-turbin [Model acceptance tests of hydraulic turbines, pumps, pumped storage power stations and pump-turbines]: 569.

Gritsenko N. I., Goloschapov V. N. A method of designing flow parts of the high-pressure shaft fan and blower fans20–26

Given the integrated design method of high-pressure main fans and blower fans. Method created to reduce design time and the number of field experiments when creating an energy efficient modern fans. For this first stage, mathematical models are used based on the solution of the simplified conservation equations of the working medium (mass), momentum energy in the form of Bernoulli's equation, equations of state, allowing to define the basic geometry of a flowing part of the fan and its integral characteristics. The second phase is the improvement of the spatial form of flow parts of fans, including in IPMFlow designed to simulate three-dimensional viscous flow in blade systems rotary machines. The approach is implemented in the form of an automated complex with the possibility of further transfer data to third-party CAD/CAM/CAE system. Verified as separate modules and as a whole confirmed its effectiveness. Using the proposed approach generated high-pressure fan BO–32ДН, whose main characteristics are far superior to commercially available fans of this class.

Key words: axial fan, hydraulics, design of blade systems, automated system, modules, mathematical modeling, performance.

Приведен комплексный метод проектирования высоконапорных вентиляторов главного проветривания и тягодутьевых машин. Метод создан с целью сокращения сроков проектирования и количества натурных экспериментов при создании энергоэффективных современных вентиляторов. Для этого на первом этапе используются математические модели, основанные на решении упрощенных уравнений сохранения рабочей среды (массы), импульса энергии в форме уравнения Бернулли, уравнения состояния, позволяющие определить основные геометрические характеристики проточной части вентилятора и его интегральные характеристики. На втором этапе выполняется совершенствование пространственной формы проточных частей вентиляторов, в том числе при помощи комплекса IPMFlow, предназначенного для моделирования трехмерных вязких течений в лопаточных системах роторных машин. Подход реализован в виде автоматизированного комплекса с возможностью последующей передачи данных в сторонние CAD/CAM/CAE системы. Выполненная верификация как отдельных модулей, так и комплекса в целом подтвердила его эффективность. Метод проектирования позволяет создавать осевые вентиляторы различных компоновочных схем, а также с различной пространственной геометрией проточной части – цилиндрической, конической, цилиндро-конической. С использованием предложенного подхода создан высоконапорный вентилятор ВО–32ДН, который по основным характеристикам значительно превосходит серийно выпускаемые вентиляторы данного класса.

Ключевые слова: осевой вентилятор, проточная часть, конструкция лопаточных систем, автоматизированный комплекс, модули, математическое моделирование, эффективность.

References

1. Brusilovskij, I. V. Ajerodinamicheskij raschet osevyh ventiljatorov. M.: Mashinostroenie, 288 (1986) (In Russian).
2. Kampsti, N. Ajerodinamika kompressorov. M.: Mir, 688 (2000) (In Russian).
3. Rusanov, A. V, Ershov S. V. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnyh gazodinamicheskikh processov v protochnyh chastjah turbomashin. Khar'kov: IPMash NAN Ukrainy, 275 (2008) (In Russian).
4. Rusanov, A. V, Pashhenko N. V. Ispol'zovanie uravnenij termodinamicheskogo svojstva vodjanogo para IAPWS–95 v 3D raschetah. Vostochno–Evrop. zhurn. peredovyh tehnologij. 5/7 (47). 57–41 (2010) (In Russian).
5. <http://www.donvent.com/ru/node/34>
<http://npgm.ru/product-catalog/fans-of-the-main-and-local-ventilation.html>
<http://www.ventprom.com/products/group/main-vent/>

Heat Transfer in Engineering Constructions

Bozbiei L. S., Kostikov A. O. and Tkachenko V. I. Elementary convective cell in incompressible viscous fluid and its parameters27–36

The energy principle of convective structures formation in a layer of viscous incompressible fluid uniformly heated from below is proposed. The energy principle of usage of elementary convective cell of cylindrical shape is proposed and justified. The mathematical model of thermal processes in elementary convective cell with free boundaries is suggested and analytical solutions for the perturbation of velocity and temperature are obtained.

The radial wave numbers for the velocity perturbations and eigenvalues of the problem are determined. It is shown that the spectrum of eigenvalues is discrete both on the mode of the perturbation and the radial wave number. The expression for the radius of an elementary convective cell is obtained. It shows that the radius value can take discrete quantities that correspond to stable convective states. It is shown that maximum heat transfer occurs at the smallest possible radius value. Experimental investigation of forming the convective cells was carried out. It confirmed the correctness of the theoretical results.

Key words: elementary convective cell-free border, convective processes, heat transfer, temperature gradient.

Рассмотрен принцип формирования конвективных структур в слое вязкой, несжимаемой жидкости при равномерном подогреве снизу. Предложен и обоснован энергетический принцип использования элементарной конвективной ячейки цилиндрической формы. Приведена математическая модель теплофизических процессов в ячейке со свободными границами и получены аналитические решения для возмущений скорости и температуры. Определены радиальные волновые числа для возмущений скорости и собственные числа задачи. Показано, что спектр собственных чисел является дискретным и по моде возмущений, и по радиальному волновому числу. Получено выражение для радиуса элементарной конвективной ячейки, исходя из которого видно, что величина радиуса может принимать дискретные значения, которые соответствуют устойчивым конвективным состояниям. Показано, что максимальный теплоперенос происходит при наименьшем из возможных значений радиуса. Проведены экспериментальные исследования формирования конвективных ячеек, которые подтверждают правильность полученных теоретических результатов.

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

References

1. Benard H. Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. Description générale des phénomènes. Revue générale des Sciences pures et appliquées. 11 (24), 1261–1271 (1900).
2. Benard H. Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquide. Procédés mécaniques et optiques d'examen lois numériques des phénomènes. Revue générale des Sciences pures et appliquées. 11 (24). 1309–1328 (1900).
3. 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).
4. Thomson J. On a changing tessellated structure in certain liquid. Proc. Glasgow Philos. Soc. 13, 464–468 (1882).
5. <http://www.ivanov-portal.ru/astron/30.htm>
6. Shishkin N. S. Education cellular structures in a liquid or gas layers. Uspekhi phizicheskikh nauk. 31 (4), 462–490 (1991) (in Russian).
7. <http://lifeglobe.net/blogs/details?id=860>
8. <http://p-i-f.dreamwidth.org/351593.html>
9. Ray R. J., Krantz W. B., Caine T. N. and Gunn R. D. A model for sorted patterned-ground regularity. J. of Glaciology. 29 (102). 317–337 (1983).
10. Rychkova E. V., Tychkov S. A. Numerical model of thermal convection in the upper mantle of the earth under continental lithosphere. Vyichislitelnyie tehnologii. 2 (5), 66–81 (1997) (in Russian).
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/Supergranulation>
12. Pikel'ner S. B. Dynamics of the solar atmosphere. Successes of physical sciences. 88 (3), 505–523 (1966) (in Russian).
13. <http://opensky.library.ucar.edu/collections/SOARS-000-000-000-268>.
14. Rieuton M., Rincon F. The Sun's Supergranulation. Living Rev. Solar Phys. 7 (2), 84 (2010).
15. Gershuni G. Z., Zhukhovitskii E. M. Convective stability of incompressible fluid. M.: Nauka, 393 (1972) (in Russian).
16. Chandrasekhar S. Hydrodynamic and hydromagnetic stability. Oxford: University Press, 657 (1970).
17. Getling A. V. Spatial patterns formed by Rayleigh-Benard convection. Uspekhi phizicheskikh nauk. 161 (9), 1–80 (1991) (in Russian).
18. Bozbiei L. S. An elementary convective cell in layer of incompressible viscous fluid. Conference of young scientists and specialists. IPMach NAN of Ukraine, Kharkov, 29 (2013) (in Russian).
19. Bozbeiy L. S., Kostikov A. O., Tkachenko V. I. Elementary convective cell and its thermal properties. Proc. conf. "Physical and technical problems of energy and ways of their solution in 2014". – Kharkiv, Ukraine, on 25-26 June 2014. 6 (2014) (in Russian).

20. Nekludov I. M., Bortz B. V., Tkachenko V. I. Description Langmuir circulations ordered set of cubic convective cells. *Prikladnaya gidromekhanika*. 14 (86) (2), 29–40 (2012) (in Russian).
21. Van Dyke M. Atlas flow of liquids and gases. M.: Mir, 184 (1986) (in Russian).
22. Koschmieder E. L. Bénard Cells and Taylor Vortices: monograph on mechanics. Cambridge: University Press, 350 (1993).
23. Adelman E. D. Effect of liquid film thickness to cell size ratio convection. *Zhurnal tehnikeskoy fiziki*. 68 (11), 7–11 (1996) (in Russian).
24. Eckert K., Bestehorn M., Thess A. E. Square cells in surface-tension-driven Bernard convection: experiment and theory. 356, 155–197 (1998).
25. Borts B. V., Kazarinov U. G., Kostikov A. O., Tkachenko V. I. Experimental study of liquid movement in free elementary convective cells. *Energetika*. 61 (2), 45–56 (2015).
26. Royal Society Mathematical Tables. Vol. 7. Bessel functions. Cambridge: University Press, 140 (1960).
27. Zierep J. Über rotationssymmetrische Zellularkonvektionsströmungen. *Z. Agev. Mah. Mech.* 39 (7/8), 329–333 (1958).
28. Zierep J. Eine rotationssymmetrische Zellularkonvektionsstromun. *Beitr. Phys. Atmos.* 30, 215–222 (1958).
29. G. Korn, Korn T. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers*. M.: Nauka, 720 (1968) (in Russian).
30. Conway J. H., Lagarias J. C. Tiling with polyominoes and combinatorial group. *Journal of Combinatorial Theory. Series A* 53, 183–208 (1990).

Dynamics and Strength of Machines

Fridman M. M. Optimal design of tubularbar structures subjected to corrosion.....37–42

In the operation of buildings and structures in aggressive environments, their designs are subject to both mechanical and chemical resistance, in particular, corrosive wear. The impact of stress on the rate of corrosion in the design calculations for the first time was considered Dolinsky, investigated the strength of the stretchable thin-walled tube, subjected to uniform corrosion, the rate of which was considered as a linear function of the stress intensity. The objective of exploitation structures working in aggressive environments, is to minimize the cost of its safe lifespan. However, solving this problem arises the apparent contradiction. Thus, the longer design performs its function, the lower the unit cost of its operation time, but it increases the probability of failure of the design. To resolve this conflict requires an integrated approach, taking into account both the strength and the economic performance of the project. This research is devoted the optimal design of tubular rod structures exposed to corrosive environments. Influence of stress state on corrosion kinetics takes into account design using corrosion models Dolinsky. As a function of purpose was adopted by full amount expected costs, taking into account, in addition to the initial cost of construction, reliability and costs caused by its refusal. Optimized initial size cross-section tubular elements and their calculated resistance. The study received expression of durability, as well as the inverse problem is solved by definition cross-sectional sizes truss structural elements of annular section (when you specify a value for the duration of their operation), prone to corrosion, by using model Dolinsky. The problem of optimization of truss operated in an aggressive environment with the use of an economic model that takes into account in addition to the initial cost of design, reliability and costs caused by its failure. From the resulting optimal design follows that the value of reliability strive to unity, which results in the exclusion of damage caused by the failure the construction, which is much greater than its initial cost.

Keywords: corrosion, optimization, reliability.

В процессе эксплуатации зданий и сооружений в агрессивных средах их конструкции подвергаются как механическому, так и химическому воздействию, в частности, коррозионному износу. Влияние напряжений на скорость коррозии в расчетах конструкций впервые было учтено В. М. Долинским, исследовавшим прочность растягиваемой тонкостенной трубы, подвергающейся сплошной коррозии, скорость которой считалась линейной функцией интенсивности напряжений. Цель эксплуатации конструкций, работающих в агрессивных средах, заключается в минимизации стоимости ее безопасного срока службы. Однако при решении данной задачи возникает очевидное противоречие. Так, чем дольше конструкция выполняет свои функции, тем ниже стоимость единицы времени ее эксплуатации, но при этом растет вероятность отказа конструкции. Для решения данного конфликта требуется комплексный подход, учитывающий как прочностные, так и экономические показатели

проекта. Данное исследование посвящено оптимальному проектированию трубчатых стержневых конструкций, подвергающихся воздействию коррозионной среды. Влияние напряженного состояния на кинетику коррозии конструкции учитывается с помощью коррозионной модели Долинского. В качестве функции цели принимается величина полных ожидаемых затрат, учитывающая помимо начальной стоимости конструкции, надежность и затраты, вызываемые ее отказом. Оптимизируются начальные размеры сечений трубчатых элементов, а также их расчетные сопротивления. В результате исследования получено выражение долговечности, а также решена обратная задача по определению размеров поперечного сечения ферменных элементов конструкций кольцевого сечения (при заданном сроке их эксплуатации), подверженных коррозии, с использованием модели Долинского. Решена задача оптимизации ферменной конструкции, эксплуатируемой в условиях агрессивной среды с применением экономической модели, учитывающей помимо начальной стоимости конструкции надежность и затраты, вызываемые ее отказом. Из полученного оптимального проекта следует, что величина надежности стремится к единице, что приводит к исключению ущерба, вызываемого отказом конструкции, который намного превышает ее начальную стоимость.

Ключевые слова: коррозия, оптимизация, надежность.

References

1. Dolinsky V. M., 1967, Analysis of Loaded Tubes Subjected to Corrosion, Chemical and Oil Industry Engineering, 2, 21-30 [in Russian].
2. Pochtman Y. M., Fridman M. M., 1997, Methods of Reliability Analysis and Optimal Design of Structures under Extremal Conditions, Nauka i Obrazovanye, Dnepropetrovsk, Ukraine [in Russian].
3. Fridman M. M., Życzkowski M., 2001, Structural Optimization of Elastic Columns under Stress Corrosion Conditions, Structural and Multidisciplinary Optimization, 21,3, 218-228.
4. Gutman E. M., Zaynullin R. S., Shatalova T. G., 1984, The strength of gas pipe in terms of corrosion wear, Nedra, Moscow [in Russian].
5. Gutman E. M., Zaynullin R. S., 1984, Kinetics of Mechanical-chemical Collapse and Durability of Structural Elements under Tension during Elastic-Plastic Deformation, Fiz.-Khim. Mekhanika Materialov, 2, 14-17 [in Russian].
6. Fridman M. M. and Elishakoff I., 2013, Buckling Optimization of Compressed Bars undergoing Corrosion, Ocean Systems Engineering, 3,2, 123-136.
7. SNIP II-23-81, 1990, Building Regulations. Steel Structures, "Stroiizdat" Publishers, Moscow [in Russian].
8. Kapur K., Lamberson L., 1977, Reliability in engineering design, New York, John Wiley.
9. Augusti G., Baratta A., Casciati F., 1984, Probabilistic Methods in Structural Engineering, London New York, Chapman and Hall.
10. Gurvich, I. B., Zaharchenko, B. G., Pochtman, Y. M., 1979, Randomized Algorithm for Solution of Problems of Nonlinear Programming (in Russian). Izv. Ac. Sci. USSR, Engineering Cybernetics, 5, 15-17 [in Russian]

Applied Mathematics

Pankratov A., Romanova T., Kotelevskiy A. Layout problems for arc objects in convex domains43–60

We introduce a new methodology for solving layout problems. Our objects and containers are bounded by circular arcs and line segments. We allow continuous object translations and rotations as well as minimal allowable distances between objects. For describing non-overlapping, containment and distance constraints the phi-function technique is used. We provide a general mathematical model as nonlinear programming problem with nonsmooth functions. We propose here the automatic feasible region generator, using phi-trees. The generator allows us to form ready-to-use systems of inequalities with smooth functions in order to apply efficient nonlinear optimisation procedures. We develop an efficient solution algorithm and original solver for layout problems which uses the core representation of inequalities in a symbolic form and provides exact calculation of Jacobian and Hessian matrixes. The search for local minima of NLP-problems is performed by IPOPT algorithm. An essential part of our local optimisation scheme is LORA algorithm that simplifies description of feasible region of the problem and reduces the runtime of local optimisation. It is due to this reduction our strategy can work efficiently with collections of composed objects and search for "good" local-optimal solutions for layout problems in reasonable time.

Keywords: *irregular shapes, convex domains, phi-functions, object rotations, allowable distances, solution tree, solution algorithms, local optimisation.*

Предлагается новая методология решения оптимизационных задач компоновки произвольных объектов в контейнерах, ограниченных дугами окружностей и отрезками прямых. Допускаются непрерывные трансляции и вращения объектов. Между объектами заданы минимально допустимые расстояния. Для моделирования ограничений непересечения, включения и ограничений на допустимые расстояния используется метод ϕ -функций. Строится математическая модель в виде задачи нелинейного программирования. Описывается процедура генерации области допустимых решений с применением ϕ -деревьев, которая позволяет формировать системы неравенств с гладкими функциями. Предлагается эффективный алгоритм поиска локально оптимальных решений. Важной составляющей разработанной оптимизационной процедуры является LORA алгоритм, который сводит задачу нелинейного программирования с большим числом нелинейных неравенств к последовательности NLP-задач с меньшим числом неравенств, что значительно сокращает вычислительные ресурсы для локальной оптимизации. Разработан оригинальный решатель для задач негладкой оптимизации, который использует символическое представление неравенств и обеспечивает точное вычисление элементов матриц Якобиана и Гессуана. Поиск локальных минимумов NLP-задач выполняется с помощью IPOPT. Предлагаемая методология эффективна для решения задач компоновки произвольных объектов и позволяет получать «хорошие» локально оптимальные решения за приемлемое время.

Ключевые слова: *задача упаковки, произвольные объекты, непрерывные вращения, допустимые расстояния, ϕ -функции; генератор пространства решений; нелинейная оптимизация.*

References

1. Wascher, G., Hauner, H., Schuma, H.: An improved typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research*. 183, 1109-1130 (2007).
2. Gomes, A. M. Irregular Packing Problems: Industrial Applications and New Directions Using Computational Geometry Volume 11 (2014) Part 1 (DOI) 10.3182/20130522-3-BR-4036.00113, – P. 378-383.
3. Chazelle, B., Edelsbrunner, H., Guibas, L.J.: The complexity of cutting complexes. *Discrete & Computational Geometry*. 4(2), 139–81 (1989).
4. Bennell J.A., Oliveira J.F.: The geometry of packing problems: A tutorial. *European Journal of Operational Research*. 184:397–415 (2008).
5. Bennell, J.A., Oliveira J.F, A tutorial in irregular shape packing problem, *Journal of the Operational Research Society*, 60:s93-s105 (2009).
6. Blazewicz, J., Drozdowski, M., Soniewicki, B., Walkowiak, R.: Two-dimensional cutting problem basic complexity results and algorithms for irregular shapes. *Found. Cont. Eng.*, 14(4), 137-60 (1989).
7. Burke E.K. Complete and robust no-fit polygon generation for the irregular stock cutting problem / E.K. Burke, R. S. R. Hellier, G. Kendall, G. Whitwell. *EJOR* 2007 27-49.
8. Whitwell G. Novel Heuristic and Metaheuristic Approaches to Cutting and Packing. School of Computer Science and Information Technology. University of Nottingham; 2005, PhD Thesis, 313 p.
9. Burke, E.K., Hellier, R., Kendall, G., Whitwell, G.: Irregular packing using the line and arc no-fit polygon. *Operations Research*. 58(4), 948–970 (2010).
10. Milenkovic, V.: Rotational polygon containment and minimum enclosure using only robust 2d constructions. *Computational Geometry*. 13(1), 3–19 (1999).
11. Milenkovic, V.: Rotational polygon overlap minimization and compaction. *Computational Geometry*. 10(4), 305–318 (1998).
12. Pedro Rocha, Rui Rodrigues, A. Miguel Gomes, Franklina M.B. Toledo, Marina Andretta Circle/ Covering Representation for Nesting problems with continuous rotations. Preprints of the 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.
13. Leung, Stephen C.H. Lin, Yangbin Zhang, Defu Extended local search algorithm based on nonlinear programming for two-dimensional irregular strip packing problem *Computers & Operations Research*, v.39, no.3, 2012 March, p.678(9) (ISSN: 0305-0548).
14. J. Bennell, G. Scheithauer, Yu. Stoyan, and T. Romanova (2010) Tools of mathematical modelling of arbitrary object packing problems// *J. Annals of Operations Research*, Publisher Springer Netherlands: V 179, Issue 1, pp. 343-368.
15. Chernov N., Stoyan Y., Romanova T. (2010) Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem// *Computational Geometry: Theory and Applications*, vol. 43:5, pp. 535-553.
16. Chernov N, Stoyan Y, Romanova T and Pankratov A (2012) Phi-functions for 2D objects formed by line segments and circular arcs. *Advances in Operations Research*. doi:10.1155/2012/346358.

17. Bennell J., Scheithauer G., Stoyan Y., Romanova T., and Pankratov A. (2014) Global optimisation "Optimal clustering of a pair of irregular objects" Journal of Global Optimisation, JOGO-D-13-00328R2.
18. Pankratov A.V., Stoyan Yu. G. Placement of non-convex polygons with rotations into a non-convex polygon// Proc. Workshop Cutting Stock Problems. – 2005. Alutus, Miercurea-Ciuc, Romania. – P. 29-36.
19. Wachter, A., Biegler, L. T. (2006) On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming. Mathematical Programming, 106, 1, 25-57.
20. Yu. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova (2015) Cutting and Packing problems for irregular objects with continuous rotations: mathematical modeling and nonlinear optimization. Journal of Operational Research Society, DOI 10.1057/jors.2015.94.
21. Josef Kallrath and Steffen Rebennack, "Cutting Ellipses from Area-Minimizing Rectangles" Journal of Global Optimisation, (2013), DOI10.1007/s10898-013-0125-3.

Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. Construction and research of operators of a Hermite interlineation of functions two variables on system of not intersected lines with preservation of differential class.....60–68

Investigates methods for constructing Hermitian operators interlineation recovery of differentiated functions of two variables between the smooth continuous curves that preserve the class of differentiability $C^r(\mathbb{R}^2)$. To construct these operators are used traces of the interpolated function and its partial derivatives with respect to one variable to a given order. The method of constructing these operators are based on the method first proposed in O. N. Lytvyn and uses a linear combination of the integral operators, allowing to increase the relevant classes of differentiable functions that are built with the following, which are assumed not to have the required class of differentiability. Thus said linear combination belongs to a specific class of differentiability despite the value of the linear combination coefficients. These values are found from the condition that corresponding derivatives of the variable y have the same traces as the approximated function on all M non-intersecting curves. Thus constructed operators retain the same differentiability class r , which owns the approximated function $f(x, y)$ and at the same has the same traces as the approximated function with partial derivatives y with respect to the order N inclusive. In this paper, accepted that the functions describing these curves have continuous derivatives to order r including and those curves do not intersect.

Keywords: classes of differentiable, the following functions, traces the derivatives on the line, Hermite interlineation.

Построены и исследованы операторы интерликации функций двух переменных с сохранением класса дифференцируемости, которому принадлежит приближаемая функция при условии, что следы этих операторов и следы частных производных по одной из переменных до фиксированного порядка совпадают на заданной системе линий с соответствующими следами приближаемой функции. Метод построения этих операторов основывается на методе, впервые предложенного в работах О. Н. Литвина и использующего линейную комбинацию интегральных операторов, позволяющих повышать класс дифференцируемости соответствующих функций, построенных с помощью следов, которые по предположению не имеют требуемого класса дифференцируемости. Таким образом, указанная линейная комбинация принадлежит к требуемому классу дифференцируемости несмотря на значения коэффициентов линейной комбинации. Указанные значения находятся из условия, чтобы соответствующие производные по переменной y имели следы такие же, как и приближаемая функция на всех M непересекающихся кривых. Таким образом, построенные операторы сохраняют тот же класс дифференцируемости r , которому принадлежит приближаемая функция $f(x, y)$ и при этом имеет те же следы, что и приближаемая функция вместе с частными производными по y до порядка N включительно. В данной работе принято, что функции, описывающие указанные кривые имеют непрерывные производные до порядка r включительно и кривые эти не пересекаются.

Ключевые слова: класс дифференцируемости, следы функции, следы производных на линии, Ермитовая интерликация.

References

1. Lytvyn, O.M. Interlinatsiya funktsiy ta deyaki ii zastosuvannya. Kharkiv: Osнова, 544 (2002) (in Ukrainian).
2. Lytvyn, O.M. Interlinatsiya funktsiy. Kharkiv: Osнова, 235 (1993) (in Ukrainian).

3. Sergienko, I.V., Zadiraka V.K., Lytvyn O.M. Elementy zagal'noi teorii optimal'nyh algoritmv I sumizhni pytannya. K.: Nauk. dumka, 404 (2012) (in Ukrainian).
4. Lytvyn, O.M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. Ermitova interlinatsiya funktsiy dvoh zminnyh na zadaniy systemi neperetynnyh liniy iz zberezhennyam klasu $C^r(R^2)$. Dopovidi NAN Ukrainy. 7, 53–59. (2014) (in Ukrainian).
5. Nikol'skiy, S.M. Priblizhenie funktsiy mnogih peremennyh I teoremy vlozheniya. M.: Nauka, 480 (1969) (in Russian).
6. Besov, O. V., Il'in V. P., Nikol'skiy S. M. Integral'nye predstavleniya funktsiy I teoremy vlozheniya. M.: Nauka. 480 (1975) (in Russian)
7. Stein, I. Singul'arnye integraly I differentsial'nye svoystva funktsiy. M.: Mir, 342 (1973) (in Russian).
8. Vladimirov, V. S. Obobschennye funktsii v matematicheskoy fizike. M.: Nauka, 318 (1979) (in Russian).
9. Hermander, L. Differentsial'nye operatory s postoyannymi koeffitsientami. M.: Mir, 455 (1986) (in Russian).
10. Tihonov, A. N., Samarskiy A. A. Uravneniya matematicheskoi fiziki. M.: Nauka, 1966, 724 (Samarskiy) (in Russian).
11. Rvachev, V.L. Teoriya R-funktsiy i nekotorye ee prilozheniya. Kiev: Nauk. dumka, 550 (1982) (in Russian).
12. Shilov, G. E. Matematicheskii analiz. Vtoroy spets. kurs. M.: Nauka, 327 (1965) (in Russian).
13. Kvasov, B.I. Metody izogeometricheskoi approksimatsii splaynami, M.: Fizmatlit, 360 (2006) (in Russian).
14. Matematicheskaya entsiklopediya. M.: Sov. Entsiklopediya, 1215 (1984) (in Russian).
15. Lytvyn, O.M. Interpolyatsiya funktsiy ta ih normal'nyh pohidnyh na gladkyh liniyah v R^n . Dop. AN URSSR. 7, 15–19 (1984) (in Ukrainian).
16. Lytvyn, O.M. Tochnyi rozvyazok zadachi Koshi dlya rivnyannya $\prod_{i=0}^n \left(\frac{\partial}{\partial t} - a_i^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) u(x,t) = g(x,t)$. Dop. AN URSSR. 3, 12–17 (1991) (in Ukrainian).
17. Lytvyn, O.M. Pobudova funktsiy n zminnyh iz zadanymy normal'nymy pohidnymy na R^m ($1 \leq m \leq n - 1$) iz zberezhennyam klasu $C^r(R^n)$. Dop. AN URSSR. ser. A. 5, 13–17 (1987) (in Ukrainian).
18. Sergienko, I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. Vidnovlennya funktsiy dvoh zminnyh iz zberezhennyam klasu $C^r(R^2)$ za dopomogoy ih slidiv ta slidiv ih pohidnyh do fiksovanogo poryadku na zadaniy linii. Dop. NAN Ukrainy. 2, 50–55 (2014) (in Ukrainian).
19. Sergienko, I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. Pobudova ta doslidzhennya operatora nablyzhennya funktsiy dvoh zminnyh iz zberezhennyam klasu dyferentsiyovnosti za slidamy ih pohidnyh do fiksovanogo poryadku na zadaniy linii. Problemy mashinostroeniya. 19 (2), 50–57 (2016) (in Ukrainian).

Non-traditional Power Engineering

Filenko V. V., Solovey V. V. Combined installation of photovoltaic panel with concentrators and hydrogen energy storage.....69–75

Scaling up the use of alternative and renewable energy sources necessitates a substantial improvement of energy conversion processes and improve technical and economic characteristics of power supply systems based on them. One of the main ways to solve this problem is to intensify energy conversion processes at all levels of the system, both during energy generation and its consumption, which necessitates a systematic study of the dynamics of energy conversion processes in key elements of the technological scheme. As promising projects that could be implemented in the shortest possible time with maximum economic, can be divided into work that aims to improve the efficiency of wind energy infrastructure and solar energy sector using hydrogen technologies. Innovative hydrogen technologies designed to play an important role in the diversification of energy flows, significantly reduce the consumption of hydrocarbon fuels and will improve the environment in the most environmentally stressed areas of industrial regions and rural areas. Solar electricity generation steadily increased its share in the world's energy balance. Among the main obstacles to efficient use of the energy potential of solar radiation should underline its low density and high revenues as uneven during daylight hours and, depending on the season. The way to overcome or minimize these obstacles may be the creation of specialized systems of concentrating solar energy combined with energy storage systems or production of clean fuels. The paper presents the results of mathematical modeling of static parabolic-concentrator for the photovoltaic system and demonstrate possibilities use of concentration may not only increase the energy efficiency of solar cells, while reducing the

use of expensive semiconductor materials, but also smooth the unevenness of incoming solar radiation and improve economic and operational performance, including the use of renewable energy sources. Use concentration system constructed during the year will in 2.3 times increase revenues solar radiation per unit area, while reducing seasonal fluctuations of the level of solar radiation on the surface of the receiver by 14%.

Keywords: *renewable energy, photovoltaic cells, electrolyzer, hydrogen, concentrator.*

Расширение масштабов использования альтернативных и возобновляемых источников энергии требует существенного улучшения процессов преобразования энергии и технико-экономических характеристик систем электроснабжения на их основе. Один из основных путей решения этой проблемы заключается в интенсификации процессов преобразования энергии на всех уровнях системы как в процессе производства энергии, так и ее потребления, что требует систематического изучения динамики процессов преобразования энергии в ключевых элементах технологической схемы. Как перспективные проекты, которые могут быть реализованы в кратчайшие сроки с максимальной экономической эффективностью, можно выделить работы, направленные на повышение эффективности использования энергии ветра и солнца с использованием водородных технологий. Инновационные технологии водорода призваны играть важную роль в диверсификации энергетических потоков, существенно снизить потребление углеводородного топлива и улучшить экологическую обстановку в наиболее экологически напряженных промышленных районах и сельской местности. В статье представлены результаты математического моделирования статического параболического концентратора для фотоэлектрической системы, что позволит снизить использование дорогостоящих полупроводниковых материалов, сгладить неравномерность поступления солнечной радиации, а также улучшить экономические и эксплуатационные характеристики технологий возобновляемой энергетики. Предложенная система позволяет увеличить солнечную инсоляцию на единицу площади фотоэлемента в 2,3 раза на протяжении года, снизив при этом сезонные колебания уровня солнечной радиации на поверхности приемника на 14%.

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, фотоэлектрический преобразователь, электролизер, водород, концентратор.*

References

1. Strebkov D. S., Tveryanovich E. V. (2007) Koncentratory solnjechnogho izluchjenija [Solar concentrators]. Moscow: State Scientific Institution The All-Russian Research Institute for Electrofication of Agriculture (GNU VIESH)/ (in Russian).
2. Strebkov D. S., Irodionov A. E., Tarasov V. P., Bazarova E. G. (2007) Optimal orientation of non tracking solar concentrator in northern region. Proceedings of the 11-th International Conference on Solar Energy at High Latitudes. (Latvia. Riga), Riga: 62 pp.
3. Surface meteorology and Solar Energy. Retrieved from <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse>
4. Solovey V. V., Obolensky M. A. and Kasteev A. V. (1993). Aktivacyja vodoroda y vodorodsoderzhashykh jenerghonositel'lej [Activation of hydrogen and hydrogen containing energy sources]. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
5. Fylenko V. V. and Agapova H. L. (2016). Kombinovane vykorystannja vodnevoji ta sonjachnoji energheytyky v Ukrajinі [The combined use of hydrogen and solar energy in Ukraine], Zbirnyk centru naukovykh publikacij «VELES» - Collection of center of scientific publications "Veles": Proceedings of the second International scientific conference "Science and Modernity: the challenges of globalization", (Vols. 1), (pp. 110- 114). Kyiv Center of scientific publications [in Ukrainian].