

**Yershov S. V., Derevyanko A. I., Yakovlev V. A. and Gryzun M. N.** The numerical simulation of a 3D flow in the VKI-GENOA turbine cascade taking into account the laminar-turbulent transition.....3

*This study presents a numerical simulation of a 3D viscous flow in the VKI-Genoa cascade that takes into account the laminar-turbulent transition. The numerical simulation is performed using the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations and the two-equation  $k-\omega$  SST turbulence model. The algebraic Production Term Modification model is used for modeling the laminar-turbulent transition. Computations of both fully turbulent and transitional flows are carried out. The contours of the Mach number, the turbulence kinetic energy, the entropy function, as well as limiting streamlines are presented. The analysis of the numerical results demonstrates the influence of the laminar-turbulent transition on the secondary flow pattern. The comparison between the present computational results and the existing experimental and numerical data shows that the proposed approach reflects sufficiently the physics of the laminar-turbulent transition in turbine cascades.*

**Keywords:** numerical simulation, 3D flow, turbine cascade, laminar-turbulent transition.

*Рассматривается трехмерное турбулентное течение вязкого сжимаемого газа в турбинной решетке с учетом ламинарно-турбулентного перехода. Математическое моделирование такого течения осуществляется на основе уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, и двух-параметрической дифференциальной модели турбулентности  $k-\omega$  SST. Моделирование перехода выполнено с помощью алгебраической модели PTM (Production Term Modification). Проведены расчеты дозвукового обтекания турбинной решетки VKI-Genoa. Сопоставление результатов расчетов для полностью турбулентного потока и переходного течения между собой и с известными экспериментальными данными показало, что рассмотренная математическая модель течения удовлетворительно описывает физические процессы, имеющие место в решетках турбин при ламинарно-турбулентном переходе.*

**Ключевые слова:** численное моделирование, трехмерное турбулентное течение, решетка турбины, ламинарно-турбулентный переход.

#### References

1. Hirsch, C. (2007). Numerical Computation of Internal and External Flows: The Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd Edition. – Elsevier, Butterworth-Heinemann. 680 p.
2. Schlichting, H. (1979). Boundary-layer theory – New York: McGraw-Hill. – 817 p.
3. Singer, B.A. (1993). Modeling the Transition Region. - NASA Contractor Report. – 88 p.
4. Di-Pasquale, D., Rona A. (2009). A selective review of CFD transition models. - 39th AIAA Fluid Dynamics Conference, 22 - 25 June 2009, San Antonio, Texas. AIAA Paper 3812: 1-10.
5. Yershov S.V., Derevyanko A.I. (2009). Comparison of different approaches for laminar-to-turbulent transition modeling. Mechanical Engineering Problems 12(4): 25–32.
6. Langtry, R. B. (2006). A correlation-based transition model using local variables for unstructured parallelized CFD codes. - Ph.D thesis, University Stuttgart. – 109 p.
7. Menter, F.R. (1994). Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA J. 32(8): 1598–1605.
8. Wilcox, D. C. (1994). Simulation of Transition with a Two-Equation Turbulence Model. AIAA J. 32(2): 247–255.
9. Yershov, S.V. (2008). Realisability Constraint for SST  $k-\omega$  Turbulence Model. Mechanical Engineering Problems 11(2): 14–23.
10. Langtry, R. B., Sjolander S. A. (2002). Prediction of transition for attached and separated shear layers in turbomachinery. AIAA Paper 3641: 1-13 p.
11. Yershov, S. V. (1994). Quasi-monotonous ENO scheme of high accuracy for Euler and Navier-Stokes equations. Mathematical Modelling 6(11): 63–75.
12. Gryzun, M. N., Yershov S.V. (2013). Numerical simulation of multi-dimensional compressible flows using Newton method. Power and Heat Engineering Processes and Equipment. Bulletin of National Technical University «KhPI» 13: 38–46.
13. Yershov, S. Free CFD code for turbomachinery [Electronic resource] / S. V. Yershov – Mode of access: <http://sergiyershov.com>. – 1.06.2015 г.
14. Yershov, S. V. (2012). Development of application package for computation of three-dimensional viscous gas flows. Aerospace technic and technology 5(92): 89–94.

15. Ubaldi, M., Zunino, P., Campora, U., Ghiglione, A. (1996). Detailed Velocity and Turbulence Measurements of the Profile Boundary Layer in a Large Scale Turbine Cascade. International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, Birmingham, UK. ASME Paper 96-GT-42: 1-14.
16. Yershov, S.V., Yakovlev, V.A. (2015). About the choice of the grid resolution at calculations three-dimensional viscous gas flow in turbomachines //Bulletin of Engine Engineering. 2: 171–177.
17. Malan, P. Suluksna, K., Juntasaro, E. (2009). Calibrating the  $\gamma$ -Re $\theta$  Transition Model for Commercial CFD. AIAA Paper 2009-1142: 1-13.
18. ParaView [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.paraview.org>. – 30.07.2015 г.

**R. Rusanov, P. Lampart, A. Rusanov and N. Paschenko** Development of flow parts of cogeneration turbines with a capacity of 2.5 and 5 MW using modern computer technology.....16

*The method for the design of axial flow turbine parts is described. The method is based on the use of methods of analytical describing of the geometry of the flow parts and gas-dynamic calculations of varying complexity. Geometry description of flow parts is performed using analytical methods profiling, initial data which is used a limited number of parameter values. To account for thermodynamic properties of the working medium an analytical interpolation method is used for approximating equations of the formulation IAPWS-95. 3D turbulent flow model is realized in the program complex IPMFlow, developed based on the earlier codes FlowER and FlowER-U. The results of computations obtained from the code IPMFlow have the necessary reliability in the qualitative structure of the flow and in the quantitative characteristics of the isolated turbine cascades and turbine as a whole. Several types of flow parts of cogeneration turbine with electric power up to 5 MWe and thermal power up to 10 MWt are presented. Designs of flow parts are intended to operate year-round - during the heating season they can be operated in the heating mode (extraction), while in the off-season in condensing mode with the maximum efficiency in the production of electricity. Gas-dynamic efficiency of the developed turbine flow parts is adequate for the power machines of this kind.*

**Key words:** cogeneration turbine, numerical method, regulating stage, partial admission, rotatable diaphragm.

*Описана методика проектирования осевых проточных частей турбин. Методика основана на использовании методов аналитического описания геометрий проточных частей и газодинамических расчетов различной сложности. Описание геометрии проточных частей выполняется с помощью методов аналитического профилирования, исходными данными для которых служит ограниченное число параметрических величин. Для учета термодинамических свойств рабочего тела используется интерполяционно-аналитический метод аппроксимации уравнений состояния воды и водяного пара формуляции IAPWS-95. Модель 3D турбулентного течения реализована в программном комплексе IPMFlow, который является развитием программ FlowER и FlowER-U. Результаты расчетов, полученные с помощью программного комплекса IPMFlow, обладают необходимой достоверностью как по качественной структуре течения, так и по количественной оценке характеристик изолированных турбинных решеток и проточных частей турбомашин в целом. Представлены несколько вариантов проточных частей теплофикационной турбин электрической мощностью до 5 МВт и тепловой мощностью до 10 МВт. Конструкция проточных частей предназначена для работы круглый год – во время отопительного сезона они могут работать в режиме обогрева (теплофикация), либо в конденсационном режиме с максимальной эффективностью генерации электроэнергии. Газодинамическая эффективность разработанных проточных частей турбин является достаточной для энергетических машин подобного рода.*

**Ключевые слова:** теплофикационная турбина, численный метод, регулирующая ступень, парциальный подвод, поворотная диафрагма.

**References**

1. Shcheglyayev, A. V. (1976). Steam turbines. Publishing «Energiya», 358 p.
2. Rusanov, A. V., Pashchenko, N. V., Kosyanova, A. I. (2009). Metod analiticheskogo profilirovaniya lopatochnih vencov protochnih chastej osevih turbin. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2/7(38), 32–37.
3. 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 p.
4. Rusanov, A. V., Yershov, S. V. (2008). Mathematical modelling of unsteady gasdynamic processes in the turbomachine settings. IPMach NAS of Ukraine, 275 p.

5. IAPWS, Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. – Available from: <http://www.iapws.org>
6. Rusanov, A. V., Lampart, P., Pashchenko, N. V. (2012). 3D modeling flow in the low-pressure cylinder of steam turbine using the system equations of thermodynamic properties of water and steam IAPWS-95. *Aerospace Engineering and Technology*, 7(94), 107–113.
7. Lampart, P., Rusanov, A., Yershov, S. (2005). Validation of 3D RANS Solver With a State Equation of Thermally Perfect and Calorically Imperfect Gas on a Multi-Stage Low-Pressure Steam Turbine Flow. *Journal of Fluids Engineering*, 127, 83–93.
8. Lampart, P., Yershov, S., Rusanov, A. (2005). Increasing flow efficiency of high-pressure and low-pressure steam turbine stages from numerical optimization of 3D blading. *Engineering Optimization*, 37, 145–166.

**Boiko A. V., Usatyj O. P. and Maksyuta D. I.** Development of the reliable engineering method of the quality estimation of the turbine axial-radial sealing.....26

*Loses associated with the leakages through the turbine radial sealing are usually considered while calculating efficiency of the whole turbine stage. Wherein, massflow coefficient of the sealing often is estimated with Stodola's equations, which includes empirical coefficients substantially depending on the particular form of the sealing. In recent times, axial-radial sealing is increasingly being used in powerful steam turbines. However, there are no reliable equations for estimating massflow coefficient of the axial-radial sealing. The purpose of the research work presented in the paper was to develop the reliable engineering method for calculating axial-radial sealing, which allows to determine massflow coefficient in the sealing considering the influence of geometrical, working parameters and offset of the sealing due to the heat expansion. Axial-radial sealing of the third high pressure turbine stage was decided to be the object of study. 10 parameters were chosen to be varied:  $u/c$  speed ratio, flow angle  $\alpha_1$  near the shroud, angular velocity  $\omega$ , number of knife edges in the left side of the sealing, number of knife edges in the right side of the sealing, step between the knife edges, height of the knife edges, radial gap, width of the middle chamber, sealing offset due to the heat expansion. According to goal of the research, experiment plan, which included 132 calculation points, was built. All simulations were performed using CFD. Calculations according to the plan of the experiment allowed to obtain accurate formal metamodel and to plot dependencies of the varied parameters on the massflow coefficient. Developed engineering method allows to define massflow coefficient of the axial-radial sealing depending on its geometrical and working characteristics, also considering rotor offset caused by the heat expansion. Interactive computer program "Clearance" was developed which make possible to define value of massflow coefficient in the axial-radial sealing.*

**Keywords:** axial-radial sealing, massflow coefficient of the sealing, method of the quality estimation of the sealing.

*Потери, связанные с наличием протечек через радиальные надбандажные уплотнения, обычно учитываются при расчете эффективности всей ступени. При этом коэффициент расхода через уплотнения часто оценивался с помощью формулы Стодоль, в которой используются эмпирические величины, существенно зависящие от конкретной формы уплотнения. В последнее время в мощных паровых турбинах все чаще используются осерадиальные уплотнения. Однако надежных эмпирических зависимостей для оценки коэффициента расхода уплотнений данного вида нет. Целью данного исследования является разработка инженерной методики для расчета осерадиальных уплотнений, которая позволяет определить коэффициент расхода через уплотнения с учетом влияния на него как геометрических и режимных параметров, так и смещения усиков уплотнения, вызванное тепловым расширением проточной части. В качестве объекта исследования было выбрано осерадиальное надбандажное уплотнение 3-й ступени ЦВД одной из мощных паровых турбин. Варьируемыми параметрами были выбраны 10 величин: отношение скоростей  $u/c$ , угол потока около периферийной поверхности, окружная скорость, количество усиков уплотнения слева, количество усиков уплотнения справа, шаг между усиками, высота усиков, радиальный зазор, ширина средней камеры, смещение от теплового расширения. Согласно поставленной цели исследования был составлен план эксперимента, который в общей сложности состоял из 132 расчетных. Все расчеты были выполнены в трехмерной постановке (CFD). Проведение расчетов по плану эксперимента позволило получить формальную макромодель повышенной точности и построить зависимости коэффициента расхода от каждого из варьируемых параметров. Разработанная методика позволяет определять коэффициент расхода осерадиального уплотнения в зависимости от его геометрических и режимных характеристик, а также с учетом смещения ротора относительно статора от теплового расширения. По результатам исследования создана программа*

«Clearance», позволяющая в диалоговом режиме определять величину коэффициента расхода через осе-радиальное уплотнение.

**Ключевые слова:** осерадиальное уплотнение, коэффициент расхода уплотнения, методика оценки качества уплотнения.

#### References

1. Shhegljaev A. V. (1976) Parovye turbiny (teorija teplovogo processa i konstrukcii turbin). Uchebnik dlja studentov jenergomashinostroitel'nyh i teplojenergeticheskikh special'nostej vuzov. Izd. 5-e. [Steam Turbines (theory of thermal engineering process and turbine construction). Textbook for students of Power Energy and Heat Energy specialties. Edition #5]. Moscow, Energy.
2. Bondarenko G. A. and V.N. Baga (2015) Issledovanie techeniya v labirintnom uplotnenii [Studying the Flow in the Labyrinth Sealing]. Power and thermal engineering processes and equipment. № 15(1124), NTU "KhPI".
3. Rechtschaffner R. L. (1967) Saturated fractions of 2n and 3n factorial designs // Technometrics. V. 9.
4. Boiko A. V., Usatyj A. P. and Barannik V. S. (2013) Povyshenie tochnosti formal'noj makromodeli pri planirovanii jeksperimenta [Increasing of the Formal Metamodel Accuracy using Experiment Planning Theory]. Power and thermal engineering processes and equipment. No. 5, NTU "KhPI".

### *Heat Transfer in Engineering Constructions*

**Tsentsiper A. I., Kostikov A. O., Safonov N. A. and Bushtets Ya. N.** To the orientation of spherical solar collectors .....31

*The design of spherical solar collector and how it works are described. Solar heat receiver is made of a single metal tube that is wound along the spherical spiral line. An advantages of spherical geometry collectors are compared to flat geometry. One of the major advantages of spherical collector compared to conventional flat collectors is that it does not have a special mechanism for turning it in accordance of solar motion and whereby it as "sunflower follows the sun." Proposed collector does not require additional energy for the operation of the rotating mechanism. Numerical-analytical calculation of the quantity of solar energy, that is received by solar collector, depending on its orientation relative to the horizon, is done. The results of this calculation as interpolation data are used for the approximation of the functional dependence of the amount of solar energy, that is received by solar collector for the year, on the angle of inclination of its axis relative to the horizon. Using this approximation, it is defined the optimum angle of inclination of the spherical collector, in which he takes the maximum amount of solar energy per year and depends on the geographical latitude on which it is installed.*

**Key words:** orientation, spherical, flat, solar, collector, intensity, solar energy.

*Представлена конструкция сферического солнечного коллектора и описан принцип его работы. Теплоприёмник коллектора выполнен из единой металлической трубки, которая навита по сферической винтовой линии. Приведен ряд преимуществ геометрии сферических коллекторов по сравнению с геометрией плоских. Отмечается одно из основных преимуществ сферического коллектора по сравнению с традиционными плоскими коллекторами – у него отсутствует специальный механизм, поворачивающий его за движением солнца, в силу чего он как «подсолнух следит за солнцем». Предложенный коллектор не нуждается в дополнительной энергии для обеспечения работы этого поворотного механизма. Произведен численно-аналитический расчёт количества солнечной энергии, воспринимаемой солнечным коллектором, в зависимости от его ориентации относительно горизонта. Результаты этого расчёта в качестве интерполяционных данных использованы для получения аппроксимации функциональной зависимости количества солнечной энергии, воспринимаемой солнечным коллектором за год, от угла наклона его оси относительно горизонта. Используя полученную аппроксимацию, определён оптимальный угол наклона сферического коллектора, при котором он воспринимает максимальное количество солнечной энергии за год. При этом угол наклона зависит от географической широты местности, на которой он установлен.*

**Ключевые слова:** ориентация, сферический, плоский, солнечный, коллектор, интенсивность, солнечная энергия.

#### References

1. Brinkvort B. J. Solnechnaya energiya dlya cheloveka. – М.: Mir, 1976. – 286 s.

2. Daffi, J. A., Bekman U. A. Teplovye processy s ispolsovaniem solnechnoy energii. – M.: Mir, 1980. – 413 s.
3. Pat. 57323 Ukraine, Bull. izobr. № 4, 25.02.2011, Kyiv. Sferoidniy sonyachniy kollektor Patent na korysnu model / Tsentsiper A. I., Matsevityy Yu. M., Lushpenko S. F., Safonov M. O., Kazanovska K. V.
4. Pat. 95578 Ukraine, Bull. izobr. № 15, 10.08.2011, Kyiv. Sferoidniy sonyachniy kollektor / Tsentsiper A. I., Matsevityy Yu. M., Lushpenko S. F., Safonov M. O., Kazanovska K. V.
5. Pat. 102598 Ukraine, Bull. izobr. № 14, 25.07.2013, Kyiv. Sonyachniy kollektor / Tsentsiper A. I., Safonov M. O., Lushpenko S. F.
6. Pat. 105112, Ukraine, Bull. izobr. № 7, 10.04.2014, Kyiv. Sferichniy sonyachniy kollektor / Tsentsiper A. I., Lushpenko S. F., Safonov M. O., Bushtets Ya. M.
7. Matsevityy, Yu. M. Tsentsiper A. I., Safonov N. A., Lushpenko S. F. K postroeniu sfericheskogo solnechnogo kollektora // Probl. mashinostroeniya. – 2011. – Vol. 14, № 2. – S 46-51.
8. Matsevityy, Yu. M. Tsentsiper A. I., Safonov N. A., Lushpenko S. F. K sozdaniyu spiralno-vintovogo trubchatogo solnechnogo kollektora // Probl. mashinostroeniya. – 2011. – Vol. 14, № 5. – S. 35–40.

*Dynamics and Strength of Machines*

**Mustafayev A. B.** Effect of local temperature field on retardation of curvilinear crack with allowance of plastic deformation.....37

*We investigate the effect of a heat source on the development of curvilinear crack in the elongated plate in view of plastic deformations in the crack end zones. For retardate the curvilinear crack growth on the crack path in vicinity of the both ends by heating of domains  $S_1$  and  $S_2$  to temperature  $T_0$  are created zones of compressive stresses. The elastic-plastic problem for an infinite plate weakened by a curvilinear crack is considered. The crack faces outside of the end zones are free from external loads. The solution of this problem is obtained by the perturbation method and by reducing it to a boundary value problem of linear conjugation. The plane problem of the development of initial plastic deformation in the end vertices of curvilinear crack in elongated plate, when on the path of the crack growth has heated zone is solved. The basic relations describing the critical fracture diagram of the plate are obtained. The relations for the size of the end zones of plastic deformation and curvilinear crack opening at its end, depending on the applied load, the heat source intensity, the crack length, the geometric parameters of the heated zone are found. The dependence of the crack length on the applied tensile load, the heated zone intensity, as well as on the physical and geometrical plate parameters under monotonous loading is determined.*

**Keywords:** *curvilinear crack, temperature field, end zone of plastic deformation, thermal stresses.*

*Исследуется влияние теплового источника на развитие искривленной трещины в растягиваемой пластине с учетом пластических деформаций в концевых зонах трещины. Для торможения роста криволинейной трещины на пути ее развития в окрестности обоих концов трещины с помощью нагрева тепловым источником областей  $S_1$  и  $S_2$  до температуры  $T_0$  создаются зоны сжимающих напряжений. Рассмотрена упругопластическая задача для неограниченной пластины, ослабленной одной криволинейной трещиной. Берега трещины вне концевых зон свободны от внешних нагрузок. Решение поставленной задачи получено методом возмущений и путем сведения к граничной задаче линейного сопряжения. Получены основные соотношения, описывающие критическую диаграмму разрушения пластины.*

**Ключевые слова:** *криволинейная трещина, температурное поле, концевые зоны пластических деформаций, температурные напряжения.*

**References**

1. Strength, stability and vibrations calculations at high temperatures / Ed. II Goldenblat. Moscow: Mashinostroeniye. 1965.
2. Timoshenko S. P. Strength of materials. Moscow: Nauka. 1965.
3. Finkel V. M. Physical basis of fracture retardation. Moscow: Metallurgiya. 1977.
4. Panasyuk V. V. Mechanics of quasibrittle fracture of material. Naukova Dumka, Kiev. 1991.
5. Rusinko A., Rusinko K. Plasticity and creep of metals. Berlin: Springer, 2011.
6. Mirsalimov V. M., Mustafayev A. B. A contact problem on partial interaction of faces of a variable thickness slot under the influence of temperature field // *Mechanika*. 2015. Vol. 21. pp. 19–22.
7. Muskhelishvili N. I. Some basic problems of mathematical theory of elasticity. Amsterdam: Kluwer, 1977.

8. Morozov E. M. Deformation and fracture under thermal and mechanical loads. Moscow: Atomizdat, 1969, Issue. 3, pp. 87–90.

**Shulzhenko N. G. and Kolyadyuk A. S.** Assessment of influence of the form of the central camera on the current of steam and creep of the hull of the adjusting valve of the turbine.....45

*The characteristics of a current of steam are numerically calculated in system of steam distribution and the intense deformed state and creep of the hull of the valve of the K-325 steam turbine in the stationary mode for two options of the central camera of the valve. Speeds, temperature and a vapor pressure on the walls of the hull are defined on the basis of numerical solution of the equations of Navier-Stokes in three-dimensional statement. The semi empirical Menter model of turbulence was applied. A program complex ANSYS/CFX was used. It was established that the shape of the central chamber affects the distribution of the flow of steam through RK1 and RK3. The equations are integrated creep explicit Euler scheme. We used the model of implicit creep hardening, which takes into account the initial and steady creep. The effect of the form of the central chamber on the characteristics of the control valve body strength. The results of the research indicate that the maximum cumulative creep deformation can not be the cause of cracking after 35,000 hours of robots. Solution of the problem of creep housing for two variants of the central chamber in three-dimensional statement showed that the strength characteristics of a second embodiment of the valve body is preferred because in the central chamber maximum creep deformation in two times less than in the first embodiment of the valve body.*

**Keywords:** calculation, current of steam, creep, system of steam distribution, turbine.

*Численно определяются характеристики течения пара в системе парораспределения, напряженно-деформированного состояния и ползучести корпуса клапана паровой турбины К-325 на стационарном режиме работы для двух вариантов центральной камеры клапана. Скорости, температура и давление пара на стенки корпуса определяются на основе численного решения уравнений Навье-Стокса в трехмерной постановке. Применяется модель турбулентности  $k-\omega$  SST Ментера. Для решения совместной задачи газодинамики и теплообмена использовался программный комплекс ANSYS/CFX. Установлено что форма центральной камеры влияет на распределение расхода пара через РК1 и РК3. Уравнения ползучести интегрируются явной схемой Эйлера. Использовалась модель неявной ползучести с упрочнением, учитывающая начальную и установившуюся ползучесть. Оценено влияние формы центральной камеры на характеристики прочности корпуса регулирующего клапана. Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что максимальная накопленная деформация ползучести не может быть причиной образования трещин после 35000 часов работы. Решение задачи ползучести корпуса для двух вариантов центральной камеры в трехмерной постановке показало, что по прочностным характеристикам второй вариант корпуса клапана является предпочтительным, т.к. в его центральной камере максимальные деформации ползучести в 2 раза меньше, чем для первого варианта корпуса клапана.*

**Ключевые слова:** расчет, течение пара, ползучесть, система парораспределения, турбина.

#### References

1. Plotkin E. R. and Leyzerovich A. Sh.. Start-ups of Power Unit Steam Turbines. Moscow, Energiya, 1980. 192 p.
2. ANSYS Inc. ANSYS CFX-Solver Theory Guide, ANSYS CFX Release 11. ANSYS Inc. Southpointe 275 Technology Drive. Canonsburg. 2006. 312 p.
3. Menter F. R. Eddy Viscosity Transport Equations and their Relation to  $k-\omega$  the Model. Transactions of the ASME, Vol. 119, December 1997, p.876-884
4. Kolyadyuk A. S., Shul'zhenko M. G., Babayev I. N. Computer modeling of steam flow in the regulating valve of the turbine. Vestnik Dvigatelistrojenija (Herald of Aeroengine Building), 2011, no. 2, pp. 106-110.
5. Kolyadyuk A. S., Shul'zhenko M. G., Yershov S. V. Steam flow and temperature distribution in regulating valve for various power capacities of turbine. Vestnik Dvigatelistrojenija (Herald of Aeroengine Building), 2012, no. 2, pp. 94-101.
6. Shul'zhenko N. G. Zadachi termoprochnosti, vibrodiagnostiki i resursa energoagregatov (modeli, metody, rezultaty issledovaniy) / N.G. Shul'zhenko, P.P. Gontarovskij, B.F. Zajcev. –Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. 370 p.
7. ANSYS Inc. ANSYS Mechanical APDL Theory Reference. ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive. Canonsburg. 2015. 876 p.

8. Kolyadyuk A. S., Shul'zhenko M. G. Estimation of the Creepage of the Body of the Control Valve for the Steam Turbine K-325. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment. 2014, № 11(1054), pp. 125–131

**Ainabekov A. I., Suleimenov U. S., Avramov K. V., Kambarov M. A., Abshenov C. A.** Experimental and numerical analysis of deflected mode of cylindrical tanks with pinches.....54

*The results of the experimental analysis of tanks models are considered. The cylindrical panels are used for the tank models. Such structures with imperfections describe the deflected mode of big cylindrical tanks with imperfections. The results of the experimental investigations of the deflected mode in the region of imperfections are presented. The results are obtained by tensometric approach. The stress concentration factors in the regions of imperfections are analyzed in details. The deflected mode of the cylindrical tank with spherical imperfections is simulated numerically. It is assumed that the tank material meets the Hooke law and deformations and displacements satisfy the linear equations. As the tank is filled by fuel oil, then the constant internal pressure acts on the internal surface. The finite element method is applied to simulate numerically the deflected mode. The dependence of the stress concentration factors on the dimensionless parameters of imperfections is analyzed.*

**Key words:** cylindrical tanks, imperfections, deflected mode, circumferential stresses

*Рассматриваются результаты экспериментального исследования моделей конструкции резервуара. В качестве моделей резервуара используются цилиндрические панели. Такие конструкции с вмятинами достаточно точно моделируют напряженно-деформируемое состояние больших цилиндрических резервуаров с вмятинами. Представлены результаты экспериментального анализа напряженно-деформируемого состояния в зоне вмятины, которые получены тензометрированием конструкции. Особое внимание уделяется анализу коэффициента концентрации напряжений в области вмятины. Численно моделируется напряженно-деформируемое состояние всего цилиндрического резервуара со сферической вмятиной. Предполагается, что материал резервуара удовлетворяет закону Гука, а связь между напряжениями и перемещениями является линейной. Так как резервуар заполнен мазутом, то он находится под действием постоянного внутреннего давления. Для численного моделирования напряженно-деформируемого состояния применяется метод конечных элементов. Исследуется зависимость коэффициента концентрации напряжений от безразмерных параметров сферической вмятины.*

**Ключевые слова:** цилиндрические резервуары, вмятины, напряженно-деформируемое состояние, окружные напряжения

**References**

1. V.V. Lichman, L.N. Kopsisichkaya, V.M. Muratov, Stress concentration in the tanks with local imperfections, *Chimicheskoe i neftanoe mashinostroenie*. 6 (1992) 22-24.
2. V.V. Kuznetsov, G.P. Kandakov, The problems of domestic tanks, *Promoslenoe i gragdansкое stroitelstvo*. 5 (2005) 17-19.
3. V.A. Prohorov, The estimation of tank operations risks. PhD thesis. - Yakutsk, 1999.
4. SN RK 3.05-24-2004. Directions on design, production of vertical cylindrical tanks. – 2005-01-01. – Astana: 2004. – 78p.
5. VBN B.2.2-58.2-94. Vertical steel tanks for oil storage. – Kiev: Goskomneftegaz, 1994. – 98p.
6. PB 03-605-03. The design of vertical cylindrical steel tanks for oil. – 2003.06.19. – Moscow: Gosgortekhnadzor of Russia, 2002. – 83p.
7. D.A. Pitluk Tests of building structures on models. Leningrad: Stroiizdat, 1971.
8. V.I. Mossakovski, L.I. Manevich, A.M. Mil'chin. Simulation of load capacity of cylindrical shells. Kiev: Naukova dymka, 1977. p.

**P. P. Shygorin** Rotational dynamics for the spherical body with displaced center of mass.....60

*In the article has been considered the theoretical description of the rotational mechanics for the spherical body with displaced center of mass (SBDCM). In terms of the general equations for dynamics of a rigid body the equations of translational and rotational motion for SBDCM was constructed. The solution of these equations near turning-over point has been analyzed. In particular, has shown that the parameter  $\xi$ , that describe dependence of rotation frequency on the inclination angle, evolves from the initial value  $\xi_0 = Cn_0$  through the oscillations near value  $\xi$ . When angle increases  $\theta$ , the amplitude of oscillation decreases. Near state  $\theta = \pi$  the ampli-*

tude of oscillation will increase again. The critical rotation frequency, when body turning from stable state to unstable was calculated too.

**Key words:** spherical body, dynamics, rotational motion, stable state.

*В работе рассмотрено теоретическое описание механики вращения сферического тела со смещённым центром масс (СТСЦМ). На основании общих уравнений динамики твёрдого тела были сконструированы уравнения поступательного и вращательного движения (СТСЦМ). Проанализировано решения этих уравнений вблизи точки переворачивания. В частности, показано, что параметр  $\xi$ , который определяет зависимость частоты вращения тела от угла наклона, эволюционирует от начального значения  $\xi_0 = Cn_0$  посредством осцилляций вокруг значения  $\xi$ . При увеличении угла  $\theta$  амплитуда осцилляций уменьшается. Вблизи состояния  $\theta = \pi$  амплитуда осцилляций снова начинает расти. Также рассчитано критическую частоту вращения, когда тело переворачивается из устойчивого состояния в неустойчивое.*

**Ключевые слова:** сферическое тело, динамика, вращательное движение, устойчивое состояние.

#### References

1. Sivuhin D. V. (2006). Obshchiy kurs fiziki (v 5 tomakh). Tom 1. Mehanika. [General course of physics (in 5 volumes). Volume 1. Mechanics]. Moscow, Physmatlit, 560p. (in Russian).
2. Aleshkevich V. A., Dedenko L.G., Karavaev V.A. (1997). Lekcii po mehanike tverdogo tela [Lectures on rigid body mechanics]. Moscow, MGU, 98p. (in Russian).
3. Karapetyan A. V. (1991). "Qualiative investigation of the dynamics of a top on a plane with friction". J. Appl. Math. Mech. 55: 563–565.
4. Rauch-Wojciechowski S., Skoldstam M., and Glad T. (2005). "Mathematical Analysis of the Tippe Top" Regul. Chaotic Dyn. 10: 333–362.
5. Ebenfeld S., Scheck F. (1995). "New Analysis of the Tippe Top: Asymptotic States and Liapunov Stability". Annals of Physics. 243: 195-217.