

**Rusanov R. A., Rusanov A. V., Lampart P. and Chugay M. A.** Improving the efficiency of radial-axial rotors of turbine stages through the use of complex lean of trailing edges .....6–11

*The influence of shape of the blade trailing edges on the flow patterns and integral flow characteristics of the radial-axial turbine rotors is investigated. Also a modified analytical method of design of spatial blades of radial-axial rotors with complex lean of leading and trailing edges is proposed. A radial-axial rotor designed for a turboexpander unit of a complex gas treatment plant working in a gas condensate field is chosen as an object of investigations. Three types of rotors are considered having the same geometry of meridional contours, but differing in shape of blade trailing edges. In the first variant of the rotor its blades have radial trailing edges, in the second variant the trailing edges are straight with circumferential lean, and in the third variant they are designed in the form of arcs leaned in the circumferential direction. It is shown that the application of complex lean of trailing edges of low-loaded radial-axial rotor blades allows us to increase the flow efficiency by 3.1% compared with the rotor blades having radial trailing edges.*

**Keywords:** radial-axial turbine, flow part, analytical method of profiling, spatial flow, numerical modeling, complex lean.

*Проведено исследование влияния формы выходной кромки на структуру потока и интегральные характеристики проточной части, а также предложен модифицированный аналитический метод задания пространственных радиально-осевых рабочих колес (РК) со сложными навалами входных и выходных кромок. В качестве объекта исследования выбрано радиально-осевое РК, предназначенное для турбины турбодетандерного агрегата установки комплексной подготовки газа, работающей на одном из газоконденсатных месторождений. Рассмотрено три типа РК, имеющих одинаковую геометрию меридиональных обводов, но отличающихся формой выходных кромок. В первом варианте РК выходные кромки радиальные, во втором – прямые с окружным навалом, а в третьем – в виде дуги, наваленной в окружном направлении. Показано, что использование сложного навала выходных кромок низконагруженного радиально-осевого РК позволило повысить КПД на 3,1% по сравнению с конструкцией с радиальными выходными кромками.*

**Ключевые слова:** радиально-осевая турбина, проточная часть, аналитический метод профилирования, пространственное течение, численное моделирование, сложный навал.

#### 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): 042308–1–042308–13.
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: 1–13.
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. Rusanov, R.A., Rusanov, A.V., Lampart, P., Chugay, M.A. (2016). Analytical method for profiling of radial stator blades of turbine stages. *Journal of Mechanical Engineering*. 19(3): 5–11. ISSN 0131-2928.
6. 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*, 72: 322–330.
7. Kurzrock, J.W. (1989). Experimental Investigation of Supersonic Turbine Performance. *Am. Soc. Mech. Eng*, 89: 238.
8. 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.
9. Rusanov, A. V., Yershov, S. V. (2008). Mathematical modelling of unsteady gasdynamic processes in the turbomachine settings. *IPMach NAS of Ukraine*: 275.

**Parafejnik V. P., Shcherbakov N. S., Ryabov A. A., Shevchuk V. V., Raznoshynskyy V. N., Tertyshnyi I. N. and Prilipko S. A.** Selection of Systemic Characteristics for Turbo-Compressor Package Based on Efficiency Analysis According to Full Scale Tests Results. Part I.....12–18

*The methodology of efficiency analysis of gas turbine turbo-compressor package and its systems to select the systematic characteristics and more appropriate mode of its operation at pre-design studies stage while creating new equipment for gas pipelines compressor stations will be finalized in the present work based on the full-scale results of bench and prototype models of the series-produced turbo-compressor package GPA-C-6,3A manufactured by Sumy NPO PJSC and State Enterprise "Ivchenko Progress". The first part of the work presents the target of research, i.e. modular package designed for line compressor stations and equipped with centrifugal compressor NC-6,3/56B-1,45 providing outlet pressure of compressed gas 5,49 MPa and gas turbine D-336. The main design solutions and the special features of the package which predetermine the package design layout as well as general approach for method development of thermodynamic analysis of the package of container type are considered. Also the work presents the requirements to scope of testing of separate systems including parameters data for operation of centrifugal compressor, gas turbine, auxiliary systems of the package to perform thermodynamic analysis of its operating process when the package runs under conditions of back-to-back test rig.*

**Keywords:** turbo-compressor package, centrifugal compressor, gas turbine engine, compressor polytropic efficiency, turbine effective efficiency, package integral characteristics, package systematic characteristics, exergy approach.

*В настоящей работе на основе результатов натурных испытаний стендового и опытного образцов серийного турбокомпрессорного агрегата типа ГПА-Ц-6,3А разработки ПАО «Сумское НПО» и ГП «Ивченко-Прогресс» уточнена методология анализа эффективности газотурбинного турбокомпрессорного агрегата и его систем с целью выбора системной характеристики и наиболее целесообразного режима его работы на стадии предпроектных исследований в процессе создания нового оборудования для компрессорных станций магистральных трубопроводов. В первой части работы представлен объект исследования – блочно-комплектный агрегат, предназначенный для линейных компрессорных станций и оснащенный центробежным компрессором НЦ-6,3/56В-1,45, обеспечивающим конечное давление компримируемого газа на уровне 5,49 Мпа, и газотурбинным двигателем Д-336. Рассмотрены основные конструктивные решения и особенности агрегата, предопределяющие компоновочную схему агрегата, а также общий подход к разработке методики термодинамического анализа агрегата контейнерного исполнения. Также в работе сформулированы требования к объему испытаний отдельных систем, включающие данные по параметрам работы центробежного компрессора, газотурбинного двигателя, вспомогательных систем агрегата с целью осуществления термодинамического анализа его рабочего процесса при работе агрегата в условиях стенда замкнутого контура.*

**Ключевые слова:** турбокомпрессорный агрегат, центробежный компрессор, газотурбинный двигатель, политропный КПД компрессора, эффективный КПД двигателя, интегральная характеристика агрегата, системная характеристика агрегата, эксергетический подход.

#### References

1. Sokolov S.G. Aircraft Turbo-Compressor Packages and Efficiency Increasing Methods. Abstract of PhD Thesis in Engineering Science : 05.04.06/MICE.-M.; 1984.-18p. (Moscow Institute of Chemical engineering)
2. Parafejnik V.P. "Systematic Approach to Operation Condition Analysis of Gas Turbine of Turbo-Compressor Package" Heat Process Engineering 2006 (T28,3):54-61.
3. Parafejnik V.P., Petukhov I.I., Frolov S.D., Shakhov Yu. V. "System Analysis of Aircraft Modular Turbo-Natural Gas Compressor Unit Efficiency" Bulletin of Drive Engineering, 2003 (2): 29-36.
4. Prilipko S.A., Parafejnik V.P., Tertyshnyi I.N. "Analysis of Gas Turbine Natural Gas Modular Turbo-Compressor Unit Efficiency" Industrial Gases. 2012 (4): 42-50.
5. Parafejnik V.P., Nefyodov A.N., Evdokimov V.E., Tertyshnyi I.N. "Regards Optimization of Natural Gas Centrifugal Compressors Rotor Bundle Geometry" Compressor equipment and Pneumatic. 2012 (2): 18-25.
6. Tertyshnyi I.N., Parafejnik V.P., Nefyodov A.N., Rogalskii S.A. "Efficiency Analysis of Centrifugal Compressor as Complex Energotechnological System" Compressor and Power Engineering. 2014 (4): 6-10.
7. Sagitov R.R. "Increasing Efficiency of CS Components Operation Based on Exergy Analysis" Abstract of PhD Thesis in Engineering Science Spec. 05.14.04 "Industry Thermal Power Engineering". – Moscow. 2014. 167p.

8. Tsatsaronis G. "Interaction of Thermodynamics and Economics to Minimize Price of Energy-Converting System" Odessa: Negotsiant. 2002. 152p.
9. Morosuk T., Tsatsaronis G. "A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines" Energy 2008(33): 890-907.
10. Bratuta E.G., Tarasova V.A., Kharlampidi D.Kh., Sherstyuk A.V. "Thermoeconomic Approach to Diagnostics of Cold-Producing Machines and Heat pumps" Refrigirating Engineering and Technology. 2013(5): 39-44.
11. Matsevityi Yu.M., Bratuta E.G., Kharlampidi D.Kh., Tarasova V.A. "System-Structural Analysis of Steam and Compressor Thermotransformers" National Academy of Sciences of Ukraine, Machine Engineering Institute. Kharkov 2014.-269p.
12. Tertyshnyi I.N., Prilipko S.A., Miroshnichenko E.A., Parafejnik V.P. "Thermodynamic Analysis of Operating Process Efficiency of Booster Turbo-Compressor Packages with Gas Turbine Drive. Part I." Engineering Industry Problems. 2015 (T.18, 4/1):9-17.
13. Tertyshnyi I.N., Prilipko S.A., Parafejnik V.P. "Issues of Thermodynamic Analysis of Operating Process Efficiency of Booster Turbo-Compressor Packages with Gas Turbine Drive . Part II." Engineering Industry Problems. 2016 (T.19, 2): 10-18.
14. Muravchenko O.F., Parafejnik V.P., Yepifanov S.V., Zelenskii R.P. " Influence Analysis of Gas Turbine Drive Systems on Turbo-Compressor Package Operation Efficiency" Aerospace Engineering and Technology. 2001 (26): 24-30.
15. Khalatov A.A., Dolinskii A.A., Kostenko D.A., Parafejnik V.P. " Condition and Development of Mechanical Drive for Gas Transportation System of Ukraine" Heat-Process Engineering. 2010 (T.32, 1):44-53.

*Aero- and Hydromechanics in Power Machines*

**Babayev A. I., Goloschapov V. N.** Application of impermeable screens to stabilize the flow in the angle control valve ..... 19–24

*Formation of vortex flow in the control valve is determined not only the transition to a separated flow of the valve channel formed by the valve seat and the plug, but the conditions of steam supply to it. Most modern designs of control valves has a one lateral inlet of steam. Therefore, when steam moves along the annular section of the steam chest, cross section of the channel is unchanged and mass flow is decreased. For this reason, a diffuser effect occurs in the stream. As a result, non-uniform velocity field is formed, promoting the formation of separated flow in the inlet section of the valve channel. The main goal of the present work was to investigate the possibility of improving the gas-dynamic characteristics of the control valve by installing an impermeable screen at the entrance to the steam chest. The object of investigation was adopted design of the control valve of the high pressure cylinder of turbine 200 MW. To investigate the effect of the installation of the impermeable screen to gas-dynamic flow characteristics has been developed a new design of the protective glass. The proposed glass, unlike to the original, has an impermeable sector, located opposite to the inlet, and the additional force racks located on the remainder of the circular sector. As a result, the calculation of three-dimensional flow in the valve is determined that the installation of the screen with length  $\alpha = 30-60^\circ$  leads to an increase in the efficiency of gas-dynamic of control valve. To skip the established steam consumption at nominal mode at the valve without the screen relative pressure drop was 3,3%, with the screen – 2,1–2,4%. This reduction in pressure drop is observed in the investigated range in all modes. Analysis of the results showed a large loss of energy in the original model of the valve caused, first of all, flow separation in the valve channel. This flow separation from the surface of the valve seat profile observed in all investigated modes. The formation reverse flow negative impact on the reducing ability of the diffuser. In the variant of the control valve with the screen design provides greater uniformity of flow in the inlet of the valve channel. When steam stream around the screen is its redistributed. As a result, in the throat cross section of the saddle there is a more uniform velocity field and there is no separating jet in the streamlined wall. With these conditions it is possible to significantly increase reducing the ability of the diffuser. In conclusion, the work points out that the installation of impermeable screen with length of  $30^\circ \dots 60^\circ$  with forcer racks leads to increased gas-dynamic efficiency of control valve due to the formation of the more uniform flow at the inlet of the valve channel. The increase losses, when the steam flows around the screen and power racks, compensated by a significant increase in regenerative ability of the diffuser. As a result, energy loss ratio in the diffuser and pressure drop desired of the model for the control valve are reduced by 50%. The most effective is a screen length of  $\alpha = 40^\circ$ .*

**Keywords:** control valve, impermeable screen, steam turbine.

Формирование вихревого течения в регулирующем клапане (РК) определяется не только переходом к отрывному обтеканию клапанного канала, образованного седлом и основным затвором клапана, но и условиями подвода пара к нему. Поскольку большинство современных конструкций РК имеет односторонний боковой подвод пара, то по мере его продвижения вдоль паровой коробки сечение кольцевого канала не изменяется, а расход пара уменьшается и в потоке проявляется диффузорный эффект. В результате этого во входном участке клапанного канала формируется неравномерное поле скоростей, способствующее образованию отрывного течения. Основная цель представленной работы состояла в исследовании возможности улучшения газодинамических характеристик РК за счет установки непроницаемого экрана на входе в паровую коробку. В качестве объекта исследования была принята конструкция РК-2 ВД турбин мощностью 200 МВт. Для исследования влияния установки непроницаемого экрана на газодинамические характеристики потока разработана новая конструкция защитного стакана. Предлагаемый стакан, в отличие от исходного, имеет непроницаемый сектор, расположенный напротив входного патрубка, а также дополнительные силовые стойки на оставшейся кольцевой части. В результате расчета трехмерного течения в клапане определено, что установка экрана протяженностью  $\alpha = 30\text{--}60^\circ$  приводит к повышению газодинамической эффективности РК. Для пропускания заданного расхода при номинальном режиме работы у клапана без экрана относительный перепад давлений составил 3,3%, с экраном – 2,1–2,4%. Данное снижение перепада давлений наблюдается во всем диапазоне исследованных режимов. Анализ результатов показал наличие больших потерь энергии в исходной модели клапана, вызванных, в первую очередь, отрывным течением в клапанном канале. Данный отрыв потока от профильной поверхности седла клапана наблюдался для всех исследованных режимов. При этом формирование циркуляционного течения негативно сказывается на восстановительной работе диффузора. В варианте конструкции РК с экраном в потоке обеспечивается большая равномерность при входе в клапанный канал. При обтекании экрана происходит перераспределение потока. В результате этого в горловом сечении седла наблюдается более равномерное поле скоростей и отсутствие отрыва струи от обтекаемых стенок. При таких условиях подвода удается значительно повысить восстановительную способность диффузора. В заключение работы отмечается, что установка непроницаемого экрана протяженностью  $30\text{--}60^\circ$  с силовыми стойками приводит к повышению газодинамической эффективности РК за счет формирования более равномерного потока на входе в клапанный канал. Увеличение потерь при обтекании экрана и силовых стоек компенсируется значительным увеличением восстановительной способности диффузора. В результате коэффициент потерь энергии в диффузоре и необходимый перепад давлений для исследуемой модели РК уменьшаются на 50 %. Наиболее эффективным является экран протяженностью  $\alpha=40^\circ$ .

**Ключевые слова:** регулирующий клапан, непроницаемый экран, паровая турбина.

#### References

1. Kostjuk, A. G., Kumenko, A. I., Nekrasov, A. L., Kalinin S. V. and Medvedev S. V. (2000) "Eksperimentalnyy analiz pulsatsiy davleniy v paropodvodyaschih organah turboagregata" [Experimental analysis of the pressure fluctuations in the turbine elements of steam supply]. *Teploenergetika*, no. 6, pp. 50–57.
2. Kasilov V. F., Kalinin S. V., Gvozdev V. M., Kartashov V. S. and Emel'janov E. M. (2001) "Issledovanie vibroaktivnosti reguliruyuschih klapанov sistemyi paroraspredeleniya TsVD turbinyi K-200-130" [Investigation vibratory activity of control valves of steam distribution system of high pressure cilinder of turbine]. *Teploenergetika*, no. 11, pp. 13–26.
3. Orlik, V. G. and Minenkov, Y. E. (2004) "Vozdeystvie avtokolebaniy reguliruyuschih klapанov parovoy turbinyi na vibratsionnoe sostoyanie rotora" [The impact of self-oscillation control valve on the steam turbine rotor vibration state]. *Elektricheskie stantsii*, no. 3, pp. 43–46.
4. Seregin, V. A. (1984) "Aerodinamicheskoe sovershenstvovanie klapанov parovyih turbin s tselyu snizheniya poter davleniya v sisteme parovpuska" [Aerodynamic improvement of steam turbine valves to reduce pressure losses in the steam input system], Ph. D. Thesis, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russia.
5. Zarjankin, A. E. and B. P. Simonov. (2005) *Regulirujushhie i stoporno-regulirujushhie klapаны parovyih turbin* [Control and stop-control valves of steam turbines]. MEI, Moscow, Russia.
6. Zarjankin, A. E., Zarjankin, V. A., Seregin, V.A., Grigor'ev, E. J. and Rogalev, A. N. (2014) "Razgruzhenyie drosselno-reguliruyushchie klapаны novogo pokoleniya" [Balanced throttling control valves of new generation]. *Vestnik IGEU*, no. 6, pp. 11–17.
7. Gotovtsev A. M. (2006) "Razrabotka i issledovanie sistem stabilizatsii techeniya para v vyihlopnnyih i vyinosnyih reguliruyuschih klapанah parovyih turbin" [Development and research of systems of stabilization

- flow of steam in the exhaust and external control valves of steam turbines], Ph. D. Thesis, Moscow Energetic Institute, Moscow, Russia.
8. Clark, R. B., Kure-Jensen, J., Miyayashiki, H. and Ofuji, T., General Electric Company and Kabushiki Kaisha Toshiba. (1999) *Combined valve configuration for steam cycle units*, New York, USA and Yokohama, Japan, Pat. US005870896A.
  9. Chowdhury, A., Done, V. and Shah, V., General Electric Company. (2010) *Flow guided steam strainer for steam turbines valves*, New York, USA, Pat. US20110162735A1.
  10. Brandon, R. E. and Brandon, D. E., (1995) *Steam turbine steam strainer*, New York, USA, Pat. US005575618A.
  11. Clark, R. B., Kure-Jensen, J., Miyayashiki, H. and Ofuji, T., (1997) *Combined valve configuration for steam cycle units*, New York, USA, Pat. US005870896A.

### *Heat Transfer in Engineering Constructions*

**Bozbiei L. S., Kostikov A. O., Kurskaya N. M. and Tkachenko V. I.** The experimental investigation of thermal parameters of free elementary convective cell.....25–35

*This work substantiates the existence of an elementary convective cell by comparing the theoretical model and experimental data, as well as experimental determinations of characteristic velocities of fluid convection within a cell. It was assumed that suspension near the bottom of the vessel should be regarded as separate environment, with distinct from of a pure oil density and viscosity, which moves along an oil substrate of a pure oil without friction. In these conditions, boundary conditions of layer fluid can be considered as free. This assumption is supported by results of the numerical processing of experimental results on formation of convective rings in a layer of fluid, heated from below, obtained by other authors. Geometric dimensions and the velocity of mass transfer of the elementary convection cell were experimentally investigated in this work. As a result of experiments on formation a cylindrical convective cell by overlay of the copper ring on a surface of oil, qualitative and quantitative correspondence of the theoretical model to the experimental data was shown. Results of experimental studies were adequately described by the theoretical model of elementary convection cell. It is shown, that the adding of aluminum powder in oil, transforms oil to a suspension, such that boundary conditions on the solid wall can be regarded as free, because we have a slip through the tape of pure oil. Change in the character boundary conditions is confirmed by results of numerical processing of experimental results on formation of convective rings by other authors. Two independent methods for determining the velocity of mass transfer in cells with various diameters were described in this work. For cells with large diameter (17 mm), the maximum velocity of mass transfer was measured at the upper boundary on a deflection angle of the probe. Measured in this way velocity was equal 0,2 mm/sec. For cells with smaller diameter (2 mm), the velocity of oil on the surface of a cell was measured using an optical method and constituted the value from 3,5 mm/sec to 5,2 mm/sec..*

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

*В работе экспериментально исследованы геометрические размеры и скорость массопереноса элементарной конвективной ячейки. Результаты экспериментального исследования адекватно описываются теоретической моделью элементарной конвективной ячейки. Показано, что добавление в масло алюминиевой пудры преобразует масло в суспензию, граничные условия для которой на твердой стенке из-за проскальзывания по пленке чистого масла можно рассматривать как свободные. Изменение характера граничных условий подтверждается результатами численной обработки экспериментальных результатов по формированию конвективных колец других авторов. Описано два независимых способа определения скорости массопереноса в ячейках разных диаметров. Для ячеек большого диаметра (17 мм) максимальная скорость массопереноса на верхней границе измерялась по углу отклонения щупа. Измеренная таким способом скорость равнялась 0,02 см/с. Для ячеек меньшего диаметра (2 мм) скорость масла на поверхности ячейки измерялась оптическим методом и составляла величину от 3,5 до 5,2 мм/с.*

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

#### **References**

1. Bernard, H. (1900). Les tourbillons cellulaires dans une nappe liquid. *Revue générale des Sciences, pures et appliquées*. 11: 1261-1271, 1309–1328.

2. Strutt, J.W. (1916). On convection currents in a horizontal layer of fluid when the higher temperature is on the under side. *Philosophical Magazine*. 32: 529–546.
3. Chandrasekhar, S. (1970). *Hydrodynamic and hydromagnetic stability*. Oxford: 657.
4. Gershuni, G.Z., Zuhovickij, E.M. (1972). Convective stability of incompressible fluid [Convective stability of incompressible fluid]. Moscow: 393.
5. Getting, A.V. (2001). Rayleigh-Benard convection. Structures and dynamics. advanced series in nonlinear dynamics. World Scientific Publishing Company: 245.
6. Getling, A.V. (1991). Formirovanie prostranstvennykh struktur konveksii Releya—Benara [Formation of spatial structures of Rayleigh-Benard convection]. *Uspekhi fizicheskoy nauk [Physics-Uspekhi]*. 9(161): 1–80.
7. Rieuton, M., Rincon, F. (2010). The Sun’s Supergranulation. *Living Rev. Solar Phys.* 7(2): 82.
8. Borts, B.V., Vanzha, A.F., Korotkova, I.M., Sytin, V.I., Tkachenko, V.I. (2014). Issledovanie vozmozhnosti polucheniya dispersno-uprochnennykh oksidami (DUO) staley metodom vakuumno-dugovogo pereplava [Research opportunities oxide dispersion strengthened (DUO) steel by vacuum arc remelting]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki [Problems of atomic science and technology]*. 4(92): 117-124.
9. Bozbei, L. S., Kostikov A. O., Tkachenko V. I (2016). Elementary convective cell in incompressible viscous fluid and its parameters. *Journal of Mechanical Engineering*. 19(3): 27–36. ISSN 0131-2928.
10. Koschmieder, E.L., Prahl, S.A. (1990). Surface-tension-driven Benard convection in small containers. *J. Fluid Mech.* 215: 571–583.
11. Vacuum oils [Electronic resource]. – Mode of access: [http://tavot-spb.ru/vakuumnoye\\_masla](http://tavot-spb.ru/vakuumnoye_masla).
12. Tables of zeros of the Bessel functions. - M.: VTs AN SSSR, 1967. - 94 p.
13. Koschmieder, E.L. (1993). Bénard Cells and Taylor Vortices. Cambridge: 350.
14. Zierep, J. (1958). Über rotationssymmetrische Zellularkonvektionsströmungen. *Z. Angew. Math. Mech.* 7/8 (39): 329–333.
15. Zierep, J. (1958). Eine rotationssymmetrische Zellularkonvektionsströmung. *Beitr. Phys. Atmos.* 30: 215–222.
16. Pavlov, V. N., Kryzhanovskiy, A. S. (2009). Issledovanie obrazovaniya smazochnykh sloev v zubchatom zatseplenii [Research Education lubricating layers in gearing]. *Problemy treniya i iznashivaniya [Friction and wear problems]*. 183 – 186.
17. Betchelor, G. (1973). *Vvedenie v dinamiku zhidkosti [Introduction to fluid dynamics]*. Moscow: 792.
18. Khodakov, G. S. (2003). Reologiya suspenziy. Teoriya fazovogo techeniya i ee eksperimentalnoe obosnovanie [Rheology of suspensions. The theory of the phase currents and its experimental validation]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal [Russian chemical journal]*. 2(XLVII): 33–44.
19. Makarova, M.A., Pyshnograd, I.G., Pyshnograd, G.V. i dr. (2012). Postanovka mezoskopicheskikh granichnykh usloviy dlya skorosti proskal-zyvaniya na granitse [Statement of mesoscopic boundary conditions for the binding of proskal-speed on the border]. *Polzunovskiy vestnik*. 3/1: 61–74.

*Dynamics and Strength of Machines*

**Mirsalimov V.M. and Mustafayev A. B.** Closure of a curvilinear crack in sheet element under influence of temperature field.....36–43

*We consider a change of temperature field near ends of a curvilinear crack in structure sheet element under influence of an inhomogeneous strength field. Solution of the boundary value problem for equilibrium of a curvilinear crack with partially contacting faces under the influence of an external inhomogeneous stress field, an induced thermoelastic field and tractions on contacting crack faces is reduced in each approximation to the problem of analytic functions linear conjugation. It is assumed that in some part of the contact zone a stick of crack faces occurs, and in the rest part of the contact zone a crack faces slippage is possible. The goal of the local temperature changes is deceleration or braking of curvilinear crack growth. From the solution of the problem of analytic functions linear conjugation the normal and tangential contact stresses are found. The sizes of contact zones also are found.*

**Keywords:** *curvilinear crack in sheet element, non-uniform stress field, temperature field, contact stresses, contact zone, slippage zone.*

*Рассматривается изменение температурного поля вблизи концов криволинейной трещины в листовом элементе под действием неоднородного напряженного поля. Решение краевой задачи о равновесии криволинейной трещины с частично контактирующими берегами при действии внешнего неоднородного*

напряженного поля, наведенного термоупругого поля напряжений и усилий на контактирующих поверхностях трещины сводится к задаче линейного сопряжения аналитических функций. Принято, что на некоторой части контакта возникает сцепление берегов, а на остальной части контакта возможно проскальзывание.

**Ключевые слова:** криволинейная трещина в листовом элементе, неоднородное напряженное поле, температурное поле, контактные напряжения, контактная зона, зона проскальзывания.

### References

1. Finkel, V.M. (1977). Fizicheskie osnovy tormozhenija razrushenija [Physical basis of fracture retardation]. Moscow: 360.
2. Fan, H., Sun, Y.M., Xiao, Z.M. (1998). Contact zone in an interfacial Zener–Stroh crack. *Mechanics of Materials*. 30: 151–159.
3. Kovtunenکو, V.A. (2005). Nonconvex problem for crack with nonpenetration. *Z. Angew. Math. Mech.* 85: 242–251.
4. Mirsalimov, V.M. (2009). Simulation of bridged crack closure in a contact pair bushing. *Mechanics of Solids*. 44: 232–243.
5. Mir-Salim-zada, M.V. (2010). Modeling of partial closure of cracks in a perforated isotropic medium reinforced by a regular system of stringers. *J. of Applied Mechanics and Technical Physics*. 51: 269–279.
6. Hasanov, Sh.H. (2012). Kogezionnaja treshhina s chastichno kontaktirujushhi-mi beregami v sechenii dorozhnogo pokrytija [Cohesive crack with partially contacting faces in section of the road covering]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and Materials]. Issue 2(19): 58–64.
7. Mirsalimov, V.M., Rustamov, B.E. (2013). Simulation of partial closure of a crack-like cavity with cohesion between the faces in an isotropic medium. *J. of Applied Mechanics and Technical physics*. 54: 1021–1029.
8. Mirsalimov, V.M., Mustafayev, A.B. (2014). Tochnoe reshenie kontaktnoj zadachi o chastichnom vzaimodejstvii beregov shheli peremennoj shiriny pri dejstvii temperaturnogo polja [Exact solution of contact problem for partial interaction of width variable slit faces at temperature field action]. *Problemy mashinostroenija* [J. of mechanical engineering]. Issue 3: 33–37.
9. Belhouari, M., Amiri, A., Mehidi, A., Madani, K., Bel Abbes Bachir, B. (2014). Elastic–plastic analysis of interaction between an interface and crack in bi-materials. *Int. J. of Damage Mechanics*. 23: 299–326.
10. Mustafayev, A.B. (2014). Vzaimodejstvie beregov shheli peremennoj shiriny pri izgibe polosy (balki) pod vozdejstviem temperaturnogo polja [Interaction of variable width slit faces under strip (beams) bending and influence of temperature field]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and Materials]. Issue 3(28): 30–36.
11. Mirsalimov, V.M., Mustafayev, A.B. (2015). Solution of the problem of partial contact between the faces of a slot of variable width under the action of temperature fields. *Materials Science*. 51: 96–103.
12. Mirsalimov, V.M., Mustafayev, A.B. (2015). A contact problem on partial interaction of faces of a variable thickness slot under the influence of temperature field // *Mechanika*. 21: 19–22.
13. Mir-Salim-zada, M.V. (2015). Periodicheskaja kontaktnaja zadacha dlja stringer-noj plastiny [Periodic contact problem for a stringer plate]. *Tjzheloe mashino-stroenie* [Heavy engineering]. Issue 6: 37–42.
14. Mir-Salim-zada, M.V. (2016). Zakrytie shheli, ishodjashhej iz kontura krugovogo otverstija v stringernoj plastine [Closing of a slit started from contour of circular hole in stringer plate]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I.Ja. Jakovleva. Serija: Mehanika predel'nogo sostojanija* [Vestnik I. Yakovlev Chuvach State Pedagogical University. Series: Mechanics of a limit state]. Issue 1(27): 78–89.
15. Mirsalimov, V.M. (2016). Simulation of partial closure of a variable width slot with interfacial bonds in end zones in an isotropic medium. *Int. J. Damage Mechanics*. 25: 266–279.
16. Mir-Salim-zadeh, M.V. (2016). Partial contact of faces of a variable width slit in a stringer plate. *Materials Science*. 52: 328–333.
17. Mirsalimov, V.M., Mustafayev, A.B. (2016). Inhibition of a curvilinear bridged crack by induced thermoelastic stress field. *J. of Thermal Stresses*. 39: 1301–1319.
18. Muskhelishvili, N.I. (1977). Some basic problems of mathematical theory of elasticity. Amsterdam: 707.
19. Gakhov, F.D. (1977). Kraevye zadachi [Boundary value problems]. Moscow: 640.

**Shulzhenko M. G., Gontarovskiy P. P., Garmash N. G., Glyadya A. O., Shvetsov V. L., Grishin M. M. and Gubskiy O. M.** Seismic stability of turbine unit K -540-23,5/50 .....43–50

*The seismic stability estimation of a powerful turbine unit K-540-23,5 / 50 is carried out by software developed based on the finite element method. For analysis of dynamic processes in the turbine units under seismic actions is necessary to be taken into account the interaction of the turbine unit and foundation. Method and software for analysis of turbine-foundation-base system under seismic action are proposed. The rod computational models for solve problems forced vibrations and transients shafting on complex elastic-damper supports are used. The foundation plates are modeled by of the rods grating that take into account elasticity and inertial properties of foundation elements. The lumped mass at the nodes of rods of foundation are used to account for the mass of the installed equipment. Accelerograms of real earthquakes are used for simulation of the impact of seismic load. The results of these studies have shown that the same intensity of seismic loads with different frequency perturbations causes to significantly different maximum values of displacements and stresses in system elements. The results of analysis of powerful turbine for different design models are shown. These results may be used for design of resistant to seismic action of the powerful turbine units.*

**Keywords:** seismic stability, turbine, foundation, base, accelerogram, rod finite element, vibration.

*Рассматривается сейсмостойкость турбоагрегата К-540-23,5/50 с фундаментом с использованием созданной расчетной методики оценки колебаний системы турбоагрегат-фундамент-основание. Расчетная модель динамической системы состоит из произвольно ориентированных стержней и сосредоточенных масс с моментами инерции, которые соединяются между собой жестко или линейными или нелинейными упруго-демпферными элементами. Стержневые конечные элементы с распределенными параметрами позволяют учитывать все виды деформаций, имеющих место при колебаниях. Воздействие сейсмической нагрузки моделируется с использованием акселерограмм реальных землетрясений. Приводятся результаты для расчетных схем разного уровня сложности. Определяются максимальные значения перемещений и нагруженности наиболее ответственных элементов системы. Разработанное программное обеспечение и полученные результаты могут быть использованы при проектировании мощных турбоагрегатов для их оценки на сейсмостойкость.*

**Ключевые слова:** сейсмостойкость, турбоагрегат, фундамент, основание, акселерограмма, стержневой элемент, колебания.

### References

1. Kendzera, O. V. Seismic hazard assessment and protection against earthquakes. Practical applications of developments of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine. Herald of the Academy of Sciences. Kyiv. 2015, no 2. pp.44 – 57
2. The equipment of nuclear power plants. Calculation of the strength of the seismic impact: RTM 108.020.37- 81. NPO CKTI. Leningrad. 1981. 39 p.
3. ПНАЕ-Г-5-006-87. The rules of designing earthquake-resistant nuclear power plants. Gosatomenergoadzor USSR. Moscow. 1987.10 p.
4. Kostarev, A. V. Seismic stability nuclear power plant of turbine units. Proc. Central Boiler and Turbine Institution. Leningrad. 1984, no 212. pp.82 – 88.
5. Shulzhenko, M. G., Gontarovskiy, P. P., Garmash, N. G., Glyadya, A. O., Shvetsov, V. L., Grishin, M. M., Gubskiy, O. M. Estimation the reaction of a powerful turbine unit on the seismic load. Vibration in engineering and technology. Vinnytsya. 2016, no 2 (82). pp. 85 – 93.
6. Ambriashvili, J. K., Piskarev, V. V. Methods for selecting and building the synthesized accelerograms for the calculation of energy facilities on seismic effects Proc. Central Boiler and Turbine Institution. Leningrad. 1984, no 212. pp. 114–122.
7. Gontarovskiy, P., Garmash, N., Shulzhenko, N. Methodology of calculation of the dynamics of the system turbine-foundation-base power units under seismic actions. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment. Kharkiv. 2016, no. 8(1180) pp. 153 –160



**Budanov V. E., Budanov O. V., Suslov N. N.** Classical theory of the Aharonov-Bohm effect .....51–56

*The intention of constructing a classically-electrodynamic theory of the Aharonov-Bohm effect (ABE) was a driving force to conduct the study presented in this paper. The ABE has been detailed by R. P. Feynman; it is a phenomenon in which an electrically charged particle (electron) passing by a very long and extremely thin magnetized filament is affected by a force, despite the fact that both the magnetic field and electric field are zero along the particle trajectory. The fact that nonzero vector potential exists around a magnetized filament turned out to be sufficient to give rise the quantum-mechanical explanation of this effect by Aharonov and Bohm in 1959. However, among the theorems of classical physics, the virtual work principle can be found, which represents one facet of the energy conservation law. This principle asserts that if the energy of a set of physical objects varies with the location of some object, then this object is subjected to a force, which can be calculated from the energy gradient at the point of the object location. This paper presents a classically-electrodynamic theory of the Aharonov-Bohm effect. The proposed theory uses the virtual work principle to determine the force acting on a point charge. The calculated value of the transverse momentum of an electron passing by an infinitely long solenoid is opposite in sign to that calculated by a quantum-mechanical method. The need for new, reasonably set up experiments is justified.*

**Keywords:** Aharonov-Bohm effect, virtual work principle.

*Побудительной причиной к проведению исследований, описываемых в настоящей работе, явилось желание построить классикоэлектродинамическую теорию эффекта Аронова-Бома (ЭАБ). Этот эффект состоит в том, что заряженная частица (электрон), пролетая рядом с очень длинной и очень тонкой намагниченной нитью, испытывает силовое воздействие несмотря на то, что на траектории частицы ни электрического, ни магнитного полей нет. Тот факт, что вокруг намагниченной нити существует ненулевой векторный потенциал оказался достаточным, чтобы в 1959 г. появилось квантовомеханическое объяснение этого эффекта Ароновым и Бомом. В арсенале аксиом классической физики имеется принцип виртуальной работы, являющийся одной из граней принципа сохранения энергии и утверждающий, что если в некоторой совокупности физических объектов с изменением расположения какого-либо объекта изменяется энергия названной совокупности, то на этот объект действует сила, вычисляемая через градиент энергии в точке его расположения. Построена классикоэлектродинамическая теория эффекта Аронова-Бома, в которой использован принцип виртуальной работы для установления силы, действующей на точечный заряд. Найденное значение поперечного импульса, приобретаемого электроном, пролетающим мимо бесконечно длинного соленоида, отличается по знаку от известного импульса, рассчитанного квантовомеханическим методом. Обосновывается необходимость в новых корректно поставленных экспериментах.*

**Ключевые слова:** эффект Аронова-Бома, принцип виртуальной работы.

#### References

1. Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. (1989) *The Feynman Lectures on Physics*, Redwood City, CA, Addison-Wesley.
2. Chirkov A. G., Ageev A. N. (2001) On the nature of the Aharonov-Bohm effect. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 46: 147–153.
3. Budanov, V. E. (1992) On one equivalent formulation of the foundations of the Faraday-Maxwell electrodynamics, Kharkov, Ukraine: Academy of Sciences of Ukraine, Institute for Mechanical Engineering Problems, Preprint 362.
4. Afanasiev G. N. (1990) Old and new problems in the theory of the Aharonov-Bohm effect *Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei*, 21: 172–250.
5. Budanov V. E., Budanov O. V., Suslov N. N. (2016) On the energy of a magnetostatic field. *Problemy Mashinopstroeniya*. 19, 2: 37–43.
6. Feinberg, E. L. (1963) On the ‘special role’ of the electromagnetic potentials in quantum mechanics. *Soviet Physics Uspekhi*, 5: 753-760.
7. Budanov V. E., Budanov O. V. A virtual work principle in the theory of the Aharonov-Bohm effect Budanov, Kharkov, Ukraine: Academy of Sciences of Ukraine, Institute for Mechanical Engineering Problems, Preprint 404.

**Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V. and Gritsay O. L.** Construction and research of operators of an interlineation of functions of three variables on system of not intersected curves in a cylindrical frame with preservation of a class of differentiability .....57–61

*In solving the problem of Hermite interpolation functions of three variables from its values and the values of its partial derivatives at a given point the system is not a problem of constructing operators automatically storing the class of differentiable because it completely can be solved by selecting the auxiliary functions, since the values of the function and its partial derivatives It does not affect the class of differentiable operator constructed. The mission statement is assumed that traces of derivatives of order  $s$  over the radial variable  $r$  in the cylindrical coordinate system are functions continuous together with its partial derivatives up to order  $v - s$ ,  $0 \leq s \leq N \leq v \leq \infty$ . In addition, it is believed that these derivatives are given on a system of non-intersecting lines lying on the surface of the three-dimensional body. Known R-functions method of constructing a system of coordinate functions for solving boundary value problems do not include the possibility of constructing the coordinate functions with automatic preservation of differentiability class, if the boundary function not belong to the class  $C^\infty(\partial G)$ . The method of the building of the operators the hermitian type interlineations of the functions of the three variables with help of its traces and traces of its derivatives on a no crossed lines system in cylindrical coordinate system are proposed. The method can recovery these functions between given closed no crossed lines in cylindrical coordinate system with automatical preserve of a differentiability class.*

**Keywords:** *interlineation of functions, a cylindrical coordinate system, the preservation of differentiability class, traces of functions, traces of derivatives, the operator Hermitian interlineation.*

*При решении задачи эрмитовой интерполяции функций трех переменных по ее значениям и значениям ее частных производных в заданной системе точек не возникает проблема построения операторов с автоматическим сохранением класса дифференцируемости, поскольку она полностью может быть решена путём выбора вспомогательных функций, так как значения функции и ее частных производных не влияют на класс дифференцируемости построенного оператора. В постановке задачи предполагается, что следы производных порядка  $s$  по радиальной переменной  $r$  в цилиндрической системе координат являются функциями непрерывными вместе со своими частными производными до порядка  $v - s$ ,  $0 \leq s \leq N \leq v \leq \infty$ . Кроме того, считается, что эти производные заданы на системе непересекающихся линий, лежащих на поверхности исследуемого трехмерного тела. Известный метод R-функций построения системы координатных функций при решении краевых задач не предполагает возможностей построения координатных функций с автоматическим сохранением класса дифференцируемости, если граничные функции не принадлежат классу  $C^\infty(\partial G)$ . Предлагается метод построения операторов интерликации эрмитового типа функций трех переменных с помощью их следов и следов их производных на заданных линиях. Метод позволяет восстанавливать эти функции в точках между заданной системой замкнутых непересекающихся кривых в цилиндрической системе координат, сохраняя автоматически класс дифференцируемости, которому принадлежит приближаемая функция.*

**Ключевые слова:** *интерликация функций, цилиндрическая система координат, сохранение класса дифференцируемости, следы функции, следы производных, оператор эрмитовой интерликации.*

**References**

8. Lytvyn O. N., Tkachenko A. V., Lytvyn O. O. (2011) Obschiy metod postroeniya uravneniy krivyh I poverhnostey v neyavnoy forme s pomoschyu interlinatsii I interfletatsii funktsii. *Kibernetika I sistemnyi analiz*, 1: 62–67. (in Russian)
9. Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. (2014) Vidnovlennya funktsiy dvoh zminnyh iz zberezhennyam klasu  $C^r(R^2)$  za dopomogoyu ih slidiv ta slidiv ih pohidnyh do fiksovanogo poryadku na zadaniy linii. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 2: 50–55. (in Ukrainian)
10. Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. (2014) Ermitova interlinatsiya funktsiy dvoh zminnyh na zadaniy systemi neperetynyh liniy iz zberezhennyam klasu  $C^r(R^2)$  *Dopovidi NAN Ukrainy*, 7: 53–59. (in Ukrainian)
11. Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. (2015) Interlinatsiya funktsiy treh zminnyh na systemi neperetynyh kryvyh iz zberezhennyam klasu dyferentsiyovnosni. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 1: 44–50. (in Ukrainian)
12. Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. (2015) Pobudova operatoriv interpolatsii ermitovogo typu na neregulyarniy sitsi vuzliv, rozmicheny na dovilniy systemi zamknytyh neperetynyh liniy v tsylindrychniy systemi koordynat, scho nalezhat konstruyovaniy poverhni. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 2: 43–49. (in Ukrainian)

13. Sergienko I. V., Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Tkachenko O. V., Gritsay O. L. (2015) Interlinatsiya ermitovogo typu na sisteme nepersekayuschihsiya liniy. *Obzor. Kibernetika I sistemyi analiz*, 51, 2: 1–12. (in Russian)
14. Lytvyn O. M., Tkachenko O. V., Lytvyn O. O. (2011) Odnа teorema pro izogeometrychni vlastyivosti operatoriv interlinatsii funktsiy 2-h zminnyh. *Visnyk Natsionalnogo tehniknogo universytetu «Harkivskiy politehniknyi instytut»*. *Zbirnyk naukovykh prats*, 42: 107–109. (in Ukrainian)

*Non-traditional Power Engineering*

**Kleperis J., Solovey V. V., Fylenko V. V., Vanags M., Volkovs A., Grinberga L., Shevchenko A., Zipunnikov M.** Self-Sufficient PV-H<sub>2</sub> Alternative Energy Objects .....62–68

*Energy storage becomes more important as mankind switch to renewable energy, away from fossil resources. Traditional way – batteries – offer a limited number of cycles, require regular maintenance; nevertheless gravitational storage, flywheels, compressed air are mainly large scale and expensive methods. The hydrogen as energy carrier and hydrogen fuel cells are possible option to store different amounts of energy for relatively long times with low losses. Different solutions for self-sufficient sun/wind energy objects are analysed – the solar radiation collecting systems, wind power generators, and high pressure electrolysis technologies for hydrogen production and the metal-hydride energy storage. This article describes the development of a versatile technology that can be used to provide continuous power for small and medium-sized self-sufficient objects or their micro-grids using alternative energy and energy storage. The technology uses advanced electrolysis and fuel cells to efficiently store excess energy from sun/wind generation as hydrogen for later use in fuel cells.*

**Keywords:** energy storage, metal-hydride, electrolysis technologies, photovoltaic cells.

*Хранение энергии становится все более важным в контексте перехода человечества от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии. Традиционный способ – химические батареи, которые характеризуются ограниченным числом циклов и требуют регулярного технического обслуживания; в то время как гравитационное хранение, маховики и сжатый воздух в основном требуют больших объемов и высокочатратны. Водород в качестве носителя энергии в водородных топливных элементах является возможным вариантом для хранения различных количеств энергии в течение относительно длительного времени с малыми потерями. В работе проанализированы различные решения для автономных энергетических объектов на основе энергии солнца/ветра – фотоэлектрические системы для преобразования первичного излучения солнца, ветрогенераторы и технологии электролиза высокого давления для производства водорода и хранения энергии в металлгидридных аккумуляторах. Описывается разработка универсальной технологии, которая может быть использована для обеспечения непрерывной мощности для малых и средних автономных объектов или их микросеток с применением альтернативных источников энергии и хранения энергии. В технологии применяются передовые разработки электролизеров водорода и топливные элементы для эффективного хранения избыточной энергии полученной из возобновляемых источников, для последующего использования в топливных элементах*

**Ключевые слова:** хранение энергии, металлгидрид, электролизер, фотоэлектрический преобразователь.

**References**

1. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>
2. Consumption of energy resources in Latvia. The Central Statistical Bureau of Latvia (CSB). Viewed 02.03.2016: <http://www.csb.gov.lv/en>
3. Ukraine: Energy Sector Highlights. The U.S. Energy Information Administration (EIA). Viewed 02.03.2016: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=UKR>
4. S. Romanko. Alternative Energy in Ukraine: Challenges, Prospects and Incentive Mechanisms. Country Report: Ukraine. Viewed 28.02.2016: [www.iucnael.org/en/documents/1248-ukraine-1](http://www.iucnael.org/en/documents/1248-ukraine-1)
5. S. Sabihuddin, A.E. Kiprakis, M. Mueller, *Energies* 2015, 8, 172-216.
6. X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke, *Applied Energy*, vol. 137 (2015) 511–536.
7. Decourt, B, Lajoie, B, Debarre, R, & Soupa, O 2014, *The hydrogen-based energy conversion FactBook*, The SBC Energy Institute.
8. Millet, P & Grigoriev, S 2013, “Water electrolysis technologies”, in: Gandia, L, Arzamendi, G, & Diéguez, P (eds.), *Renewable hydrogen technologies*, Elsevier, Amsterdam.

9. V.V. Solovey; A. Shevchenko; A. Kotenko; O. Makarov. 3013. The Device for Generation High-pressure Hydrogen. Patent of Ukraine № 103681 МПК C25B 1/12, C25B 1/03. Made public on November 11, 2013, Bulletin № 21.
10. V.V.Solovey, A.A. Shevcenko, I.A. Vorobjeva, V.M.Semikin, C.A. Koversun, Scientific Journal of Kharkiv National Auto-Road University, Kharkiv, 2008, No 43, p. 69-72 (In Russian).
11. J. O'M. Bockris, T.N. Veziroglu, Estimates of the price of hydrogen as a medium for wind and solar sources. Int. J.of Hydrogen Energy, vol.32 (12) 2007, p.
12. N. Shimizu et all, A novel method of hydrogen generation by water electrolysis using an ultra-short-pulse power supply, J. of Applied Electrochemistry (2006) 36: 419–423.
13. M.Vanags, J.Kleperis, G.Bajars "Electrolyses model development for metal/electrolyte interface: Testing with microrespiration sensors", I. J. of Hydrogen Energy, Vol 36, issue 2, (2011), p.
14. A.Roger, How Much Battery Storage Does a Solar PV System Need? 2015, on <http://euanmearns.com/how-much-battery-storage-does-a-solar-pv-system-need/>;
15. Calculation of Solar Insolation: <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation>
16. M. Vanags, J. Kleperis and G. Bajars. Water Electrolysis with Inductive Voltage Pulses. Chapter 2 in Book: Electrolysis, Editors J. Kleperis and V. Linkov, InTech (2012), pp.19-44, doi.org/10.5772/52453
17. Latvian Environment Geological and Meteorological Centre: <https://www.meteo.lv/lapas/laika-apstakli/klimatiska-informacija/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562>
18. Thomas, George. Overview of Storage Development DOE Hydrogen Program [pdf]. Sandia National Laboratories, 9 May 2000.