

**Uss A. N., Patsiuk S. T., Panchenko A. V., Shavlaklov A. V., Kharlampidi D. Kh.** New Generation 'Block-Modular' Condenser for K-1000-60 / 1500-2 Turbine Units in Zaporozhskaya NPP .....4–10

*The condensing devices of steam turbine plants considerably determine the reliable and economical operation of NPP power units. In some cases, breakdowns in their operation result in a forced decrease in the electric capacity of the power unit and a decline in the reliability, as well as in a significant underproduction of electric power. The main reason determining the necessity to modernize the condensers is the damage to the metal in different sections of the cooling tubes, caused by erosion-corrosion under the influence of the turbulent flow of the cooling water saturated with oxygen, as well as presence of solid particles and other contaminants, which results in the breakage of the water density of the tube systems, leakage of copper into the cycle of the turbine unit and, in the long run, in the loss of the turbine electric power, the reduction in resource and deterioration of the operational reliability of the auxiliary equipment and steam generators, which, finally, sharply worsens the performance of the NPP. A system of separate modules of complete factory readiness with assembled cooling tubes has been created, which made it possible to design a new generation 'block-modular' condenser, which provides high technical and economic indicators in a wide range of operating modes with the subsequent increase in turbine unit electrical power across the generator terminals through deepening the estimated steam pressure. Cooling tubes and external plates made of corrosion resistant materials are used in the condenser design, which increases reliability, efficiency, safety and prolongs the unit's service life. The condenser design allows for the withdrawal of the uncondensed vapor-air mixture from the tube bundle and the complete condensation of the vapor coming from the turbine LPCs.*

**Keywords:** condenser, cooling pipes, steam turbine, corrosion.

*Конденсационные устройства паротурбинных установок в значительной степени определяют надежную и экономичную работу энергоблоков АЭС. В некоторых случаях нарушения в их работе приводят к вынужденному снижению электрической мощности энергоблока и ухудшению надежности, а также к существенной недовыработке электроэнергии. Основной причиной, определяющей необходимость модернизации конденсаторов, является повреждение металла участков охлаждающих труб. Это вызвано эрозией-коррозией под влиянием турбулентного потока охлаждающей воды, насыщенной кислородом, а также содержащей твердые частицы и другие примеси. Это приводит к нарушению водной плотности трубных систем, выносу меди в цикл турбоустановки и, в конечном итоге, к потере электрической мощности, сокращению ресурса и ухудшению эксплуатационной надежности вспомогательного оборудования и парогенераторов, что резко ухудшает показатели работы АЭС. Конструкция отдельных модулей полной заводской готовности с набранными охлаждающими трубами позволяет создать конденсатор нового поколения в «блочном-модульном» исполнении, который обеспечивает высокие технико-экономические показатели в широком диапазоне режима работы с последующим приростом электрической мощности турбоустановки на зажимах генератора за счет углубления расчетного давления пара. В конструкции конденсатора применены охлаждающие трубы и внешние доски из коррозионностойких материалов, что повышает надежность, работоспособность, безопасность и увеличивает срок службы. Конструкция конденсатора позволяет обеспечить отвод из трубного пучка несконденсировавшейся паровоздушной смеси и полную конденсацию пара, поступающего из цилиндров низкого давления турбины.*

**Ключевые слова:** конденсатор, охлаждающие трубы, паровая турбина, коррозия.

#### References

1. Shvetsov, V. L., Uss, A. N., Gavrilova, V. V. (2012). Modernization of condensers for K-1000-60 / 1500-2M turbine units of Rostov and Balakovo NPPs by replacing the material of tube systems and creating a 'block-modular' design. *Energetic and heat engineering processes and equipment*. No. 8. pp. 26–35 (in Russian).
2. Pat. application to 'Ukrpatent', Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, No. 1-40-34 / 191 of 09/11/2012.
3. Kirsanov, I. N. *Condensation units*. Moscow: Energiia, 1965 (in Russian).
4. Berman, L. D., Zernova, E. P. *Guidelines for Thermal Calculation of Surface Condensers of Powerful Turbines for Thermal and Nuclear Power Plants*. Moscow: Vsesoiuz. teplotekhn. in-t, 1982 (in Russian).
5. Kosyak, Yu. F. *Paroturbine installations of nuclear power plants*. Moscow: Energiia, 1978 (in Russian).
6. *Rules and Norms in Nuclear Power Engineering PN AE G-7-002-86. Norms for calculating strength of equipment and of nuclear power plants*. Moscow: Energoatomizdat, 1989 (in Russian).

**Bykov Yu. A.** Aeroelastic behaviour of the turbine blade row in 3d viscous flow ..... 11–18

*The accuracy of determining the conditions for the possible onset of uncontrolled oscillations of turbine blades depends on the accuracy and detail of the aerodynamic problem solution. An increased accuracy of the simulation is necessary for complex flows in which shock waves are present, i.e. in trans- and supersonic flows. The main goal of this paper is to evaluate the influence of the order of numerical scheme approximation on the unsteady characteristics of the blade cascade in the transonic gas flow. This work presents the results of simulating transonic flow in the cascade of oscillating turbine profiles using methods of different accuracy, and a quantitative evaluation of the correspondence of the results to the order of approximation is made. A method for numerical simulation of viscous compressible gas flow through the cascade of oscillating blades is presented. The method is designed to solve the unsteady two-dimensional Reynolds averaged Navier-Stokes equations, which are closed by turbulence modeling equation. For the approximation of the initial equations four different numerical schemes are used: the original Godunov scheme of a first order approximation, the Godunov-Kolgan scheme having a locally second-order approximation, the ENO decomposition of a second order of approximation and the ENO decomposition, which has a locally third order approximation. A cascade of turbine profiles was chosen as a study object, which was examined at the École Polytechnique Fédérale de Lausanne. A detailed analysis of the obtained calculation results was performed. The results were compared with the results of numerical simulation of the second and first order approximation, as well as with experimental data. It is shown that the numerical simulation of complex transonic flows requires the application of methods with increased accuracy. An insufficient order of approximation can sometimes lead to a significant distortion of the results, right up to the sign change in the work of the aerodynamic forces. Along with the application of higher order schemes, it is necessary to use adaptive computational grids, which take into account the flow features and do not introduce additional errors to the region of large gradients of values.*

**Keywords:** computational fluid dynamics, aeroelasticity in turbomachines, unsteady flow, unsteady loads.

*Точность определения условий возможного возникновения неконтролируемых колебаний лопаток турбины зависит от точности и детализации решения аэродинамической задачи. Повышенная точность моделирования необходима для сложных потоков, в которых присутствуют ударные волны, т.е. в транс- и сверхзвуковых потоках. Основная цель настоящей работы – оценить влияние порядка аппроксимации численной схемы на нестационарные характеристики решетки лопаток в потоке трансзвукового газа. В работе представлены результаты моделирования трансзвукового течения в каскаде вибрирующих профилей турбины с использованием методов различной точности и проведена количественная оценка соответствия результатов порядку аппроксимации. Представлен метод численного моделирования течения вязкого сжимаемого газа через решетку колеблющихся лопастей. Этот метод предназначен для решения нестационарных двухмерных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу и замкнутых уравнением моделирования турбулентности. Для аппроксимации исходных уравнений используются четыре различные числовые схемы: оригинальная схема Годунова первого порядка аппроксимации, схема Годунова-Колгана, имеющая аппроксимацию локально второго порядка, схема ENO второго порядка и схема ENO, которая имеет локально третий порядок. В качестве объекта исследования выбрана решетка турбинных профилей, которая была исследована в Лозаннском политехническом институте. Проведен подробный анализ полученных результатов расчета. Осуществлено сравнение с результатами численного моделирования приближения второго и первого порядка, а также с экспериментальными данными. Показано, что численное моделирование сложных трансзвуковых потоков требует применения методов с повышенной точностью. Недостаточный порядок аппроксимации может иногда приводить к значительным искажениям результатов, вплоть до изменения знака работы аэродинамических сил. Наряду с применением схем более высокого порядка необходимо использовать адаптивные вычислительные решетки, которые учитывают особенности потока и не вносят дополнительной ошибки в областях с большими градиентами значений.*

**Ключевые слова:** вычислительная аэродинамика, аэроупругость в турбомашинах, нестационарный поток, нестационарные нагрузки.

#### References

1. Brouwer, K., Crowell, A. R., McNamara, J. J. (2015). Rapid Prediction of Unsteady Aeroelastic Loads in Shock-Dominated Flows. Proc. of 56th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conf. pp. 1–20.
2. Padmanabhan, M. A., Pasilio, C. L., Dowell, E. H. (2014) Simulation of Aeroelastic Limit-Cycle Oscillations of Aircraft Wings with Stores. AIAA J., Vol. 52, No 10, pp. 2291–2299.

3. Chen, T., Xu, M., Xie, L. (2014). Aeroelastic Modeling Using Geometrically Nonlinear Solid-Shell Elements. AIAA J., Vol. 52, No 9, pp. 1980–1993.
4. Kersken, H., Frey, C., Voigt, C., Ashcroft, G. (2012). Time-Linearized and Time-Accurate 3D RANS Methods for Aeroelastic Analysis in Turbomachinery. ASME. J. Turbomach., Vol. 134(5), pp. 051024-051024-8.
5. Gupta, K. K., Voelker, L. S. (2012). Aeroelastic Simulation of Hypersonic Flight Vehicles. AIAA J., Vol. 50, No 3, pp. 717–723.
6. Gnesin, V. I., Bykov, Yu. A. (2004). Numerical investigation of aeroelastic characteristics of turbine rotor in off-design mode. J. of Mech. Eng., Vol. 1, No 7, pp. 31–40 (in Russian).
7. Gendel, S., Gottlieb, O., Degani, D. (2015). Fluid–Structure Interaction of an Elastically Mounted Slender Body at High Incidence. AIAA J., Vol. 53, No 5, pp. 1309–1318.
8. Wilcox, D. C. (1988). Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models. AIAA J., Vol. 26, No 11, pp. 1299–1310.
9. Yershov, S. V., Bykov, Yu. A., Smulsky, Ya. I., Sharov, K. A., Terekhov, V. I. (2013). Numerical and experimental investigation of backward-facing step flow with passive flow control. Visnyk NTU 'KhPI', No 56, pp. 199–203 (in Russian).
10. Rusanov, A. V., Yershov, S. V. (2008). Mathematical modeling of unsteady gas-dynamic processes in the flowing parts of turbomachines: monograph. Kharkov: IPMash NASU (in Russian).
11. Bolcs, A., Fransson, T. H. (1986). Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results. Communication du Laboratoire de Thermique Appliquée et de Turbomachines, Lausanne, EPFL. No 13.

**Gnesin V. I., Kolodiazhnaya L. V., Rzadkowski R.** Aeroelastic behaviour of the turbine blade row in 3D viscous flow..... 19–30

*This paper presents the results of a numerical analysis of the aeroelastic behaviour of the oscillating blade row of a turbine stage in the 3D flow of viscous gas, taking into account the non-uniform pressure distribution in the circumferential direction behind the blade rotor. The numerical method is based upon the solution of the coupled problem of the unsteady aerodynamics and blade elastic oscillations in the unsteady spatial gas flow through the blade row of the axial turbine last stage. 3D viscous gas flow through the turbine stage with periodicity on the whole annulus is described by the unsteady Navier-Stokes equations in the form of conservation laws, which are integrated using the explicit monotonic finite-volume Godunov-Kolgan difference scheme and a moving hybrid H-O grid. The dynamic analysis uses a modal approach and 3D finite element model of a blade. The investigations showed that the unsteady pressure distribution in the circumferential direction affects the unsteady loads and modes of blade oscillations. The presented method for solving the coupled aero-elastic problem makes it possible to predict the amplitude-frequency spectrum of blade oscillations in gas flow including the forced oscillations and self-excited oscillations (flutter or auto-oscillations).*

**Keywords:** *aeroelastic behaviour, viscous flow, blade row, auto-oscillations, coupled problem, unsteady load.*

*В данной статье представлены результаты численного анализа аэроупругого поведения колеблющегося лопаточного венца турбинной ступени в трехмерном потоке вязкого газа с учетом неравномерного распределения давления в окружном направлении за лопаточным венцом. Численный метод основан на решении связанной задачи нестационарной аэродинамики и упругих колебаний лопаток в нестационарном пространственном потоке газа через лопаточный венец последней ступени осевой турбины. Трехмерный поток вязкого газа через турбинную ступень с периодичностью на полной окружности описывается нестационарными уравнениями Навье-Стокса в форме законов сохранения, которые интегрируются с использованием явной монотонной конечно-объемной разностной схемы Годунова-Колгана и деформируемой гибридной H-O сетки. Динамический анализ использует модальный подход и трехмерный метод конечных элементов. В результате исследования показано, что неравномерное распределение давления в окружном направлении влияет на нестационарные нагрузки и режимы колебаний лопаток. Представленный метод решения связанной аэроупругой задачи позволяет прогнозировать амплитудно-частотный спектр колебаний лопаток в потоке газа, включая вынужденные колебания и самовозбуждающиеся (флаттер или автоколебания).*

**Ключевые слова:** *аэроупругое поведение, вязкий поток, лопаточный венец, автоколебания, связанная задача, нестационарное нагружение.*

**References**

1. Gnesin, V., Rzakowski, R., Kolodyazhnaya, L. (2001, September). Coupled Fluid-Structure Problem for 3D Transonic Flow Through a Turbine Stage with Oscillating Blades. Roc. Of 5<sup>th</sup> Intern. Symp. On Exper. and Comput. Aerothermodynamic of Internal Flows, (pp. 275–284), Gdansk, Poland.
2. Baldwin, B., Lomax, H. (1978). Thin layer approximation and algebraic model for separated turbulent flow. AIAA Paper 78–0257, pp. 1–45.
3. Gnesin, V., Rzakowski, R., Kolodyazhnaya, L. (2010). Numerical Modelling of fluid–structure interaction in a turbine stage for 3D viscous flow in nominal and off–design regimes. Proc. of ASME, TURBO-EXPO 2010, GT2010–23779, Glasgow, UK, pp. 1–9.
4. Gnesin, V. I., Kolodyazhnaya, L. V. (1999). Numerical Modelling of Aeroelastic Behaviour for Oscillating Turbine Blade Row in 3D Transonic Ideal Flow. J. Problems in Mash. Eng., Vol. 1, No. 2, pp. 65–76.
5. Gnesin, V. I., Kolodyazhnaya, L. V. Rzakowski, R. (2004). A numerical modeling of stator-rotor interaction in a turbine stage with oscillating blades. J. of Fluid and Structure, No. 19, pp. 1141–1153.
6. Rzakowski, R., Gnesin, V. I., Kolodyazhnaya, L. V. (2015, September). Rotor Blade Flutter in Last Stage of LP Steam Turbine. Proc. of the 14th Intern. Symposium on Unsteady Aerodynamics, Aeroacoustics & Aeroelasticity of Turbomachines ISUAAAT14 I14-S1-4, (pp. 1–6), Stockholm, Sweden.
7. Gnesin, V. I., Kolodyazhnaya, L. V. Aeroelastic Phenomena in Turbomachines. Aerodynamics and Aeroacoustics: Problems and Perspectives, 2009, No. 3, pp. 53–62 (in Russian).

*Dynamics and Strength of Machines*

**Buganova S.N., Avramov K.V.** Numerical analysis of stress-strain state of vertical cylindrical oil tanks with dents .....31–34

*The destruction of vertical cylindrical tanks results in both human and economic losses. Despite constant improvement of the manufacturing technology of cylindrical tanks, a complete analysis of the influence of various dents on stress-strain states was not performed. Dents are the most dangerous, unpredictable zones that are studied a little. It should be specially emphasized that there is no system to assess the stress concentrations in the dent zone, and the regulatory documents for the construction and operation of oil tanks do not take into account the stress-strain state in the dent. The paper presents the results of a finite element analysis of the stress-strain states of the cylindrical tanks with spherical dents. On the basis of the finite element analysis, approximate relationships are derived for stress concentration coefficients that can be used to calculate various sized cylindrical tanks with different dents. A cylindrical tank with a spherical dent is investigated. The reasons for dent formation are not considered. It is assumed that there are no residual stresses in the dent area. Simulating the stress-strain state of the tank, the conclusion is made that the greatest stresses are observed in the lower part of the dent. As in the lower part of the dent, the internal pressure of fuel oil is greater. At high values of the relative depth of the dent the maximum stresses are observed only at the lower boundary of the dent. An approximation technique for calculating the stress concentration factor in the dent is proposed. An approximate model of the stress concentration factor due to the dent size parameters is built for an example tank.*

**Keywords:** stress-strain, spherical dents, dimensionless parameters, equivalent stresses.

*Разрушение вертикальных цилиндрических резервуаров приводит к человеческим и экономическим потерям. Несмотря на постоянное усовершенствование технологии производства резервуаров подробного анализа влияния различных вмятин на их напряженно-деформируемое состояние не было сделано. Вмятины – наиболее опасные области конструкции, которые мало исследованы. Особо следует подчеркнуть, что нет общих подходов для оценки концентрации напряжений в зоне вмятины и не разработаны регулирующие документы для конструирования емкостей, учитывающие напряженно-деформируемое состояние в области вмятины. В статье представлены результаты конечноэлементного анализа напряженно-деформируемого состояния цилиндрических баков со сферическими вмятинами. С помощью конечноэлементного анализа получены приближенные формулы для оценки коэффициентов концентрации напряжений, которые могут использоваться для расчета различных емкостей с различными вмятинами. Предполагается, что в области вмятины нет остаточных напряжений. Из расчета напряженно-деформируемого состояния сделан вывод, что наибольшие напряжения наблюдаются, если вмятина располагается в нижней части емкости. Это обусловлено тем, что в нижней части емкости больше величина внутреннего статического давления. Предложен приближенный подход для расчета коэффициентов концентрации напряжений. Получены приближенные формулы для оценки коэффициента концентрации напряжений.*

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, сферические вмятины, безразмерные параметры, эквивалентные напряжения.

### References

1. Likhman, V. V., Kopytskaya, L. N., Muratov, V. M. (1992). The Concentration of Stresses in Reservoirs with Local Imperfections of Form. *Chemical and Petroleum Eng.*, Vol. 6. pp. 22–24.
2. Kuznetsov, V. V., Kandakov, G. P. (2005). Problems of Domestic Reservoir Construction. *Industrial and Civil Construction*, Vol. 5. pp. 17–19 (in Russian).
3. Prokhorov, V. A. (1999). Assessment of Risk Parameters for the Operation of Reservoirs for Storage of Petroleum Products in Conditions of the North. Moscow: Nedra, 1999. 144 p. (in Russian).
4. SN RK 3.05-24-2004, (2004). The Instruction on Designing, Manufacturing and Installation of Vertical Cylindrical Steel Tanks for Oil and Oil products. Enter. 2005-01-01. Astana.
5. VBN B.2.2-58.2-94, (1994). Vertical Steel Tanks for Storage of Oil and Oil Products with Saturated Vapor Pressure not Higher than 93.3 kPa. Kiev: Goskomneftegaz.
6. PB 03-605-03, (2002). Rules for the Construction of Vertical Cylindrical Steel Tanks for Oil and Oil products. Enter. 2003.06.19. Moscow: Gosgortekhnadzor of Russia (in Russian).
7. Timoshenko, S. P., Voinovsky-Krieger, S. (1963). Plates and Shells. Trans. With the English. Ed. G.S. Shapiro. Moscow: Fizmatgiz (in Russian).

**Strelnikova E. A., Medvedovskaya T. F., Medvedeva E. L., Linnik A. V., Zelenska O. N.** Use of computer technology in modernization of head covers for hydraulic turbines of ПЛ 20-B-500 type .....35–44

*One of the problems faced by a designer in the modernization of operating generating units is the analysis of the feasibility of ensuring the strength and reliability of turbine parts and components in their further continuous operation under dynamic load or replacement of the turbine parts and components which would be optimal in terms of weight and dynamic behavior. It is possible to solve the above problem using computer technologies for dynamic study of load bearing structures of hydraulic turbines in various operating modes. This paper describes techniques developed to study the dynamic mode of deformation of hydraulic turbine head cover taking up the hydrodynamic pressure acting on its surface in contact with water and the weights of parts and components located on its surface. For the first time, the influence of added water masses of the structure is three-dimensionally considered using mathematical models based on hypersingular equations and combination of the finite element method and boundary element method. Application program packages are developed which are a powerful tool of automation in the determination of dynamic mode of deformation of the hydraulic turbine head cover. Numerical results are obtained allowing the evaluation of the dynamic mode of deformation taking into consideration the effect of water on the cast iron head cover of hydraulic turbine ПЛ 20-B-500 in operation and subject to replacement as well as that on the welded steel head cover developed to replace the cast iron one. The numerical study is analyzed and recommendations are given for designing of the welded head cover which dynamical behavior allows preventing resonance phenomena and ensuring the operating reliability. The techniques used are validated by the regulatory document «Residual life prediction for water passage components of hydraulic turbines of HPPs and PSPs – Methodical Guidelines» SOU-N MEV 40.1–21677681–51: 2011.*

**Keywords:** cover, hydraulic turbine, modernization, finite element method, boundary element method, dynamic mode of deformation.

*Одной из проблем, возникающих перед конструктором при модернизации действующих гидроагрегатов, является анализ возможности обеспечения прочности и надежности узлов и деталей турбины в условиях дальнейшей продолжительной работы под действием динамической нагрузки или их замена, оптимальная как по массе, так и по динамическим характеристикам. Решение этой проблемы возможно с использованием компьютерных технологий для исследования динамики несущих конструкций гидротурбин при разных режимах эксплуатации. В работе описаны методики, разработанные для исследования динамического напряженно-деформированного состояния крышки гидротурбины, которая воспринимает гидродинамическое давление, действующее на ее контактирующую с водой поверхность, а также веса размещенных на ее поверхности узлов и деталей. Впервые в трехмерной постановке учтено влияние присоединенных масс воды конструкции с применением математических моделей, основанных на гиперсингулярных уравнениях и сочетании методов конечных и граничных элементов. Разработаны пакеты прикладных программ, являющиеся мощным инструментом автоматизации при определении динамического напряженно-деформированного состояния крышки гидротурбины. Получены численные результаты, позволяющие оценить динамическое напряженно-деформированное состояние с учетом*

влияния воды находящейся в эксплуатации и подлежащей замене литой чугунной крышки гидротурбины ПЛ 20-B-500, а также разработанной для ее замены стальной сварной крышки. Выполнен анализ численного исследования и даны рекомендации для проектирования сварной крышки, динамические характеристики которой позволяют исключить резонансные явления и обеспечить эксплуатационную надежность. Примененные методики обоснованы нормативным документом «Розрахунок залишкового ресурсу елементів проточної частини гідротурбін ГЕС та ГАЕС. Методичні вказівки» СОУ-Н МЕВ 40.1 – 21677681–51: 2011.

**Ключевые слова:** крышка, гидротурбина, модернизация, метод конечных элементов, метод граничных элементов, динамическое напряженно-деформированное состояние.

#### References

1. Kantor B., Strelnikova O., Medvedovska T., Rzhavska I., Yeseleva O., Lynnyk O., Zelenska O. (2011). Calculation of the Residual Resource of the Elements of the Flowing Section of HPS and HPSPP Hydro-Turbines. Methodological guidelines: normative document. SOU-N MEV 40.1 -21677681-51: approved by the Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine: effective as of 07.07.11. Kyiv: Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine (in Ukrainian).
2. Eigenson, S. N., Titov, V. B. (1978). Experimental Study of the Stressed State of Ribs of Hydro-turbine Head Covers by the Polarization-Optical Method. Power-plant Eng., No 11, pp. 11–14 (in Russian).
3. Veremeienko, I., Zelenska, O. (1999). Estimation of the Residual Resource of the Head Covers of Hydro-Turbines. Eng. Sci., No 12, pp. 3–8 (in Ukrainian).
4. Veremeenko, I., Zelenskaya, O., Linnik, A. (2000, September). Finite-element Analysis of Strength and Dynamic Characteristics of Large-Sized Supporting Structures of Hydraulic Turbines. Perfection of Turbo-Units by Methods of Mathematical and Physical Modeling: Tr. Intern. Scientific-Techn. Conf. (pp. 502–508), Kharkov (in Russian).
5. Medvedovskaya, T., Strelnikova, E., Medvedyeva, K. (2015). Free Hydroelastic Vibrations of Hydro-turbine Head Covers. Intern. J. Eng. and Advanced Research Technology (IJEART), Vol. 1, No 1, pp. 45–50 (in Russian). DOI 10.13140/RG.2.1.3527.4961
6. Degtyarev, K., Glushich, P., Gnitko, V., Strelnikova, E. (2015). Numerical Simulation of Free Liquid-Induced Vibrations in Elastic Shells. Intern. J. Modern Physics and Appl., Vol. 1, No 4, pp. 159–168. DOI 10.13140/RG.2.1.1857.5209
7. Gnitko, V., Naumenko, V., Rozova, L., Strelnikova, E. (2016). Multi-domain Boundary Element Method for Liquid Sloshing Analysis of Tanks with Baffles. J. Basic and Appl. Research Intern. – Vol. 17, No 1, pp. 75–87.
8. Avramov, K. V., Strelnikova, E. A. (2014). Chaotic Oscillations of Plates During Their Two-Way Interaction with the Flow of a Moving Fluid. Appl. Mech., Vol. 50. No 3, pp. 86–93. DOI: 10.1007 / s10778-014-0633
9. Naumenko, V. V., Strelnikova, H. A. (2002). Singular Integral Accuracy of Calculations in Two-Dimensional problems. Eng. analysis with boundary elements, No 26, pp. 95–98 (in Russian). DOI: 10.1016 / S0955-7997 (01) 00041-8
10. Veremeyenko, I. S., Kantor, B. Ya., Medvedovskaya, T. F., Rzhavskaya, I. E., Andryushchenko, S. A. (2005). Strength, Dynamics of the Bearing Structures and Impellers of Radial-Axial Hydro-Turbines. Aerospace Eng. and Techn., No 9/25, pp. 97–101 (in Russian).
11. Troshchenko, V. T., Lebedev, A. A., Strizhalo, V. A., Stepanov, G. V., Krivenyuk, V. V. (2000). Mechanical Behavior of Materials Under Various Types of Loading. Kiev: Logos (in Russian).
12. Birger, I. A., Shorr, V. F., Iosilevich, G. B. (1979). Strength Design of Machine Components. Reference book. Moscow: Mech. Eng. (in Russian).
13. Troshchenko, V. T., Sosnovsky, L. A. (1987.). Fatigue Resistance in Metals and Alloys. Reference book: in 2 parts. Kyiv: Nauk. Dumka (in Russian).
14. Medvedovskaya, T. F., Medvedeva, E. L., Linnik A. V., Zelenskaya, O. N. (2017). Analysis of the Static and Dynamic Strength of the Head Cover of a Reversible Hydraulic Machine. Electrical Energy Industry and Electrical Eng: PROMELEKTRO, No 1, pp. 22–26 (in Russian).
15. Bate, K., Wilson, E. (1982). Numerical Analysis Methods and the Finite Element Method. Moscow: Stroyizdat (in Russian).

**Tsakanyan O. S., Koshel S. V.** Influence of the Location of a Convector on the Distribution of the Room Temperature.....45–48

*This article considers the influence of various options of placing heaters in a room on energy efficiency, and creating a comfortable temperature field for people to stay in. For the research, a square room with an inclined roof was chosen, having light apertures of various sizes on three sides. To compare the results of modeling the thermal state of premises, two types of heaters of the same power are considered: a convector and a warm floor. Five options of using space heating devices were analyzed, of which the first three meant placing the convector against different walls, the fourth one meant placing the convector in the center on the floor, and the fifth option was the model of warm floor with a uniform heat flow density over the floor surface. Two criteria were chosen for assessing the variants of the results of modeling thermal states: the criterion of energy efficiency, characterized by the average room air temperature, and the criterion of non-uniform distribution of air temperature at a height of 1.3 m above the floor level. As a result of the research, it was found out that in a room with a convector placed on the floor in the middle of the room, the maximum average air temperature is observed. This indicates about a convector being the most energy effective option of heating a room. This option is also characterized by a good uniformity of the temperature field at a height of 1.3 m above the floor. However, the expediency of placing the convector in this way is doubtful, since it will occupy a useful place in the room. Therefore, a convector placed against a window was chosen as an optimal option. As far as energy efficiency is concerned, for this option it just 0.4 percent poorer than for the option with the convector placed on the floor in the middle of the room, while the temperature distribution at a height of 1.3 m is almost uniform due to good air mixing. Installing screens behind a heater will enable one to increase the room temperature and reduce heat losses.*

**Keywords:** convector, room, energy efficiency, comfort.

*В статье рассмотрено влияние различных вариантов расположения отопительных приборов в помещении на энергоэффективность и создание комфортного температурного поля для пребывания людей. Для исследования было выбрано квадратное помещение с наклонной крышей, имеющее световые проемы различного размера с трех сторон. Для сравнения результатов моделирования теплового состояния помещений рассмотрено два вида отопительных приборов одинаковой мощности: конвектор и теплый пол. Проанализировано пять вариантов использования приборов для отопления помещений, из которых первых три – размещение конвектора под разными стенами, четвертый – размещение конвектора в центре на полу, а пятый вариант представлял собой модель теплого пола с равномерной плотностью теплового потока по поверхности пола. В качестве критериев оценки вариантов результатов моделирования тепловых состояний выбрано два: критерий энергоэффективности, характеризующийся среднеобъемной температурой воздуха помещения, и критерий неравномерности распределения температуры воздуха на высоте 1,3 м от пола. Результаты исследований показали, что в помещении с установленным посередине пола конвектором наблюдается максимальная среднеобъемная температура воздуха. Это говорит о наибольшей энергоэффективности использования конвектора для обогрева помещения. Для данного варианта свойственна также хорошая равномерность температурного поля на высоте 1,3 м от пола. Однако целесообразность размещения конвектора таким способом сомнительна, поскольку он будет занимать полезное место в помещении. Поэтому в качестве оптимальной была выбрана конструкция с конвектором, размещенным под окном. По энергоэффективности такой вариант проигрывает всего лишь 0,4 % варианту с расположенным посередине конвектором, а распределение температуры на высоте 1,3 м практически равномерно за счет хорошего перемешивания воздуха. Установка экранов за отопительным прибором позволит повысить температуру в помещении и уменьшить тепловые потери.*

**Ключевые слова:** конвектор, помещение, энергоэффективность, комфорт.

#### References

1. Tabunshchikov, Yu. A., Brodach, M. M. (2006). Experimental studies of optimal control of energy consumption. Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics, No.1, pp. 32–39 (in Russian).
2. Tsakanyan, O. S., Koshel, S. V., Tsakanyan, S. O. (2009). Management of heat energy consumption during room heating. Plumbing. Heating. Conditioning, No. 6, pp. 38–45(in Russian).

**Solovei V. V., Avramenko A. N., Lievtierov A. M., Umerenkova K. R.** Metal Hydride Technology of Hydrogen Activation .....49–54

*The effect of hydrogen activation by metal hydrides is considered. It is established that activated hydrogen exists in different forms: in the form of excited H<sub>2</sub> molecules, excited hydrogen atoms and positive ions. To study the activation of hydrogen, various methods of mass spectrometry were used. The reasons for the formation of activated hydrogen in interaction with hydride-forming materials are discussed. For hydride-forming materials, one of the possible factors leading to the activation of hydrogen followed by desorption into the gas phase is isobaric hysteresis. Hysteresis in metal-hydrogen systems occurs when the pressure of hydride formation is higher than the pressure of its decomposition. The use of the phenomenon of metal hydride activation can improve the energy characteristics of virtually all types of energy-converting devices using hydrogen as a working fluid. This effect can be used in reactions of heterogeneous catalysis, in particular, in the ignition of hydrogen-oxygen mixtures, in devices using hydrogen as a working medium, as an environmentally friendly energy carrier in engines or in power and electro-physical facilities. It is shown both experimentally and theoretically that the use of atoms and excited hydrogen molecules as an activation ionic additive to traditional fuels leads not only to saving the latter but also to reducing the content of toxic products in the exhaust gases. A small (0.5 %) admixture of atomic hydrogen in the combustion zone is just as effective as the addition of 10 – 12 % of ordinary molecular hydrogen. The use of excitation energy for nonequilibrium states of hydrogen appears to be one of the most promising ways to solve the problem of increasing the efficiency of energy equipment and improving its environmental characteristics.*

**Keywords:** hydrogen, metal hydride, atomic hydrogen emission, activation, mass spectrometry, gas discharge.

*Рассмотрен эффект активации водорода металлогидридами. Установлено, что активированный водород существует в различных формах: в виде возбужденных молекул, возбужденных атомов и положительных ионов. Для изучения активации водорода использованы различные методы - масс-спектрометрии. Обсуждаются причины формирования активированного водорода при взаимодействии с гидридообразующими материалами. Для гидридообразующих материалов один из возможных факторов, приводящих к активации водорода с последующей десорбцией в газовую фазу, является изобарный гистерезис. Гистерезис в системах металл-водород имеет место, когда давление образования гидрида выше, чем давление его разложения. Использование явления металлогидридной активации может улучшить энергетические характеристики практически всех типов энергопреобразующих устройств, использующих водород в качестве рабочего тела. Этот эффект может быть использован в реакциях гетерогенного катализа, в частности, при воспламенении водород-кислородных смесей, в устройствах, использующих водород в качестве рабочего тела, как экологически чистый энергоноситель в двигателях или в энергетических и электрофизических установках. Показано экспериментально и теоретически, что использование атомов и возбужденных молекул водорода в качестве активационной добавки к традиционным топливам приводит не только к экономии последнего, но и к уменьшению содержания токсичных продуктов в отработанных газах. Небольшая – 0,5 %-я примесь атомарного водорода в зону горения является столь же эффективной, как и добавка 10 – 12 % обычного молекулярного водорода. Использование энергии возбуждения неравновесных состояний водорода представляется одним из весьма перспективных путей решения проблемы повышения эффективности энергетического оборудования и совершенствования его экологических характеристик.*

**Ключевые слова:** водород, металлогидрид, активация, масс-спектрометрия, газовый разряд.

### References

1. Shmal'ko, Yu.F. , Lototsky, M. V., Klochko, Ye. V. (1995). The formation of excited H species using metal hydrides. *J. Alloys and Compounds*, Vol. 231, pp. 856–859.
2. Lobashina, N.E., Savvin, N. N., Myasnikov, I. A. (1984). Issledovanie mehanizma spillovera H<sub>2</sub> na nanesennyh metallicheskih katalizatorah [Investigation of the mechanism of H<sub>2</sub> spillover on sprayed metallic catalysts]. *Kinetika i kataliz [ Kinetics and Catalysis]*, Vol. 25, No 2, pp. 502–504 (in Russian).
3. Leonova, G. I. Kataliticheskoe vosstanovlenie aromaticheskikh nitrosoedinenij na gidridah intermetallidov na osnove LaNi<sub>5</sub>, modificirovannyh ceriem i med'ju (1989): Avtoref. dis. ... kand. him. nauk. [The catalytic reduction of aromatic nitro compounds by intermetallic hydrides based LaNi<sub>5</sub>, modified cerium and copper: Avtoref. Ph.D. Diss.]. MGU Publ., Moscow (in Russian).



4. Basteev, A., Popov, V., Prognimak, A. (1993). The Effect of Hydrogen (Deuterium) Activation During the Interaction with Some Transition Metal Surfaces. *Zeitschrift fur Physikalische Chemie. Munchen*, Bd 181, pp. 313–319.
5. Allan, M., Wong, S. F. (1978). Effect of Vibrational Excitation on Dissociative Attachment in Hydrogen. *Phys. Rev. Letters*, Vol. 41, No 26, pp. 1791–1794.
6. Borisko, V. N., Klochko, Ye. V., Lotolsky, M. V. (1998). Tehnologicheskij plazmennij istochnik otricatel'nyh ionov [Technological plasma source of negative ions] *Vopr. atomn. nauki i tehniki. Ser. Fizika radiacionnyh povrezhdenij i radiacionnoe materialovedenie [VANT Ser. The physics of radiation damages and radiation materials science]*, Vol. 3(69), Vol. 4(70), pp. 179–182 (in Russian).
7. Shmal'ko, Yu. F., Solovey, V. V., Lotolsky, M. V., Klochko, Ye. V. (1995). Mass-spectrometry determination of vibrationally excited states of molecules hydrogen desorbed from the surface of metal hydrides. *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 20, No 5, pp. 357–360.
8. Gaydon, A. Jenerгии dissociacii i spektry dvuhatomnyh molekul [Dissociation energy and spectra of diatomic molecules]. (1949). Moscow: Inostr. lit. Publ. (in Russian).
9. Huber, K. P., Herzberg, G. (1979). *Molecular Spectra And Molecular Structure*, vol. IV. Constants Of Diatomic Molecules. New York (Russ. ed.: Huber K. P. and Herzberg G. Konstanty dvuhatomnyh molekul. (1984) Moscow: Mir Publ., Vol. 1.
10. Popov, V. V., Basteev, A. V., Solovey, V. V. (1996). The effect of metal-hydride activation of hydrogen and investigation of its influence on the characteristics of gas- discharge hydrogen-using energy conversion devices. *Int. J. of Hydrogen Energy*, Vol. 21, No 4, pp. 259–265.
11. Alefeld, G., Felkl, I. (1981). *Vodorod v metallah. [Hydrogen in Metals]*, Moscow: Mir Publ., Vol. 2 (in Russian).
12. Deryagin, B.V., Kluycv, V. A., Upson, A. G. (1986). O vozmozhnosti jadernyh reakcij pri razrushenii tverdyh tel [On possible nuclear reactions at failure of solids], *Kolloidnyj zhurnal [Colloid Journal]*, Vol. 48, pp. 12–14 (in Russian).
13. Podgorny, A. N. Solovey, V. V., Lotolsky, M. V. (1987). Aktivirovanie vodoroda v sistemah vodorod – gidrid intermetallida [Hydrogen activation in hydrogen – intermetallic hydride systems], *Vopr. atom. nauki i tehniki. Ser. Atom.-vodorod. jenergetika i tehnologija [VANT Ser. Atomic hydrogen power and engineering]*, No. 1, pp. 68–72 (in Russian).

### *Ecological Aspects of Operation of Power Equipment*

**Tarelin A. A., Mykhailenko V. H., Antonov O. V., Tarelin A. A.** Resource-Saving Complex For Mine Water Demineralization .....55–58

*The problem of the formation of a large number of highly mineralized mine waters, formed as a result of further exploitation of mines, and the tendency to increase the mineralization are shown. The existing technologies for cleaning mine water are analyzed. It is shown that in most cases they are exposed only to clarification and mechanical cleaning. Purified in this way, mine waters have increased mineralization and when discharged into surface water bodies, they contaminate them. Existing methods of deep processing of mineralized water including reverse osmosis desalination, further evaporation of the concentrate and crystallization of dry salts have not been used anywhere, because of the complexity of further processing of reverse osmosis concentrate. A complex drainless technology for deep treatment of mine waters of sulphate-chloride composition is proposed. The technology consists of sequential coagulation, and soda-lime softening. The resulting deposits after compaction and filtration on the filter press represent calcium-magnesium raw materials, which can be sold as commercial products for use in the construction industry, glass production, communal services, etc. In the future, after acid treatment, decarbonisation, and neutralization with a caustic soda water hardness is reduced to 0.5 mg-eq / dm<sup>3</sup>, which allows reverse osmosis filtration without inhibitors of sedimentation, this allows to obtain a phosphate-free end ntrate with a total salt content of approximately 80000 mg / dm<sup>3</sup>. After the addition of a small amount of caustic soda, the concentrate is evaporated and sodium sulfate is crystallized in the form of a ten-fold mirabilite, which after washing can be realized, the sodium chloride remaining in the mother liquor is isolated, followed by the realization. Based on the results of the development, the project (stage II) of the complex for the in-depth water treatment for the Lubelskaya mine has been completed, and preparations for the production of working documentation are in progress.*

**Keywords:** mine waters, softening, electro-membrane processing, demineralization, reverse osmosis, evaporation with crystallization.

*Показана проблема образования большого количества высокоминерализованных шахтных вод, образовавшихся в результате дальнейшей эксплуатации шахт, и тенденции к увеличению минерализации.*

Проанализированы существующие технологии очистки шахтных вод. Показано, что в большинстве случаев они подвергаются только осветлению и механической очистке. Очищенные таким образом шахтные воды имеют увеличенную минерализацию и при сбросе в поверхностные водоёмы загрязняют их. Существующие на сегодня методы глубокой переработки минерализованных вод, включающих обратноосмотическое обессоливание, дальнейшее выпаривание концентрата и кристаллизацию сухих солей, не были нигде использованы из-за сложности дальнейшей переработки концентрата обратного осмоса. Предложена комплексная бессточная технология глубокой обработки шахтных вод сульфатно-хлоридного состава. Технология заключается в последовательной коагуляции и содово-известковом умягчении. Полученные осадки после уплотнения и фильтрации на фильтр-прессе представляют кальциево-магниевое сырьё, которое возможно реализовать в качестве товарных продуктов, для использования в строительной промышленности, производстве стекла, коммунальном хозяйстве и др. В дальнейшем после обработки кислотой, декарбонизации, и нейтрализации едким натром жесткость воды снижается до 0,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, что позволяет применить обратноосмотическое фильтрование без ингибиторов осадкообразования. Это дает возможность получить не загрязненный фосфатами концентрат с общим солесодержанием примерно 80000 мг/дм<sup>3</sup>. После добавления небольшого количества едкого натра концентрат выпаривают и выкристаллизовывают сульфат натрия в виде десятиводного мирабилита, который после промывки возможно реализовать, хлорид натрия, оставшийся в маточном растворе, выделяют с последующей реализацией. По результатам разработки выполнен проект (стадия П) комплекса бессточной переработки воды для шахты «Любелская», ведется подготовка к выпуску рабочей документации.

**Ключевые слова:** шахтные воды, умягчение, электромембранная обработка, деминерализация, обратный осмос, выпаривание с кристаллизацией.

#### References

1. Galetsky, L. S., Slyadnev, E. A., Yakovlev, V. A. (2006, September). Ecological and geological aspects of the formation of the quality of groundwater in the mining and industrial areas of Central Donbass. Aqua-Ukraine 2006. Issues of IV Intern. Water Forum, (pp. 96–100), Kiev (in Russian).
2. Frog, B. N., Levchenko, A. P. (1996). Water Treatment: Manual for Universities. Moscow: Moscow State University Publishing House (in Russian).
3. Starikov, E. N. (2007, May). Membrane technologies for wastewater treatment Water 2007. Issues of II Intern. Conf., (pp. 98–107), Moscow (in Russian).
4. Zapolskyi, A. K., Mishkova-Klimenko, N. A., Astrelin, I. M., Brick, M. T., Hvozdyk, P. I., Kniazkova, T. V. (2000) Basics of physical/chemical technologies of waste water treatment: Manual. Kyiv: Libra (in Russian).

Оригінал-макет підготовлено в редакції журналу «Проблеми машинобудування»  
Комп'ютерна верстка Т. В. Протасова  
Редактор Н. В. Сівцова

Підп. до друку 15.03.18. Формат 60×84 1/8. Гарнітура «Таймс».  
Бум. офс. Усл. п. л. 10. Тираж 150 прим.  
Ціна договірна. Заказ №

Видання підготовлено до друку й надруковано  
в типографії ОП «Технологічний Центр»  
Україна, 61045, м. Харків, вул. Шатилова Дача, 4  
Тел. (057)750-89-90  
Свідоцтво: ДК № 4452 от 10.12.2012