

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262260
REFINEMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL ENERGY MEASUREMENT UNCERTAINTY IN REDUCED LOAD MODE (p. 6–16)

Kateryna Vasylets

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7590-0754>

Volodymyr Kvasnikov

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

Sviatoslav Vasylets

National University of Water and

Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1299-8026>

The object of the study is a three-phase commercial electricity metering unit for 380 V electrical grids. The uncertainty of electricity measurement in the reduced load mode is estimated by the relative deviation of the active energy, measured by the metering unit, from the actual value. The specified deviation is considered as the value of relative deviations on measuring channels, weighted by phase currents. The method of estimating the uncertainty of electricity measurement by one channel of the metering unit is based on the approach to estimating non-random uncertainty using the fuzzy set theory. The parameters of membership functions for the relative deviation of the metering unit readings are estimated at fixed levels of the channel current. Approximation of such functions for different current levels allows you to obtain a set of boundaries of the L-R type fuzzy function corresponding to a set of confidence levels. This allows determining the impact of the load phase current on the measurement uncertainty if the amount of empirical data is limited. The mathematical model for estimating the uncertainty of electricity measurement at reduced load using a fuzzy function was refined. The proposed model differs from the known ones by taking into account the influence of load values for each phase of the metering unit on the measurement uncertainty indicators. The method for determining the membership function and the marginal confidence level, which characterize the uncertainty of energy metering by the metering unit, is proposed. The mathematical modeling results are confirmed as adequate to the experimental data. The proposed model for estimating the measurement uncertainty allows estimating the level of underestimation and clarifying financial calculations between the seller and the buyer of electricity.

Keywords: metering unit, electricity meter, measurement uncertainty, fuzzy function, current transformer.

References

- Chen, X., Song, C., Wang, T. (2021). Analysis of electricity loss and electricity consumption law in low-voltage areas: a case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022 (1), 012016. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2022/1/012016>
- Carr, D., Thomson, M. (2022). Non-technical electricity losses. *Energies*, 15 (6), 2218. doi: <https://doi.org/10.3390/en15062218>
- IEC 61869-2:2012. Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers. Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/6050>
- Kato, H., Imai, H. (2012). Uncertainty evaluation for the composite error of energy meter and instrument transformer. XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth. Busan. Available at: <https://www.imeko.org/publications/wc-2012/IMEKO-WC-2012-TC4-P3.pdf>
- Demerdziev, K., Dimchev, V. (2021) Analysis of errors in active power and energy measurements under random harmonic distortion conditions. *Measurement Science Review*, 21 (6), 168–179. doi: <https://doi.org/10.2478/msr-2021-0023>
- Skorkowski, A., Kampik, M., Musiol, K., Nocon, A. (2022). The errors of electronic energy meters that measure energy consumed by LED lighting. *Energies*, 15 (9), 3254. doi: <https://doi.org/10.3390/en15093254>
- EA-4/02 M: 2022. Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration. European co-operation for Accreditation. Available at: <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/EA-4-02.pdf>
- Ferrero, A., Salicone, S. (2018). A comparison between the probabilistic and possibilistic approaches: the importance of a correct metrological information. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67 (3), 607–620. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2017.2779346>
- ISO/IEC Guide 98-1:2009(en). Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:guide:98-1:ed-1:v1:en>
- Mról, P., Olencki, A., Bukowiec, A. (2014). A Method of Determining an Electric Energy Meter Maximum Uncertainty. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 405–410. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-54900-7_57
- Ferrero, A., Prioli, M., Salicone, S. (2013). The evaluation of uncertainty contributions due to uncompensated systematic effects. 2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). doi: <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2013.6555571>
- Willink, R. (2013) An improved procedure for combining type A and type B components of measurement uncertainty. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 4 (1), 55–62. doi: <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2012038>
- Salicone, S., Prioli, M. (2018). *Measuring uncertainty within the theory of evidence*. Springer Nature Switzerland AG, 330. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74139-0>
- BS EN 50160:2010+A3:2019. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. Available at: <https://www.en-standard.eu/bs-en-50160-2010-a3-2019-voltage-characteristics-of-electricity-supplied-by-public-electricity-networks/>
- Xia, X., Wang, Z., Gao, Y. (2000). Estimation of non-statistical uncertainty using fuzzy-set theory. *Measurement Science and Technology*, 11 (4), 430–435. doi: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/11/4/314>
- Wang, C., Huang, Y., Shao, M., Chen, D. (2018). Uncertainty measures for general fuzzy relations. *Fuzzy Sets and Systems*, 360, 82–96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2018.07.006>
- Marmolejo-Ramos, F., Tian, S. (2010). The shifting boxplot. A boxplot based on essential summary statistics around the mean. *International Journal of Psychological Research*, 3 (1), 37–46. doi: <https://doi.org/10.21500/20112084.823>
- GPL Reference Guide for IBM SPSS Statistics (2021). IBM Corporation. Available at: https://www.ibm.com/docs/en/SSIVMB_28.0.0/pdf/GPL_Reference_Guide_for_IBM_SPSS_Statistics.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263526
DETERMINING THE DYNAMIC MODEL OF THE CHARGING RESONANT CONVERTER WITH INDUCTIVE COUPLING BY AN EXPERIMENTAL-ANALYTICAL METHOD (p. 17–28)

Gennadiy Pavlov

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4937-1828>

Andrey Obrubov

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9667-1703>

Irina Vinnichenko

Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3768-1060>

This paper reports the advanced experimental-analytical method for determining the dynamic model of resonant converters of electricity. The object of research is semiconductor resonance converters and methods for analyzing their dynamics. The well-known experimental-analytical method for determining a dynamic model implements the sequence «experiment – analytics – dynamic model» when the structure of the system may be unknown. Then it is necessary to determine the structures and parameters of many dynamic models, among which the optimal ones will be selected. This makes it difficult to establish usable patterns.

Therefore, it is advisable to develop this method, according to which it is proposed to determine the parameters of the dynamic model according to the following sequence. First, carry out the analysis of the converter circuit and construct the dynamic models of sub-circuits. Next, an experiment is conducted with a simulation structural model of the converter, which is an input model of identification. After that, procedures are carried out for identifying and selecting optimal dynamic models among a set of initial identification models, as a result of which equivalent dynamics equations, gear ratios, and transfer functions of the selected converter models are obtained.

In the proposed modification of the method, the converter model is determined in advance, and at the identification stage it is enough to determine only its parameters. More simply, patterns are identified, and the number of initial identification models is significantly reduced. The results of using the proposed method on the example of determining the dynamic model of the charging resonance converter with inductive coupling between the charger and the battery of an autonomous object are given. The results of the presented analysis can be used in the design of resonant contactless chargers.

Keywords: resonant charger, non-contact energy transfer, structural model, dynamic model.

References

- Bose, B. K. (2013). *Modern Power Electronics and AC Drives*. PHI Learning Pvt Ltd.
- Siroos, A., Sedighzadeh, M., Afjei, E., Fini, A. S., Yarkarami, S. (2021). Correction to: System Identification and Control Design of a Wireless Charging Transfer System with Double-Sided LCC Converter. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46 (10), 10287–10288. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05726-0>
- Pavlov, G., Obrubov, A., Vinnichenko, I. (2021). Design Procedure of Static Characteristics of the Resonant Converters. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575698>
- Pavlov, G., Pokrovskiy, M., Vinnichenko, I. (2018). Load Characteristics of the Serial-to-serial Resonant Converter with Pulse-number Regulation for Contactless Inductive Energy Transfer. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559590>
- Pavlov, G., Obrubov, A., Vinnichenko, I. (2016). The linearized dynamic model of the series resonant converter for small signals. 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ieps.2016.7521879>
- Tian, H., Tzelepis, D., Papadopoulos, P. N. (2021). Electric Vehicle Charger Static and Dynamic Modelling for Power System Studies. *Energies*, 14 (7), 1801. doi: <https://doi.org/10.3390/en14071801>
- Tian, S., Lee, F. C., Li, Q., Li, B. (2015). Small-signal equivalent circuit model of series resonant converter. 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2015.7309685>
- Yin, Y., Zane, R., Erickson, R., Glaser, J. (2003). Direct modeling of envelope dynamics in resonant inverters. IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist, 2003. PESC'03. doi: <https://doi.org/10.1109/pesc.2003.1216778>
- Jain, A., Massimiani, I. C. (2021). LCC Resonant Converter Design and Transfer Function Computation Using FHA Analysis. 2021 4th Biennial International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE). doi: <https://doi.org/10.1109/icnte51185.2021.9487672>
- González-González, J., Triviño-Cabrera, A., Aguado, J. (2018). Design and Validation of a Control Algorithm for a SAE J2954-Compliant Wireless Charger to Guarantee the Operational Electrical Constraints. *Energies*, 11 (3), 604. doi: <https://doi.org/10.3390/en11030604>
- Zheng, K., Zhang, G., Zhou, D., Li, J., Yin, S. (2018). Modeling, dynamic analysis and control design of full-bridge LLC resonant converters with sliding-mode and PI control scheme. *Journal of Power Electronics*, 18 (3), 766–777. doi: <https://doi.org/10.6113/JPE.2018.18.3.766>
- Wang, W., Shi, Y., Yang, D. (2008). A New Modeling Method for the Switching Power Converter. 2008 Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System. doi: <https://doi.org/10.1109/peits.2008.117>
- Valdivia, V., Barrado, A., Lazaro, A., Fernandez, C., Zumel, P. (2010). Black-box modeling of DC-DC converters based on transient response analysis and parametric identification methods. 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). doi: <https://doi.org/10.1109/apec.2010.5433361>
- Valdivia, V., Barrado, A., Laazaro, A., Zumel, P., Raga, C., Fernandez, C. (2009). Simple Modeling and Identification Procedures for «Black-Box» Behavioral Modeling of Power Converters Based on Transient Response Analysis. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24 (12), 2776–2790. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2009.2030957>
- Gilat, A. (2014). *MATLAB: An Introduction with Applications*. Wiley. Available at: https://www.academia.edu/20361006/MATLAB_5th_Edition
- Dongming, G., Dangshu, W. (2021). Research on Transmission Characteristics of Dual LCL Resonance Compensation Topology in Wireless Charging System. 2021 IEEE 5th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). doi: <https://doi.org/10.1109/itnec52019.2021.9586815>
- Pentegov, I. V., Rymar, S. V., Volkov, I. V. (2006). Svyaz' mezhd parametrami elektromagnitnykh, printsipial'nykh skhem i skhem zamesheniya dvukhobmotochnykh transformatorov. *Elektrotehnika i Elektromekhanika*, 3, 67–79. Available at: https://www.researchgate.net/publication/313140828_Svaz_mezdu_parametrami_elektromagnitnyh_principalnyh_shem_i_shem_zamesenia_dvuhobmotochnykh_transformatorov_Link_between_parameters_of_electromagnetic_principle_circuits_and_equivalent_circuits_of_doub
- Wan, H. (2012). High Efficiency DC-DC Converter for EV Battery Charger Using Hybrid Resonant and PWM Technique. *Blacksburg*, 115. Available at: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/32343/Wan_HM_T_2012.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263436
DETERMINING THE EFFECT OF THE
STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF A GAS BLOWER UNIT ON
THE AIR FLOW DISTRIBUTION IN A GAS
GENERATOR (p. 29–43)

Gennadii Golub

National University of Life and
 Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Nataliya Tsyvenkova

National University of Life and
 Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1703-4306>

Victor Golub

National Defence University of Ukraine
 named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1111-8819>

Viacheslav Chuba

National University of Life and
 Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-0520>

Ivan Omarov

Institute of Renewable Energy of the National Academy
 of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9449-853X>

Anna Holubenko

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5018-5312>

The object of this study is the structural and technological parameters of the gas blower unit in the gasification chamber of a gas generator. The task to enable uniform distribution of air masses in the gas generator has been solved using the ANSYS Fluent software. The study is based on a simulation of the movement of air flows in the characteristic cross-sections of the gas generator, in particular the cross-section of the gasification chamber at the border of the oxidation and reduction zones. Seven structures of the gas blower unit were analyzed, the effectiveness of which was determined by the coefficient of variation. The most effective was the design whose value of the coefficient of variation is the smallest and equal to 93 %. At the same time, the total area of zones with no movement of air masses, that is, the absence of a gasification process, does not exceed 12 % of the total cross-sectional area of the gas generator. The speed of air masses at the boundary of the oxidation and reduction zones is aligned in the entire cross-section of the chamber and is $V \approx 4.5$ m/s. The average value of the vertical component of the speed of air masses in the cross-section at the inlet to the recovery zone of the gasification chamber is $V \approx 0.6$ m/s. Under such conditions, the production of synthesis gas of high calorific value with the absence of resins, acids, heavy hydrocarbons, and mechanical impurities is ensured. The correspondence of the simulation results with experimental data is confirmed by the coefficient of determination, which amounted to 0.87.

The results reported here could be the basis of a modernized methodology for the study of aerodynamic, heat and mass exchange processes that occur during biomass gasification. This would make it possible to define the rational structural and technological parameters of gas generators and improve the efficiency of the gasification process as a whole.

Keywords: gas blower unit, gas generator, gasification chamber, reaction zone, oxidation, reduction, synthesis gas.

References

- Basu, P. (2018). Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04056-1>
- Slade, R., Saunders, R., Gross, R., Bauen A. (2011). Energy from biomass: the size of the global resource. An assessment of the evidence that biomass can make a major contribution to future global energy supply. UK Energy Research Centre, 120. Available at: https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/12650/4/GlobalBiomass-Report_LOLO.pdf
- Jenkins, R. G. (2020). Thermal gasification of biomass – a primer. *Bioenergy*, 293–324. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815497-7.00015-4>
- Lewandowski, W. M., Ryms, M., Kosakowski, W. (2020). Thermal Biomass Conversion: A Review. *Processes*, 8 (5), 516. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8050516>
- Wurzenberger, J. C., Wallner, S., Raupenstrauch, H., Khinast, J. G. (2002). Thermal conversion of biomass: Comprehensive reactor and particle modeling. *AIChE Journal*, 48 (10), 2398–2411. doi: <https://doi.org/10.1002/aic.690481029>
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., Bueno, J. L. (2017). Biomass sources for thermal conversion. Techno-economical overview. *Fuel*, 195, 182–189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.063>
- Chhiti, Y., Kemih, M. (2013). Thermal Conversion of Biomass, Pyrolysis and Gasification: A Review. *The International Journal of Engineering And Science*, 2 (3), 75–85. Available at: <https://www.theijes.com/papers/v2-i3/M023075085.pdf>
- Tregub, M., Holubenko, A., Tsyvenkova, N. (2021). Experimental Studies of Structural and Technological Parameters of a Downdraft Gasifier Based on Plant Biomass. *Scientific Horizons*, 24 (6), 9–23. doi: [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(6\).2021.9-23](https://doi.org/10.48077/scihor.24(6).2021.9-23)
- Tsyvenkova, N., Kukharets, S., Kukharets, V., Savchenko, N. (2020). Experimental study of influence of tuyere belt design on thermal conditions of gasification chamber operation. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf302>
- Pavlenko, M., Chuba, V., Tsyvenkova, N., Tereshchuk, M. (2020). Experimental study on biomass air-steam gasification effectiveness in downdraft gasifier. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf495>
- Barbashin, M. Y. (2017). Imitation Modeling and Institutional Studies. *Journal of Institutional Studies*, 9 (3), 81–96. doi: <https://doi.org/10.17835/2076-6297.2017.9.3.081-096>
- Grønli, M. G., Melaaen, M. C. (2000). Mathematical Model for Wood Pyrolysis Comparison of Experimental Measurements with Model Predictions. *Energy & Fuels*, 14 (4), 791–800. doi: <https://doi.org/10.1021/ef990176q>
- Reed, T. B., Das, A. (1988). Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems. United States. doi: <https://doi.org/10.2172/5206099>
- Mezin, I. S. (1948). *Transportnye gazogeneratory*. Moscow: Sel'khozgiz.
- González, J. E., Román, S., Bragado, D., Calderón, M. (2008). Investigation on the reactions influencing biomass air and air/steam gasification for hydrogen production. *Fuel Processing Technology*, 89 (8), 764–772. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.01.011>
- Patra, T. K., Nimisha, K. R., Sheth, P. N. (2016). A comprehensive dynamic model for downdraft gasifier using heat and mass transport coupled with reaction kinetics. *Energy*, 116, 1230–1242. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.036>
- Janoszek, T., Stańczyk, K., Smoliński, A. (2017). Modelling Test of Autothermal Gasification Process Using CFD. *Archives of Mining Sciences*, 62 (2), 253–268. doi: <https://doi.org/10.1515/amsc-2017-0019>

18. Irum, Q., Khan, S. A., Uppal, A. A., Krivodonova, L. (2020). Galerkin Finite Element Based Modeling of One Dimensional Packed Bed Reactor for Underground Coal Gasification (UCG) Process. *IEEE Access*, 8, 223130–223139. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3044194>
19. Masmoudi, M. A., Sahraoui, M., Halouani, K. (2017). Modeling and simulation of heat and mass transfer during biomass gasification in a packed bed downdraft reactor. *International Journal of Energy, Environment and Economics*, 12 (3), 207–223.
20. Hesameddin, F. (2014). Numerical Simulation of Combustion and Gasification of Biomass Particles. Lund University.
21. Mazaheri, N., Akbarzadeh, A. H., Madadian, E., Lefsrud, M. (2019). Systematic review of research guidelines for numerical simulation of biomass gasification for bioenergy production. *Energy Conversion and Management*, 183, 671–688. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.097>
22. Puig-Gamero, M., Pio, D. T., Tarelho, L. A. C., Sánchez, P., Sanchez-Silva, L. (2021). Simulation of biomass gasification in bubbling fluidized bed reactor using aspen plus®. *Energy Conversion and Management*, 235, 113981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113981>
23. Duan, W., Yu, Q., Wang, K., Qin, Q., Hou, L., Yao, X., Wu, T. (2015). ASPEN Plus simulation of coal integrated gasification combined blast furnace slag waste heat recovery system. *Energy Conversion and Management*, 100, 30–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.066>
24. Lestinsky, P., Palit, A. (2016). Wood Pyrolysis Using Aspen Plus Simulation and Industrially Applicable Model. *GeoScience Engineering*, 62 (1), 11–16. doi: <https://doi.org/10.1515/gse-2016-0003>
25. Sreejith, C. C., Muraleedharan, C., Arun, P. (2013). Performance prediction of steam gasification of wood using an ASPEN PLUS thermodynamic equilibrium model. *International Journal of Sustainable Energy*, 33 (2), 416–434. doi: <https://doi.org/10.1080/14786451.2012.755977>
26. Acharya, B., Dutta, A., Basu, P. (2010). An investigation into steam gasification of biomass for hydrogen enriched gas production in presence of CaO. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (4), 1582–1589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.109>
27. Rupesh, S., Muraleedharan, C., Arun, P. (2016). ASPEN plus modelling of air–steam gasification of biomass with sorbent enabled CO₂ capture. *Resource-Efficient Technologies*, 2 (2), 94–103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.refit.2016.07.002>
28. Ibrahimoglu, B., Cucen, A., Yilmazoglu, M. Z. (2017). Numerical modeling of a downdraft plasma gasification reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (4), 2583–2591. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.224>
29. Klimanek, A., Bigda, J. (2018). CFD modelling of CO₂ enhanced gasification of coal in a pressurized circulating fluidized bed reactor. *Energy*, 160, 710–719. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.046>
30. Ismail, T. M., Shi, M., Xu, J., Chen, X., Wang, F., El-Salam, M. A. (2020). Assessment of coal gasification in a pressurized fixed bed gasifier using an ASPEN plus and Euler–Euler model. *International Journal of Coal Science & Technology*, 7 (3), 516–535. doi: <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00361-w>
31. Muilenburg, M., Shi, Y., Ratner, A. (2011). Computational Modeling of the Combustion and Gasification Zones in a Downdraft Gasifier. Volume 4: Energy Systems Analysis, Thermodynamics and Sustainability; Combustion Science and Engineering; Nanoengineering for Energy, Parts A and B. doi: <https://doi.org/10.1115/imece2011-64009>
32. Yepes Maya, D. M., Silva Lora, E. E., Andrade, R. V., Ratner, A., Martínez Angel, J. D. (2021). Biomass gasification using mixtures of air, saturated steam, and oxygen in a two-stage downdraft gasifier. Assessment using a CFD modeling approach. *Renewable Energy*, 177, 1014–1030. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.051>
33. Vasylykovskiy, O., Leshchenko, S., Vasylykovska, K., Petrenko, D. (2016). *Pidruchnyk doslidnyka*. Kirovohrad, 204.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263331
IMPROVING THE EFFICIENCY OF CONDENSATION INSTALLATIONS OF STEAM TURBINES BY APPLYING LIQUID-VAPOR EJECTOR (p. 44–50)

Serhii Sharapov

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8433-8580>

Sviatoslav Yevtushenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4536-4046>

Vitalii Panchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9228-4888>

Viktor Kozin

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9821-7774>

Oleksandr Ivchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-7693>

This paper considers the possibility of using liquid-vapor ejectors in condensing units of steam turbines. This unit is designed for pumping out a steam-air mixture from a steam turbine condenser, in which the process occurs at a pressure lower than atmospheric. In the traditional scheme, this is provided by a two-stage steam-jet ejector unit. The proposed scheme involves the use of a single-stage liquid-vapor ejector and its possible pre-vacuum mode of operation in conjunction with a liquid-ring vacuum pump. A working process of the liquid-vapor ejector does not require the supply of working steam from the outside since its generation occurs in the active nozzle of the liquid-vapor ejector. A description of the traditional scheme and the proposed options is given, which are different both in the scheme solution and in the operating parameters. The object of this study is a liquid-vapor ejector, which is used in the condensing system of a steam turbine. Thermodynamic calculation of the proposed circuit solutions was carried out. As a result, the necessary mode parameters of the schemes were determined. To assess the feasibility of using a liquid-vapor ejector in the condensation systems of steam turbines, an exergy analysis was performed. The proposed scheme makes it possible to increase efficiency by 2.3 times, and when used with a liquid-ring vacuum pump – by 2.44 times. To assess the economic efficiency of the modernization of the condensing system, thermoeconomic analysis was performed. The use of the proposed scheme makes it possible to reduce the cost of generating boiler steam and reduce the cost of the resulting product of the steam turbine unit by about 51 %. The estimated cost of a unit of the amount of boiler steam consumed per ton of product and the unit cost of steam were established.

Keywords: condensing unit, steam turbine, liquid-vapor ejector, liquid-ring vacuum pump, exergy efficiency, thermoeconomic analysis.

References

- Šarevski, M. N., Šarevski, V. N. (2016). Water (R718) Turbo Compressor and Ejector Refrigeration / Heat Pump Technology. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01782-8>
- El-Dessouky, H., Ettouney, H., Alatiqi, I., Al-Nuwaibit, G. (2002). Evaluation of steam jet ejectors. *Chemical Engineering and Pro-*

- cessing: *Process Intensification*, 41 (6), 551–561. doi: [https://doi.org/10.1016/s0255-2701\(01\)00176-3](https://doi.org/10.1016/s0255-2701(01)00176-3)
3. Akteriana, S. (2011). Improving the energy efficiency of traditional multi-stage steam-jet-ejector vacuum systems for deodorizing edible oils. *Procedia Food Science*, 1, 1785–1791. doi: <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.262>
 4. Ahmadi, P., Fakhari, I., Rosen, M. A. (2022). A comprehensive approach for tri-objective optimization of a novel advanced energy system with gas turbine prime mover, ejector cooling system and multi-effect desalination. *Energy*, 254, 124352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124352>
 5. Bhowmick, A., Kundu, B. (2022). Extremum analysis based on exergy and economic principle for ejector-absorption cycles combined with regenerative organic-Rankine and gas-turbine cycles. *Energy Conversion and Management*, 253, 115174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115174>
 6. Woodland, B. J., Ziviani, D., Braun, J. E., Groll, E. A. (2020). Considerations on alternative organic Rankine Cycle configurations for low-grade waste heat recovery. *Energy*, 193, 116810. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116810>
 7. Zheng, L., Hu, Y., Mi, C., Deng, J. (2022). Advanced exergy analysis of a CO₂ two-phase ejector. *Applied Thermal Engineering*, 209, 118247. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118247>
 8. Assari M.R., Tabrizi, H. B., Beik, A. J. G., Shamesri, K. (2022). Numerical Study of Water-air Ejector using Mixture and Two-phase Models. *International Journal of Engineering*, 35 (2), 307–318. doi: <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.02b.06>
 9. Sharapov, S., Husiev, D., Panchenko, V., Kozin, V., Baha, V. (2020). Analysis of the possibility of using R718 for a heat pump of a heating system based on a liquid-vapor ejector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (108)), 39–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217274>
 10. Rahvard, A. J., Lakzian, E., Foroozesh, F., Khoshnevis, A. (2022). An applicable surface heating in a two-phase ejector refrigeration. *The European Physical Journal Plus*, 137 (2). doi: <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-02203-3>
 11. Arseniev, V. M., Meleichuk, S. S. (2018). *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku*. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet, 364. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/70532>
 12. Tsatsaronis, G. (2006). Application of Thermoconomics to the Design and Synthesis of Energy Plants. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Available at: https://www.academia.edu/28447880/Application_of_Thermoconomics_to_the_Design_and_Synthesis_of_Energy_Plants
 13. Tsatsaronis, Dzh. (2002). *Vzaimodeystvie termodinamiki i ekonomiki dlya minimizatsii stoimosti energopreobrazuyushey sistemy*. Odessa: OOO «Studiya «Negotsiant», 152. Available at: <http://catalog.odnb.odessa.ua/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:21748/Source:default>
 14. Sharapov, S., Arsenyev, V., Protsenko, M. (2013). The use of liquid-vapor ejector in vacuum systems. *Compressors 2013 – 8th International Conference on Compressors and Coolants*. Available at: <https://szhkt.org/compressors/Contents/2013/proceedings.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263180
DETERMINING THE INFLUENCE OF GEOMETRIC FACTORS AND THE TYPE OF HEAT CARRIER ON THE THERMAL RESISTANCE OF MINIATURE TWO-PHASE THERMOSYPHONS (p. 51–59)

Vladimir Kravets

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8891-0812>

Valeriy Konshin

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-3589>

Dmytro Hurov

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4411-4889>

Mykyta Vorobiov

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9621-7658>

Ievgen Shevel

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4635-5996>

This paper reports experimental data on the total thermal resistance of copper two-phase thermosiphons with internal diameters of 3 mm, 5 mm, and 9 mm, 700 mm long. Water, ethanol, methanol, and freon-113 were used as heat carriers. During the study, thermosiphons were located vertically. The length of the heating zone varied from 45 mm to 200 mm while the length of the condensation zone was constant and equaled 200 mm. The filling coefficient of thermosiphons varied from 0.3 to 2.0. Two series of experiments were conducted. The first series was distinguished by the fact that the filling coefficient of three thermosiphons with an internal diameter of 9 mm varied from 0.3 to 0.8 with the same length of the heating zone of 200 mm. The second series of experiments was carried out on thermosiphons with internal diameters of 3 mm and 5 mm. With the same amount of heat carrier, the length of the heating zone changed from 45 mm to 200 mm. As a result of research, it was determined that the total thermal resistance of thermosiphons is influenced by both their geometric factors (internal diameter and filling coefficient) and the type of heat carrier. The main factor that influenced the value of thermal resistance was also the transmitted heat flux. An increase in heat flow led to a significant decrease in thermal resistance. The maximum heat flux was determined with minimal thermal resistance. To calculate the value of the thermal resistance of thermosiphons, two dimensionless dependences were derived, which hold for two ranges of Reynolds numbers. For small Reynolds numbers (until 2000), which characterize the beginning of the action of vaporization centers and their gradual increase, the degree indicator was –0.8, and for larger Reynolds numbers, up to critical phenomena, the degree indicator was at the level of –0.3.

Keywords: miniature thermosiphon, heat transfer intensity, thermal resistance, heat flux, heat carrier, filling coefficient.

References

1. Bezrodnyy, M. K., Pioro, I. L., Kostyuk, T. O. (2005). *Protsessy perenosa v dvukhfaznykh termosifonnykh sistemakh. Teoriya i praktika*. Kyiv: «Fakt», 704.
2. Reay, D. A., Kew, P.A., McGlen R. J. (2014). *Heat Pipes. Theory, Design and Applications*. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/c2011-0-08979-2>
3. Jouhara, H., Robinson, A. J. (2010). Experimental investigation of small diameter two-phase closed thermosiphons charged with water, FC-84, FC-77 and FC-3283. *Applied Thermal Engineering*, 30 (2-3), 201–211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.08.007>
4. Juhara, H., Martinet, O., Robinson, A. J. (2008). Experimental study of small diameter thermosiphons charged with water, FC-84, FC-77 and FC-3283. 5-th European thermal-sciences conference.

5. Kannan, M., Senthil, R., Baskaran, R., Deepanraj, B. (2014). An experimental study on heat transport capability of a two phase thermosyphon charged with different working fluids. *American Journal of Applied Sciences*, 11 (4), 584–591. doi: <https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.584.591>
6. Imura, H., Kusada, H., Oyata, J., Miyazaki, T., Sakamoto, N. (1977). Heat transfer in two-phase closed-type thermosyphons. *Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers*, 22, 485–493.
7. Noie, S. H. (2005). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*, 25 (4), 495–506. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.019>
8. Alammar, A. A., Al-Dadah, R. K., Mahmoud, S. M. (2016). Numerical investigation of effect of fill ratio and inclination angle on a thermosyphon heat pipe thermal performance. *Applied Thermal Engineering*, 108, 1055–1065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.163>
9. Khazaei, I., Hosseini, R., Noie, S. H. (2010). Experimental investigation of effective parameters and correlation of geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon. *Applied Thermal Engineering*, 30 (5), 406–412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.09.012>
10. Kravets, V. YU., Pis'menniy, E. N., Kon'shin, V. I. (2009). Pul'satsionnye yavleniya v zakrytykh dvukhfaznykh termosifonakh. *Zbirnyk nauk. prats SNU IaE ta P*, 4 (32), 39–46.
11. Alammar, A. A., Al-Dadah, R. K., Mahmoud, S. M. (2018). Effect of inclination angle and fill ratio on geyser boiling phenomena in a two-phase closed thermosyphon – Experimental investigation. *Energy Conversion and Management*, 156, 150–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.003>
12. Kravetz, V. Y., Alekseik, O. S. (2012). Boiling heat-transfer intensity on small-scale surface. *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*, 6 (3), 479–484. Available at: https://www.researchgate.net/publication/288306730_Boiling_heat-transfer_intensity_on_small-scale_surface
13. Prisiakov, K., Marchenko, O., Melikaev, Yu., Kravetz, V., Nikolaenko, Yu., Prisiakov, V. (2003). About Complex Influence of Vibrations and Gravitational Fields on Serviceability of Heat Pipes in Composition of the Space-Rocket Systems. 54th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law. doi: <https://doi.org/10.2514/6.iac-03-i.1.10>
14. Chi, C. (1981). *Teplotnye trub. Teoriya i praktika*. Moscow: Mashinostroenie, 207.
15. Ivanovskiy, M. N., Sorokin, V. P., YAgodkin, I. V. (1978). *Fizicheskie osnovy teplovykh trub*. Moscow: Atomizdat, 256.
16. Robinson, A. J., Smith, K., Hughes, T., Filippeschi, S. (2020). Heat and mass transfer for a small diameter thermosyphon with low fill ratio. *International Journal of Thermofluids*, 1-2, 100010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2019.100010>
17. Jafari, D., Franco, A., Filippeschi, S., Di Marco, P. (2016). Two-phase closed thermosyphons: A review of studies and solar applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 575–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.002>
18. Pis'menniy, E. N., Khayrnasov, S. M., Rassamakin, B. M. (2018). Heat transfer in the evaporation zone of aluminum grooved heat pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 80–88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.154>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263374
BUILDING A MODEL OF DAMAGE TO THE FRACTAL STRUCTURE OF THE SHELL OF THE FUEL ELEMENT OF A NUCLEAR REACTOR (p. 60–70)

Pavlo Budanov

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1542-9390>

Eduard Khomiak

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2579-2986>

Ihor Kyrsov

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0214-8880>

Kostiantyn Brovko

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9669-9316>

Sergiy Kalnoy

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7207-4282>

Oleh Karpenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4009-1990>

This paper considers the physical processes in the structure of the material for a heat-emitting fuel element (FE) shell, caused by various damaging defects, on its outer and inner surfaces, and affecting the change in the geometric parameters of a nuclear reactor's FE.

The task to improve the model of damage to an FE shell is being solved, taking into consideration structural and phase changes in the material of the shell with damaging defects on the outer and inner surfaces, in order to establish the actual criterion for assessing the FE hermeticity degree.

It is proposed to study the structure of the shell material with damaging defects (macropores and microcracks), which is a porous heterogeneous structure with fractal properties of self-similarity and scalability, to use the apparatus of fractal geometry.

A physical model of the FE shell has been built and proposed, in the form of a geometric cylinder-shaped figure, which makes it possible to investigate the fractal properties of the structure of the material of the damaged shell and their influence on a change in the geometric parameters of FE

An improved model of damage to the FE shell was derived, which makes it possible to take into consideration fractal increases in the geometric parameters of FE, for the established values of the fractal dimensionality.

Experimental studies of the FE shell, using the skin effect, confirmed the theoretical results and showed the validity of the choice of practical use of the fractal dimensionality parameter as an effective criterion for assessing the hermeticity degree of an FE shell. It has been experimentally established that the value of the fractal dimensionality of 2.68 corresponds to the maximum degree of damage to the shell for a leaky FE.

Keywords: fuel element shell, shell damage model, fractal structure, fractal dimensionality.

References

1. Parga, C. J., Rooyen, I. J., Luther, E. P. (2018). Fuel – clad chemical interaction evaluation of the TREAT reactor conceptual low-enriched-uranium fuel element. *Journal of Nuclear Materials*, 512, 252–267. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2018.10.028>
2. Tang, J., Huang, M., Zhao, Y., Ouyang, X., Huang, J. (2017). A new procedure for solving steady-state and transient-state nonlinear radial conduction problems of nuclear fuel rods. *Annals of Nuclear Energy*, 110, 492–500. doi: <http://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.05.061>
3. Pelykh, S. N., Maksimov, M. V., Baskakov, V. E. (2013). Grounds of VVER-1000 fuel cladding life control. *Annals of Nuclear Energy*, 58, 188–197. doi: <http://doi.org/10.1016/j.anucene.2013.03.020>

4. Yong, S., Linzi, Z. (2022). Robust deep auto-encoding network for real-time anomaly detection at nuclear power plants. *Process Safety and Environmental Protection*, 163, 438–452. doi: <http://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.039>
5. Philip, B., Berrill, M. A., Allu, S., Hamilton, S. P., Sampath, R. S., Clarno, K. T., Dilts, G. A. (2015). A parallel multi-domain solution methodology applied to nonlinear thermal transport problems in nuclear fuel pins. *Journal of Computational Physics*, 286, 143–171. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jcp.2015.01.029>
6. Zheng, Y. (2020). Predicting stochastic characteristics of generalized eigenvalues via a novel sensitivity-based probability density evolution method. *Applied Mathematical Modelling*, 88, 437–460. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apm.2020.06.060>
7. Hyung, M. S., Kune, Y. S. (2011). Evolutionary design of reactor vessel assembly for liquid metal cooled battery. *Progress in Nuclear Energy*, 53 (7), 825–830. doi: <http://doi.org/10.1016/j.pnucene.2011.05.026>
8. Abdul, R. K., Afzal, R. A., Mohammed, A. D., Ramis, M. K. (2019). Effect of cladding on thermal behavior of nuclear fuel element with non-uniform heat generation. *Progress in Nuclear Energy*, 111, 1–14. doi: <http://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.10.013>
9. Belles, R. J. (2021). Key reactor system components in integral pressurized water reactors (iPWRs). *Handbook of Small Modular Nuclear Reactors*, 95–115. doi: <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-823916-2.00005-9>
10. Shuang, X., Xuhua, Z., Gaojie, H., Xiabin, C. (2021). CFD analysis of the flow blockage in a rectangular fuel assembly of the IAEA 10 MW MTR research reactor. *Nuclear Engineering and Technology*, 53 (9), 2847–2858. doi: <http://doi.org/10.1016/j.net.2021.03.028>
11. Pecchia, M., Vasiliev, A., Ferroukhi, H., Pautz, A. (2017). A methodology for evaluating weighting functions using MCNP and its application to PWR ex-core analyses. *Annals of Nuclear Energy*, 105, 121–132. doi: <http://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.03.008>
12. Budanov, P., Kyrsov, I., Brovko, K., Rudenko, D., Vasiuchenko, P., Nosyk, A. (2018). Development of a Solar Element Model Using the Method of Fractal Geometry Theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (111)), 75–89. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235882>
13. Puthiyavinayagam, P., Selvaraj, P., Balasubramanian, V., Raghupathy, S., Velusamy, K., Devan, K., Nashine, B. et. al. (2017). Development of fast breeder reactor technology in India. *Progress in Nuclear Energy*, 101, 19–42. doi: <http://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.03.015>
14. Williamson, R. L., Hales, J. D., Novascone, S. R., Tonks, M. R., Gaston, D. R., Permann, C. J. et. al. (2012). Multidimensional multiphysics simulation of nuclear fuel behavior. *Journal of Nuclear Materials*, 423 (1-3), 149–163. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2012.01.012>
15. Dawahra, S., Khattab, K., Alhabit, F. (2020). MNSR transient analysis using the RELAP5/Mod3.2 code. *Nuclear Engineering and Technology*, 52 (9), 1990–1997. doi: <http://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.006>
16. Fiorina, C., Clifford, I., Kelm, S., Lorenzi, S. (2022). On the development of multi-physics tools for nuclear reactor analysis based on OpenFOAM: state of the art, lessons learned and perspectives. *Nuclear Engineering and Design*, 387, 1–15. doi: <http://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111604>
17. Papin, J. (2019). Behavior of Fast Reactor Fuel During Transient and Accident Conditions. *Comprehensive Nuclear Materials*, 2, 339–362. doi: <http://doi.org/10.1016/b978-0-08-102865-0.00039-x>
18. Clifford, I., Pecchia, M., Puragliesi, R., Vasiliev, A., Ferroukhi, H. (2018). On the characteristics of the flow and heat transfer in the core bypass region of a PWR. *Nuclear Engineering and Design*, 330, 117–128. doi: <http://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.01.039>
19. Budanov, P., Brovko, K., Cherniuk, A., Pantielieieva, I., Oliynyk, Y., Shmatko, N., Vasyuchenko, P. (2018). Improvement of safety of autonomous electrical installations by implementing a method for calculating the electrolytic grounding electrodes parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (95)), 20–28. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144925>
20. Budanov, P., Brovko, K., Cherniuk, A., Vasyuchenko, P., Khomenko, V. (2018). Improving the reliability of information control systems at power generation facilities based on the fractal cluster theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 4–12. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126427>
21. Hohorst, J. K. (1990). MATPRO-A, a library of materials properties for light-water reactor accident analysis. Idaho Falls: Idaho National Engineering Lab, 4, 1098.
22. Feder, E. (2014). *Fraktaly*. Moscow: URSS: Len, 256.
23. Balkhanov, V. K. (2013). *Osnovy fraktalnoi geometrii i fraktalnogo ischisleniia*. Izd-vo Buriatskogo gosuniversiteta, 224.
24. Mandelbrot, B. (2010). *Fraktalnaia geometriia prirody*. IIKI, NITc «Reguliarnaia i khaoticheskaia dinamika», 656.
25. Skobov, V. G., Chernov, A. S. (2013). Nelineinyi skin-effekt v polu-metallakh. *Fizika tverdogo tela*, 55 (10), 1903–1907.

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262260

УТОЧНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЗНИЖЕНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 6–16)

К. С. Василюк, В. П. Квасніков, С. В. Василюк

Об'єктом дослідження є трифазний вузол комерційного обліку електроенергії для електромереж напругою 380 В. Невизначеність вимірювання електроенергії в режимі зниженого навантаження оцінюється відносним відхиленням виміряної вузлом обліку активної енергії від дійсного значення. Вказане відхилення розглядається як середньозважена за струмами фаз величина відносних відхилень по вимірювальним каналам. Методика оцінювання невідомості вимірювання електроенергії за одним каналом вузла обліку базується на підході до оцінювання невідомості з використанням теорії нечітких множин. При фіксованих рівнях струму каналу оцінюються параметри функцій приналежності для відносного відхилення показів вузла обліку. Апроксимація таких функцій для різних рівнів струму дозволяє отримати множину меж нечіткої функції L-R типу, що відповідають множині рівнів довіри. Це дозволяє встановити вплив струму фази навантаження на невідомість вимірювання при обмеженому обсязі емпіричних даних. Уточнена математична модель для оцінювання невідомості вимірювання електроенергії при зниженому навантаженні за допомогою нечіткої функції. Запропонована модель відрізняється від відомих врахуванням впливу величин навантаження по кожній фазі вузла обліку на показники невідомості вимірювання. Запропоновано методику визначення функції приналежності та граничного рівня довіри, що характеризують невідомість обліку енергії вузлом обліку. Підтверджена адекватність результатів математичного моделювання експериментальним даним. Використання запропонованої моделі для оцінювання невідомості вимірювання дозволяє оцінити рівень недообліку та уточнити фінансові розрахунки між продавцем та покупцем електроенергії.

Ключові слова: вузол обліку, лічильник електроенергії, невідомість вимірювання, нечітка функція, трансформатор струму.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263526

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАРЯДНОГО РЕЗОНАНСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ІНДУКТИВНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ (с. 17–28)

Г. В. Павлов, А. В. Обрубов, І. Л. Вінниченко

Представлено розвиток експериментально-аналітичного методу визначення динамічної моделі резонансних перетворювачів електроенергії. Об'єктом досліджень є напівпровідникові резонансні перетворювачі та методи аналізу їх динаміки. Відомий експериментально-аналітичний метод визначення динамічної моделі реалізує послідовність «експеримент – аналітика – динамічна модель», коли структура системи може бути невідомою. Тоді треба визначати структури і параметри багатьох динамічних моделей, серед яких вибиратимуться оптимальні. Це ускладнює встановлення корисних закономірностей.

Тому доцільним є розвиток даного методу, визначення параметрів динамічної моделі за яким пропонується здійснювати за наступною послідовністю. Спочатку здійснюють аналіз схеми перетворювача і створення динамічних моделей підсхем. Далі проводять експеримент з імітаційною структурною моделлю перетворювача, яка є вхідною моделлю ідентифікації. Після проводять процедури ідентифікації та вибору оптимальних динамічних моделей серед множини вихідних моделей ідентифікації, внаслідок чого отримують еквівалентні рівняння динаміки, передавальні характеристики і передавальні функції обраних моделей перетворювача.

В запропонованій модифікації методу модель перетворювача визначається заздалегідь, а на етапі ідентифікації достатньо визначити тільки її параметри. Простіше виявляються закономірності і значно зменшується кількість вихідних моделей ідентифікації. Наведено результати використання запропонованого методу на прикладі визначення динамічної моделі зарядного резонансного перетворювача з індуктивним зв'язком між зарядним пристроєм та акумулятором автономного об'єкта. Результати представленого аналізу можуть бути використані при проектуванні резонансних безконтактних зарядних пристроїв.

Ключові слова: резонансний зарядний пристрій, безконтактна передача енергії, структурна модель, динамічна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263436

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗО-ДУТТЬОВОГО ВУЗЛА НА РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ПОВІТРЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРІ (с. 29–43)

Г. А. Голуб, Н. М. Цивенкова, В. А. Голуб, В. В. Чуба, І. С. Омаров, А. А. Голубенко

Об'єктом дослідження є конструкційно-технологічні параметри газо-дутьового вузла камери газифікації газогенератора. Вирішено проблему забезпечення рівномірного розподілу повітряних мас в газогенераторі із застосуванням програми ANSYS Fluent. Дослідження засноване на імітаційному моделюванні руху потоків повітря в характеристичних перерізах газогенератора, зокрема в поперечному перерізі камери газифікації на межі зон окислення і відновлення. Проаналізовано сім конструкцій газо-дутьового вузла, ефективність яких визначалася коефіцієнтом варіації. Найбільш ефективною виявилася конструкція, значення коефіцієнту варіації якої найменше і рівне 93 %. При цьому загальна площа зон з відсутністю руху повітряних мас, тобто відсутністю процесу газифікації, не перевищує 12 % від загальної площі перерізу газогенератора. Швидкість повітряних мас на межі зон окислення і відновлення вирівняна в усьому поперечному перерізі камери і складає $V \approx 4,5$ м/с. Усереднене значення вертикальної складової швидкості повітряних мас у перерізі на вході в зону відновлення камери газифікації становить $V \approx 0,6$ м/с. За таких умов забезпечується виробництво

синтез-газу високої теплотворної здатності з відсутністю смол, кислот, важких вуглеводнів і механічних домішок. Відповідність результатів імітаційного моделювання експериментальним даним підтверджена коефіцієнтом детермінації, який склав 0,87.

Отримані результати можуть бути покладені в основу осучасненої методології дослідження аеродинамічних, тепло і масообмінних процесів, які протікають під час газифікації біомаси. Це дозволить визначати раціональні конструкційно-технологічні параметри газогенераторів та підвищити ефективність процесу газифікації в цілому.

Ключові слова: газо-дутьтовий вузол, газогенератор, камера газифікації, реакційна зона, окислення, відновлення, синтез-газ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263331

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОНДЕНСАЦІЙНИХ УСТАНОВОК ПАРОВИХ ТУРБІН ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РІДИННО-ПАРОВИХ ЕЖЕКТОРІВ (с. 44–50)

С. О. Шарапов, С. О. Євтушенко, В. О. Панченко, В. М. Козін, О. В. Івченко

Розглянуто можливість застосування рідинно-парових ежекторів у конденсаційних установках парових турбін. Дана установка призначена для відкачування пароповітряної суміші з конденсатора парової турбіни, в якому процес відбувається за тиску, нижчого за атмосферний. В традиційній схемі це забезпечується двоступеневим пароструминним ежекторним агрегатом. Пропонована схема передбачає застосування одноступеневого рідинно-парового ежектора та його можливий форвакуумний режим роботи спільно з рідинно-кільцевим вакуумним насосом. Робочий процес рідинно-парового ежектора не потребує підведення робочої пари ззовні, тому що її генерація відбувається в активному соплі рідинно-парового ежектора. Наведено опис традиційної схеми та пропонованих варіантів, які відмінні як за схемним рішенням, так і за робочими параметрами. Об'єктом дослідження є рідинно-паровий ежектор, який використовується у конденсаційній системі парової турбіни. Проведено термодинамічний розрахунок пропонованих схемних рішень. У результаті визначені необхідні режимні параметри схем. Для оцінювання доцільності застосування рідинно-парового ежектора в конденсаційних системах парових турбін виконано ексергетичний аналіз. Пропонована схема дає змогу підвищити ефективність у 2,3 рази, а при застосуванні з рідинно-кільцевим вакуумним насосом – у 2,44 рази. Для оцінки економічної ефективності модернізації конденсаційної системи було виконано термoeкономічний аналіз. Використання пропонованої схеми дозволяє зменшити витрати на генерацію котельної пари та знизити вартість кінцевого продукту паротурбінної установки приблизно на 51 %. Одержано оцінку вартості одиниці кількості витраченої котельної пари на тону продукту та на питому вартість пари.

Ключові слова: конденсаційна установка, парова турбіна, рідинно-паровий ежектор, рідинно-кільцевий вакуумний насос, ексергетична ефективність, термoeкономічний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263180

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ФАКТОРІВ ТА ВИДУ ТЕПЛОНОСІЯ НА ТЕРМІЧНИЙ ОПІР МІНІАТЮРНИХ ДВОФАЗНИХ ТЕРМОСИФОНІВ (с. 51–59)

В. Ю. Кравець, В. І. Коньшин, Д. І. Гуров, М. В. Воробйов, Є. В. Шевель

Приводяться експериментальні дані повного термічного опору мідних двофазних термосифонів з внутрішніми діаметрами 3 мм, 5 мм і 9 мм, довжиною 700 мм. В якості теплоносіїв використовувалися вода, етанол, метанол і фреон-113. При проведенні дослідження термосифони розташовувалися вертикально. Довжина зони нагріву змінювалася від 45 мм до 200 мм, а довжина зони конденсації була постійною і складала 200 мм. Коефіцієнт заповнення термосифонів змінювався від 0,3 до 2,0. Було проведено дві серії експериментів. Перша серія відрізнялася тим, що коефіцієнт заповнення у трьох термосифонів з внутрішнім діаметром 9 мм змінювався від 0,3 до 0,8 при однаковій довжині зони нагріву 200 мм. Друга серія експериментів проводилася на термосифонах з внутрішніми діаметрами 3 мм та 5 мм. При однаковій кількості теплоносія змінювалася довжина зони нагріву від 45 мм до 200 мм. В результаті досліджень було визначено, що на повний термічний опір термосифонів впливають як їх геометричні фактори (внутрішній діаметр і коефіцієнт заповнення) так і вид теплоносія. Основним фактором, який впливав на значення термічного опору, також був тепловий потік, що передавався. Збільшення теплового потоку приводило до суттєвого зниження термічного опору. Максимальний тепловий потік визначався при мінімальному термічному опорі. Для розрахунку значення термічного опору термосифонів було отримано дві безрозмірні залежності, які справедливі для двох діапазонів чисел Рейнольдса. Для малих чисел Рейнольдса (до 2000), якій характеризує початок дії центрів пароутворення і поступово їх збільшення, показник ступеня був $-0,8$, а для більших чисел Рейнольдса аж до кризових явищ показник ступеня був на рівні $-0,3$.

Ключові слова: мініатюрний термосифон, інтенсивність тепловіддачі, термічний опір, тепловий потік, теплоносії, коефіцієнт заповнення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263374

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОШКОДЖЕНОСТІ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ОБОЛОНКИ ТЕПЛОВИДІЛЮЮЧОГО ЕЛЕМЕНТУ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА (с. 60–70)

П. Ф. Буданов, Е. А. Хом'як, І. Г. Кирисов, К. Ю. Бровко, С. Є. Кальний, О. В. Карпенко

Досліджуються фізичні процеси в структурі матеріалу оболонки тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ), викликані різними ушкоджуючими дефектами, на її зовнішній і внутрішній поверхні і впливають на зміну геометричних параметрів ТВЕЛ ядерного реактора.

Вирішується проблема вдосконалення моделі пошкодженості оболонки ТВЕЛ, з урахуванням структурно-фазових змін у матеріалі оболонки з ушкоджуючими дефектами на зовнішній та внутрішній поверхні, для встановлення фактичного критерію оцінки ступеня герметичності ТВЕЛ.

Запропоновано для дослідження структури матеріалу оболонки з ушкоджуючими дефектами (макропори та мікротріщини), яка є пористою неоднорідною структурою з фрактальними властивостями самоподібності та масштабованості, застосовувати апарат фрактальної геометрії.

Розроблено та запропоновано фізичну модель оболонки ТВЕЛ, у вигляді геометричної фігури циліндроподібної форми, яка дозволяє досліджувати фрактальні властивості структури матеріалу пошкодженої оболонки та їх вплив на зміну геометричних параметрів ТВЕЛ.

Отримано вдосконалену модель пошкоженості оболонки ТВЕЛ, яка дозволяє враховувати фрактальні збільшення геометричних параметрів ТВЕЛ, для встановлених значень фрактальної розмірності.

Експериментальні дослідження оболонки ТВЕЛ, з використанням скін-ефекту, підтвердили теоретичні результати та показали обґрунтованість вибору практичного використання параметра фрактальної розмірності як ефективний критерій оцінки ступеня герметичності оболонки ТВЕЛ. Експериментально встановлено, що величина фрактальної розмірності дорівнює 2,68, відповідає максимальний ступінь пошкодження оболонки для негерметичного ТВЕЛ.

Ключові слова: оболонка теплоділяючого елемента, модель пошкоженості оболонки, фрактальна структура, фрактальна розмірність.