

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235081

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE THERMAL-TECHNOLOGICAL COMPLEX OF SUGAR PRODUCTION: CRITERIA FOR ENERGY EFFICIENCY OF AN ENTERPRISE (p. 6–13)

Sergii Samiilenko

National University of Food Technologies,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2374-4294>

Volodymyr Bondar

National University of Food Technologies,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8106-4174>

Volodymyr Piddubnyi

Kyiv National University of Trade and Economics,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1497-7133>

Olena Bilyk

National University of Food Technologies,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3606-1254>

Vitaliy Shutyuk

National University of Food Technologies,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6480-5890>

Viktor Fedoriv

State Agrarian and Engineering University in Podilia,
Kamianets-Podilskyi, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4499-0910>

A procedure for analyzing the effectiveness of using fuel and energy resources (FER) in sugar production, based on the developed idealized circuit of the thermal-technological complex (TTC) as the base for comparison was presented. This procedure makes it possible to quantify the level of perfection of existing and proposed thermal circuits, as well as the impact of measures for enhancing energy efficiency on their perfection.

By idealizing technological and energy processes, a hypothetical TTC was synthesized, for which the minimum possible energy and entropy characteristics are determined. Under these conditions, the minimum possible heat consumption for the implementation of technological processes according to the classical heat technology circuit was calculated – 118.40 MJ/t; a “minimum” total increase in entropy from irreversible processes of the HTC – 314.68 kJ/(t·K); a minimum complex magnitude of specific consumption of conventional fuel – 0.8 % to m. b.

The determined characteristics are absolute criteria for the efficiency of sugar production systems, since it is impossible to reach lower values under existing technology, quality of raw materials and other conditions. The content of the criteria of energy efficiency of TTC was stated and the system of coefficients was proposed: coefficient of total energy efficiency of the TTC, coefficient of energy efficiency of the system of heat supply of the technological processes and coefficients of energy efficiency of internal and external structures of the TTC. The proposed criteria provide an

objective and thermodynamically correct characteristic of the TTC of different structures.

The presented results of analysis of various measures for increasing the energy efficiency of sugar production show that only a gradual comprehensive reconstruction of an enterprise makes it possible to consistently reduce the FER consumption for technological needs, approaching the boundary values.

Keywords: sugar production, thermodynamic analysis, entropy method, energy efficiency, resource-saving measures.

References

1. Kaushik, S. C., Reddy, V. S., Tyagi, S. K. (2011). Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (4), 1857–1872. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.007>
2. Sama, D. A. (1995). The Use of the Second Law of Thermodynamics in Process Design. *Journal of Energy Resources Technology*, 117 (3), 179–185. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2835338>
3. Taner, T., Sivrioglu, M. (2015). Energy–exergy analysis and optimisation of a model sugar factory in Turkey. *Energy*, 93, 641–654. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.007>
4. Taner, T., Sivrioglu, M. (2015). Data on energy, exergy analysis and optimisation for a sugar factory. *Data in Brief*, 5, 408–410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.09.028>
5. Tekin, T., Bayramoğlu, M. (1998). Exergy Loss Minimization Analysis of Sugar Production Process from Sugar Beet. *Food and Bioproducts Processing*, 76 (3), 149–154. doi: <https://doi.org/10.1205/096030898531963>
6. Vasilenko, S., Samiilenko, S., Bondar, V., Bilyk, O. (2020). Complex thermodynamic analysis of the heat-technological complex of sugar production: analysis method. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (1 (52)), 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.202026>
7. *Metodyky po vyznachenniu normatyvnykh pokaznykyv pytomykh vytrat palyvno-enerhetychnykh resursiv pry pererobtsi tsukrovykh buriakiv* (2006). Kyiv: «Tsukor Ukrainy», 150.
8. Kniaziev, A. O., Filonenko, V. M., Vasilenko, S. M., Petrenko, V. P. (1994). Vytraty tepla i palyva na vyrobnytstvo tsukru: perspektyvni, proektni, realni. *Tsukor Ukrainy*, 1, 8–13.
9. Khrystenko, V. I., Shtanheiev, K. O., Mishchuk, R. Ts. (2000). Vyznachennia ta metodyka rozrakhunku teplovtrata pry saturatsii. *Tsukor Ukrainy*, 2, 14–16.
10. Tovazhnyanskiy, L. L., Kapustenko, P. A., Ul'ev, L. M. (1999). Opredelenie energosberegayushchego potentsiala promyshlennykh predpriyatiy s pomoshch'yu postroyeniya sostavnykh krivykh tekhnologicheskikh potokov. *Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennia*, 1, 14–27.
11. Zagrodskiy, S.; Saponova, R. (Ed.) (1984). *Teplovoe hozyaystvo saharnykh zavodov*. Moscow: Legkaya i pishcheyaya promyshlennost', 128.
12. Vasilenko, S., Samiilenko, S., Bondar, V., Bilyk, O., Mokretskyy, V., Przybylski, W. (2020). Thermodynamic analysis of the thermal-technological complex of sugar production: the energy and entropy characteristics of an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (105)), 24–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205148>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235120

DEVELOPMENT OF SMART GRID TECHNOLOGY TO MAINTAIN THE FUNCTIONING OF PHOTOELECTRIC CHARGING STATIONS (p. 14–24)**Eugene Chaikovskaya**Odessa Polytechnic State University,
Odessa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-2707>

An integrated Smart Grid system has been developed for matching the production and consumption of electric power based on a prediction of changes in the battery capacity. Advanced decisions on the change in power transmission capacity have made it possible to regulate voltage in the distribution system by maintaining the power factor of the photoelectric charging station. Voltages at the input to the hybrid inverter and in the distribution system were measured to assess their ratio. Comprehensive mathematical and logical modeling of the photoelectric charging station was performed based on the mathematical substantiation of architecture and operation maintenance. A dynamic subsystem including such components as mains, a photoelectric module, a hybrid inverter, batteries, a two-way counter Smart Meter and a charger formed the basis of the proposed technological system. Time constants and coefficients of mathematical models of dynamics in terms of estimation of changes in the battery capacity and power factor of the photoelectric charging station were determined. A functional estimate of changes in the battery capacity and power factor of the photoelectric charging station was obtained. Maintenance of voltage in the distribution system was realized based on resulting operation data to estimate a change in the battery capacity. Advanced decision-making has made it possible to raise the power factor of the photoelectric charging station up to 40 % due to matching the electric power production and consumption. Maintenance of operation of the photoelectric charging station using the developed Smart Grid technology has enabled prevention of peak loading of the power system due to a 20 % reduction of power consumption from the network.

Keywords: photoelectric charging station, rechargeable battery, hybrid inverter, two-way counter Smart Meter.

References

- Chaikovskaya, E. (2017). Development of energy-saving technology to support functioning of the lead-acid batteries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (88)), 56–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108578>
- Chaikovskaya, E. (2020). Complex mathematical modeling of heat pump power supply based on wind-solar network electrical system. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1 (56)), 28–33. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.220269>
- Bondarchuk, A. (2017). Development of the graphical-analytical method for calculating electric load at civilian objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (88)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103032>
- Davye, M., Daranith, & Ch., Dae-Hyun, Ch. (2020). Sensitivity analysis of volt-VAR optimization to data changes in distribution networks with distributed energy resources. *Applied Energy*, 261, 114331.
- Xiqiao, L., Yukun, L., Xianhong, B. (2019). Smart grid service evaluation system. *Procedia CIRP*, 83, 440–444. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.138>
- Rostampour, V., Jaxa-Rozen, M., Bloemendal, M., Kwakkel, J., Keviczky, T. (2019). Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) smart grids: Large-scale seasonal energy storage as a distributed energy management solution. *Applied Energy*, 242, 624–639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.110>
- Saad, A. A., Faddel, S., Mohammed, O. (2019). A secured distributed control system for future interconnected smart grids. *Applied Energy*, 243, 57–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.185>
- Ferro, G., Laureri, F., Minciardi, R., Robba, M. (2019). A predictive discrete event approach for the optimal charging of electric vehicles in microgrids. *Control Engineering Practice*, 86, 11–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.02.004>
- Jordán, J., Palanca, J., del Val, E., Julian, V., Botti, V. (2021). Localization of charging stations for electric vehicles using genetic algorithms. *Neurocomputing*, 452, 416–423. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.11.122>
- Jiao, Z., Lu, M., Ran, L., Shen, Z.-J. M. (2020). Infrastructure Planning of Photovoltaic Charging Stations. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3560677>
- Liu, J., Dai, Q. (2020). Portfolio Optimization of Photovoltaic/Battery Energy Storage/Electric Vehicle Charging Stations with Sustainability Perspective Based on Cumulative Prospect Theory and MOPSO. *Sustainability*, 12 (3), 985. doi: <https://doi.org/10.3390/su12030985>
- Zaher, G. K., Shaaban, M. F., Mokhtar, M., Zeineldin, H. H. (2021). Optimal operation of battery exchange stations for electric vehicles. *Electric Power Systems Research*, 192, 106935. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106935>
- Elma, O. (2020). A dynamic charging strategy with hybrid fast charging station for electric vehicles. *Energy*, 202, 117680. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117680>
- Dixon, J., Bell, K. (2020). Electric vehicles: Battery capacity, charger power, access to charging and the impacts on distribution networks. *eTransportation*, 4, 100059. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2020.100059>
- Fathabadi, H. (2020). Novel stand-alone, completely autonomous and renewable energy based charging station for charging plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs). *Applied Energy*, 260, 114194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114194>
- Jia, Y., Liu, X. J. (2014). Distributed model predictive control of wind and solar generation system. *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*. doi: <https://doi.org/10.1109/chicc.2014.6896301>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234125

TWO-WAY FLUID-STRUCTURE INTERACTION STUDY OF TWISTED TAPE INSERT IN A CIRCULAR TUBE HAVING INTEGRAL FINS WITH NANOFUID (p. 25–34)**Mustafa Abdulsalam Mustafa**Al-Rafidain University College, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1821-2824>**Atheer Raheem Abdullah**Al-Rafidain University College, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0385-0778>**Wajeeh Kamal Hasan**Al-Rafidain University College, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1066-1780>**Laith J. Habeeb**University of Technology, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-4432>

Maadh Fawzi Nassar

Universiti Putra Malaysia, Selangor, Malaysia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0643-7337>

This work deals with fluid-structure interaction (FSI), one of the emerging areas of numerical simulation and calculation. This research shows a numerical study investigating heat transfer enhancement and fluid-structure interaction in a circular finned tube by using alumina nanofluid as a working fluid with a typical twisted tape that has a twisting ratio of 1.85. The studied nanofluid volumes of fraction are $\phi=0, 3, 5\%$ under conditions of laminar and turbulent flow. The solution for such problems is based on the relations of continuum mechanics and is mostly done with numerical methods. FSI occurs when the flow of fluid influences the properties of a structure or vice versa. It is a computational challenge to deal with such problems due to complexity in defining the geometries, nature of the interaction between a fluid and solid, intricate physics of fluids and requirements of computational resources. CFD investigations were made based on the numerical finite volume techniques to solve the governing three-dimensional partial differential equations to get the influence of inserted twisted tape and concentration of nanofluid on heat transfer enhancement, friction loss, average Nusselt number, velocity profile, thermal performance factor characteristics, and two-way interaction in a circular tube at laminar and turbulent flow. The governing continuity, momentum and energy transfer equations are solved using Ansys Fluent and Transient Structural. The simulation results show that the deformations of two-way coupling fluctuate from side to side, with 0.004 mm, as maximum amplitude, located at the typical twisted tape center. Heat transfer dissipation improved by adding fins and as Reynolds numbers increase the heat transfer behavior increases.

Keywords: two-way fluid-structure interaction, CFD, nanofluid, typical twisted tape, finned tube.

References

- Johar, G. (2010). Experimental Studies on Heat Transfer Augmentation Using Modified Reduced Width Twisted Tapes (RWTT) as Inserts for Tube Side Flow of Liquids. National Institute of Technology, Rourkela. Available at: [http://ethesis.nitrkl.ac.in/1842/1/Gaurav\(10600023\)_Virendra\(10600006\)_ethesis.pdf](http://ethesis.nitrkl.ac.in/1842/1/Gaurav(10600023)_Virendra(10600006)_ethesis.pdf)
- Bergles, A. E.; Bohsenow, W. M., Hartnett, J. P., Cho, Y. I. (Eds.) (1998). Techniques to augment heat transfer. In "Handbook of Heat Transfer". Ch. 11. McGraw-Hill.
- Manglik, R. M. (2003). Heat transfer enhancement. In Heat Transfer Handbook. Ch. 14. Wiley, 1029–1130. Available at: https://www.academia.edu/13224136/Heat_Transfer_Handbook
- Siddique, M., Khaled, A.-R. A., Abdulhafiz, N. I., Boukhary, A. Y. (2010). Recent Advances in Heat Transfer Enhancements: A Review Report. International Journal of Chemical Engineering, 2010, 1–28. doi: <https://doi.org/10.1155/2010/106461>
- You, L. (2002). Computational Modeling of Laminar Swirl Flows and Heat Transfer in Circular Tubes with Twisted-Tape Inserts. University of Cincinnati, 95. Available at: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_olink/r/1501/10?pp10_etd_subid=79049&clear=10#abstract-files
- Elshafei, E. A. M., Safwat Mohamed, M., Mansour, H., Sakr, M. (2008). Experimental study of heat transfer in pulsating turbulent flow in a pipe. International Journal of Heat and Fluid Flow, 29 (4), 1029–1038. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.03.018>
- Liu, S., Sakr, M. (2013). A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, 64–81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.021>
- Choi, S. U. S. (2008). Nanofluids: A New Field of Scientific Research and Innovative Applications. Heat Transfer Engineering, 29 (5), 429–431. doi: <https://doi.org/10.1080/01457630701850778>
- Pfautsch, E. (2008). Forced Convection in Nanofluids over a Flat Plate. University of Missouri. doi: <https://doi.org/10.32469/10355/5745>
- Usri, N. A. B. (2010). Experimental Study of Heat Transfer Coefficient for Nanofluid with Inserted Tape. Universiti Malaysia Pahang. Available at: [http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/1905/1/Nur_Ashikin_Usri_\(CD_4989_\).pdf](http://umpir.ump.edu.my/id/eprint/1905/1/Nur_Ashikin_Usri_(CD_4989_).pdf)
- Rudiyak, V. Y., Belkin, A. A., Tomilina, E. A. (2010). On the thermal conductivity of nanofluids. Technical Physics Letters, 36 (7), 660–662. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785010070229>
- Saidur, R., Leong, K. Y., Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (3), 1646–1668. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.035>
- Yadav, A. S. (2009). Effect of Half Length Twisted-Tape Turbulators on Heat Transfer and Pressure Drop Characteristics inside a Double Pipe U-Bend Heat Exchanger. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 3 (1), 17–22. Available at: https://www.researchgate.net/publication/237250067_Effect_of_Half_Length_Twisted-Tape_Turbulators_on_Heat_Transfer_and_Pressure_Drop_Characteristics_inside_a_Double_Pipe_U-Bend_Heat_Exchanger
- Habeeb, L. J., Saleh, F. A., Maajel, B. M. (2017). Experimental investigation of laminar convective heat transfer and pressure drop of AL2O3/water nanofluid in circular tube fitted with twisted tape insert. International Journal of Energy Applications and Technologies, 4 (2), 73–86. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/333724>
- Yi-min, H., Yong-shou, L., Bao-hui Li, Yan-jiang, L., Zhu-feng, Y. (2010). Natural frequency analysis of fluid conveying pipeline with different boundary conditions. Nuclear Engineering and Design, 240 (3), 461–467. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2009.11.038>
- Mahmood, N. (2011). Study of the Response of a Conduit Conveying Fluid Due to a Forced Vibration. University of Technology, 198.
- Habeeb, L., Saleh, F., Maajel, B. (2019). CFD modeling of laminar flow and heat transfer utilizing Al2O3/water nanofluid in a finned-tube with twisted tape. FME Transactions, 47 (1), 89–100. doi: <https://doi.org/10.5937/fmet1901089h>
- Buongiorno, J. (2006). Convective Transport in Nanofluids. Journal of Heat Transfer, 128 (3), 240–250. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2150834>
- Wang, X., Xu, X., Choi, S. U. S. (1999). Thermal Conductivity of Nanoparticle - Fluid Mixture. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 13 (4), 474–480. doi: <https://doi.org/10.2514/2.6486>
- ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide (2009). ANSYS, Inc. Available at: https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/main_pre.htm
- Shih, T.-H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., Zhu, J. (1995). A new $k-\epsilon$ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. Computers & Fluids, 24 (3), 227–238. doi: [https://doi.org/10.1016/0045-7930\(94\)00032-t](https://doi.org/10.1016/0045-7930(94)00032-t)
- ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide (2009). ANSYS, Inc. Available at: https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/main_pre.htm

23. Benra, F.-K., Dohmen, H. J., Pei, J., Schuster, S., Wan, B. (2011). A Comparison of One-Way and Two-Way Coupling Methods for Numerical Analysis of Fluid-Structure Interactions. *Journal of Applied Mathematics*, 2011, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1155/2011/853560>
24. Gambill, W. R., Bundy, R. D. (1962). An Evaluation of the Present Status of Swirl-Flow Heat Transfer. ASME Paper No. 62-HT-42, pp. 1–12.
25. Hong, S. W., Bergles, A. E. (1976). Augmentation of Laminar Flow Heat Transfer in Tubes by Means of Twisted-Tape Inserts. *Journal of Heat Transfer*, 98 (2), 251–256. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3450527>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234575

HEAT TRANSFER INTENSITY AT WATER BOILING ON THE SURFACE OF A CAPILLARY STRUCTURE UNDER SUB-ATMOSPHERIC PRESSURE (p. 35–41)

Roman Melnyk

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5893-4063>

Vladimir Kravets

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

Leonid Lipnitskyi

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8874-7923>

Andrii Danylovych

The Ukrainian Scientific and Research Institute
of Special Equipment and Forensic Expertise of the Security
Service of Ukraine (ISEE SSU), Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7002-2032>

This paper considers the effect of structural parameters and saturation pressure on the intensity of heat transfer from boiling on porous structures made of copper metal fibers. The study involved changing the structural and geometric characteristics of porous samples and saturation pressure. The study regime parameters were chosen based on the conditions of operation of steam chambers, namely the horizontal orientation of the work area, the capillary transport of the heat carrier to the work area.

It was determined that reducing saturation pressure from 0.1 MPa to 0.012 MPa leads to a reduction in heat transfer by 15–20 % depending on the parameters of porous structures. This pattern has been explained in this paper by the increased detachable diameters of steam bubbles that thus overlap part of the capillary structure’s vaporization area, which leads to a decrease in the values of the discharged heat flux at the same temperature gradient values.

The influence of values of the porosity and diameters of fibers, which the samples of a capillary structure were made from, was ambiguous. The parameter chosen for generalizing the data obtained was an effective diameter of the samples’ pores, which is a more general characteristic.

The generalization of the experimental data has demonstrated that the efficiency of heat transfer increases with an increase in the effective diameter of pores in the examined range from 20 to 90 μm . Estimation dependences have been built to determine the

intensity of heat transfer under sub-atmospheric pressures for metal-fibrous porous structures at a deviation of up to $\pm 30\%$.

It turned out that the resulting dependences could be used to determine the intensity of heat transfer by the examined powder structures under the sub-atmospheric pressure conditions. Applying these dependences would make it easier to design thermal stabilization systems based on steam chambers.

Keywords: vaporization, heat exchange intensity, capillary structure, saturation pressure, steam chamber.

References

1. Kwark, S. M., Amaya, M., Kumar, R., Moreno, G., You, S. M. (2010). Effects of pressure, orientation, and heater size on pool boiling of water with nanocoated heaters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (23-24), 5199–5208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.07.040>
2. Jamialahmadi, M., Blöchl, R., Müller-Steinhagen, H. (1991). Pool boiling heat transfer to saturated water and refrigerant 113. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 69 (3), 746–754. doi: <https://doi.org/10.1002/cjce.5450690317>
3. Semenic, T., Lin, Y. Y., Catton, I., Sarraf, D. B. (2008). Use of biporous wicks to remove high heat fluxes. *Applied Thermal Engineering*, 28 (4), 278–283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.02.030>
4. Andraka, C. E., Moss, T. A., Baturkin, V., Zaripov, V., Nishchik, O. (2016). High performance felt-metal-wick heat pipe for solar receivers. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4949054>
5. Gerchuni, A. N., Nishchik, A. P. (2017). Hydrodynamic characteristics of metal porous thin fibrous materials for cooling systems of electronic equipment. *Sovremennye informatsionnye i elektronnye tekhnologii*, 1 (18), 39.
6. Kravets, V. Y., Melnyk, R. S., Chervoniuk, A. A., Shevel, Ye. V. (2020). Investigating permeability of metal felt capillary structures of heat pipes for cooling electronics. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 3-4, 47–52. doi: <https://doi.org/10.15222/tkea2020.3-4.47>
7. Kostornov, A. G. (2003). *Materialovedenie dispersnyh i poristykh metallov i splavov*. Vol. 2. Kyiv: Naukova dumka, 550.
8. Kravets, V., Kravets, D. (2013). Capillary structures mechanical properties in respect to functioning conditions in heat pipes. *Technology audit and production reserves*, 1 (1 (9)), 24–28. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.12107>
9. Kravets, V. Yu., 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.
10. Čoso, D., Srinivasan, V., Lu, M.-C., Chang, J.-Y., Majumdar, A. (2012). Enhanced Heat Transfer in Biporous Wicks in the Thin Liquid Film Evaporation and Boiling Regimes. *Journal of Heat Transfer*, 134 (10). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4006106>
11. Wen, R., Xu, S., Lee, Y.-C., Yang, R. (2018). Capillary-driven liquid film boiling heat transfer on hybrid mesh wicking structures. *Nano Energy*, 51, 373–382. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.06.063>
12. Tuz, V. O., Lebed, N. L., Tarasenko, O. M. (2020). Evaporative cooling of the liquid film in slot channels with capillary-porous walls under natural convection. *Thermal Science and Engineering Progress*, 18, 100527. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100527>
13. Tuz, V. O., Lebed, N. L. (2021). Heat and mass transfer during adiabatic fluid boiling in channels of contact exchangers. *Applied*

Thermal Engineering, 185, 116383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116383>

14. Rudenko, A. I., Nishchik, A. P. (1997). Influence of temperature-time heat treatment regimes on operating characteristics of oxide films as applied to copper capillary-porous structures. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 70 (3), 375–378. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02662133>
15. Tolubinskii, V. I., Antonenko, V. A., Kriveshko, A. A., Ostrovskii, Yu. N. (1977). Podavlenie puzyr'kovogo kipeniya v nepodvizhnoy plenke zhidkosti. *Teplofizika vysokih temperatur*, 15 (4), 822–827. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/ebe88e08d-369a5bf4c5109243a87e8e4/tvt7147.pdf>
16. Semena, M. G., Gershuni, A. N., Zarirov, V. K. (1984). *Teplovyte truby s metallovoloknistymi kapillyarnymi strukturami*. Kyiv: Vischa shkola, 214.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234026

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EXERGY EFFICIENCY OF METHODS FOR PROTECTING GAS EXHAUST DUCTS OF BOILER PLANTS (p. 42–49)

Nataliia Fialko

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

Alla Stepanova

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9297-8473>

Raisa Navrodska

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7476-2962>

Svitlana Shevchuk

Institute of Engineering Thermophysics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8046-0039>

This paper reports the results of studying the exergy effectiveness of thermal methods for anti-corrosion protection of the gas-draining tracts of boiler plants. These include the method of mixing heated air into flue gases, the method of passing part of the hot gases of the boiler through the bypass chimney, and a flue gas drying method. The research involved the devised comprehensive procedure based on an exergy approach. The dependences of exergy loss E_{los} and the heat-exergy criterion ε on the following parameters of thermal methods have been established: the amount of heated air N mixed into flue gases, the proportion of bypassed flue gases K , and the amount of dried flue gases R . A comparative analysis of the effectiveness of heat recovery systems when applying the methods considered has been performed. It has been established that for the method of mixing, E_{los} and ε at ambient temperature $t_{en}=10^\circ\text{C}$ demonstrate the lowest values, that is, the efficiency of the system, in this case, is the highest. The most effective, when implementing the bypass method, is the heat recovery system at $t_{en}=10^\circ\text{C}$. Under the method of drying, at all values of the amount of dried flue gases, the loss of exergy is the lowest at $t_{en}=0^\circ\text{C}$. As regards the heat-exergy criterion, at values $R\leq 20\%$, the lowest values of ε are observed at $t_{en}=10^\circ\text{C}$. At $R>20\%$, the lowest values of ε are at $t_{en}=0^\circ\text{C}$. Thus, the efficiency of the system when implementing the method of drying is the highest at $t_{en}=0^\circ\text{C}$ and at the amount of dried air of $R>20\%$. The study reported here would provide the nec-

essary information for designing optimal heat recovery schemes. The development of this study is to establish the relationship between the exergy and environmental efficiency of thermal protection methods in order to further reduce toxic emissions.

Keywords: heat recovery technologies, condensation prevention, exergy analysis methods, exergy efficiency criteria.

References

1. Varnashov, V. V., Kiselyov, K. A., Grebnov, V. S. (2016). A study of operation modes of brick chimneys in operation. *Vestnik IGEU*, 1, 18–26. doi: <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2016.1.018-026>
2. Fialko, N. M., Navrodska, R. O., Shevchuk, S. I., Presich, G. O., Gnedash, G. O. (2017). Heat methods of the gas-escape channels of boiler installations by heat-utilization technologies application. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27 (6), 125–130. doi: <https://doi.org/10.15421/40270625>
3. Maatouk, C., Slim, R. (2014). Exergy and energy analysis of waste heat recovery options for cooling capacity production. 15th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, 1450. Available at: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2449&context=iracc>
4. Naeimi, A., Bidi, M., Ahmadi, M. H., Kumar, R., Sadeghzadeh, M., Alhuyi Nazari, M. (2019). Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation in Tehran cement factory. *Thermal Science and Engineering Progress*, 9, 299–307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.12.007>
5. Mohammadi, A., Ashjari, M. A., Sadreddini, A. (2016). Exergy analysis and optimisation of waste heat recovery systems for cement plants. *International Journal of Sustainable Energy*, 37 (2), 115–133. doi: <https://doi.org/10.1080/14786451.2016.1181067>
6. Calise, F., d'Accadia, M. D., Macaluso, A., Piacentino, A., Vanoli, L. (2016). Exergetic and exergoeconomic analysis of a novel hybrid solar-geothermal polygeneration system producing energy and water. *Energy Conversion and Management*, 115, 200–220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.029>
7. Jiang, Y. Y., Zhou, S. X. (2010). Exergy Analysis of Boiler Based on the Temperature Gradient. 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/appec.2010.5449523>
8. Ameri, M., Ahmadi, P., Hamidi, A. (2009). Energy, exergy and exergoeconomic analysis of a steam power plant: A case study. *International Journal of Energy Research*, 33 (5), 499–512. doi: <https://doi.org/10.1002/er.1495>
9. Fialko, N., Stepanova, A., Navrodska, R., Novakovskiy, M. (2020). Arget functions of optimization of heat recovery systems. *International scientific journal «Internauka»*, 1 (3 (83)), 23–27. Available at: <https://www.inter-nauka.com/issues/2020/3/5654>
10. Calise, F., Libertini, L., Vicidomini, M. (2016). Exergetic Analysis of a Novel Solar Cooling System for Combined Cycle Power Plants. *Entropy*, 18 (10), 356. doi: <https://doi.org/10.3390/e18100356>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235837

DEVELOPMENT OF EVOLUTIONARY SEARCH ALGORITHMS WITH BINARY CHOICE RELATIONS WHEN MAKING DECISIONS FOR PELLET TUBULAR HEATERS (p. 50–59)

Vyacheslav Irodov

Private Higher Educational Institution "Dnipro Technological University "STEP", Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8772-9862>

Maksym Shaptala

Private Higher Educational Institution
"Dnipro Technological University "STEP", Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1235-1073>

Kostiantyn Dudkin

Limited Liability Company "KV–Automation",
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5361-2981>

Daria Shaptala

Private Higher Educational Institution
"Dnipro Technological University "STEP", Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1045-0801>

Halyna Prokofieva

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering
and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4964-5785>

A study was carried out and the optimization process was carried out for one of the types of equipment for autonomous heat supply using renewable resources – a tubular pellet heater. The research is expedient, since there is no mathematical model of the unit operation for the pellet combustion unit, there is only a set of experimental results indicating the inconsistency of the criteria presented to it. As a result of the research, new algorithms have been obtained: firstly, an algorithm for selecting (multi-criteria optimization) the operating mode of the unit for burning pellets of tubular heaters, and secondly, algorithms for choosing, according to several criteria, the parameters of the heat exchange unit of a tubular heater with a screen. A set of algorithms for multicriteria optimization with binary selection ratios has been developed for tubular pellet heaters in full, including a pellet combustion unit and a heat exchange unit. Selection functions have been defined for a pellet combustion unit using dimensionless complexes based on experimental results. For a block of a tubular heat exchanger with a screen, a selection function is built taking into account the criteria of functioning and a mathematical model of the heater in the form of a system of nonlinear ordinary differential equations. The practical significance of the algorithm for selecting the operating mode for the pellet combustion unit lies in the possibility of obtaining the most preferable (optimal, taking into account many criteria) parameters in the entire range of permissible parameters, and not only among the experiments carried out. The practical significance of optimization algorithms for a heat exchange unit lies in the ability to select specific parameter values during design – the thermal power of the heater, air flow, the length of the tubular part and the screen, their diameters, taking into account several selection criteria.

Keywords: pellet heater, decision making, multiple criteria, selection function, evolutionary search.

References

- Fred, J. P. (1962). Selection and Application of Overhead Gas–Fired Infrared Heating Devices. *ASHAE Journal*, 4 (10), 62–66.
- Norman, A. (1989). Application of Radiant Heating Saves Energy. *ASHRAE Journal*, 31, 17–26.
- US Army Corp of Engineers Construction (1992). Issues in the Design of Infrared Radiant Heating Systems. Engineering Research Laboratory, AD–A261 610 USACERL Technical Report FE–93/06, 165.
- Herschel, W. (2011). Infrared handbook. Roberts–Gordon LLC, 93. Available at: http://www.rg-cloud.com/RG/manuals/Infrared_Handbook_RG.pdf
- Irodov, V. F., Khatskevych, Yu. V., Chornomorets, H. Y. (2017). Development of technical decisions for heat supply with tubular gas heaters. *Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 5, 29–35. Available at: <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/129204>
- Irodov, V. F., Barsuk, R. V., Chornomorets, G. Y., Chernoyvan, A. A. (2021). Experimental Simulation and Multiobjective Optimization of the Work of a Pellet Burner for a Tubular Gas Heater. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 94 (1), 219–225. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-021-02290-0>
- Irodov, V. F., Dudkin, K. V., Chornomorets, H. Y., Levkovich, O. O. (2018). Algorithm for calculation of heat and hydraulic operating modes for tube gas heaters with protective screen. *Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 6, 51–56. doi: <https://doi.org/10.30838/j.bsacea.2312.261218.51.447>
- Fishburn, P. C. (1976). Representable Choice Functions. *Econometrica*, 44 (5), 1033. doi: <https://doi.org/10.2307/1911543>
- Ayzerman, M. A., Aleskerov, F. T. (1990). *Vybor variantov: osnovy teorii*. Moscow: Nauka, 240. Available at: <https://ua1lib.org/book/2720775/09f8cc?id=2720775&secret=09f8cc>
- Aizerman, M. A. (1984). Some new problems in the general theory of choice (one line of research). *Autom. Remote Control*, 45 (9), 1103–1135. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrmid=at&paperid=4836&option_lang=eng
- Sholomov, L. A. (2009). Logical methods for design and analysis of choice models. *Applied Discrete Mathematics*, 1 (3), 38–71. doi: <https://doi.org/10.17223/20710410/3/3>
- Lemarchand, L., Massé, D., Rebreyend, P., Håkansson, J. (2018). Multiobjective Optimization for Multimode Transportation Problems. *Advances in Operations Research*, 2018, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/8720643>
- Sagawa, M., Kusuno, N., Aguirre, H., Tanaka, K., Koishi, M. (2017). Evolutionary Multiobjective Optimization including Practically Desirable Solutions. *Advances in Operations Research*, 2017, 1–16. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/9094514>
- Giagkiozis, I., Fleming, P. J. (2014). Pareto Front Estimation for Decision Making. *Evolutionary Computation*, 22 (4), 651–678. doi: https://doi.org/10.1162/evco_a_00128
- Wang, Y., Sun, X. (2018). A Many-Objective Optimization Algorithm Based on Weight Vector Adjustment. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2018, 1–21. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4527968>
- Kolbin, V. V. (2014). Generalized mathematical programming as a decision model. *Applied Mathematical Sciences*, 8, 3469–3476. doi: <https://doi.org/10.12988/ams.2014.44231>
- Luo, N., Lin, W., Huang, P., Chen, J. (2021). An Evolutionary Algorithm with Clustering-Based Assisted Selection Strategy for Multimodal Multiobjective Optimization. *Complexity*, 2021, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/4393818>
- Liu, Y., Yen, G. G., Gong, D. (2019). A Multimodal Multiobjective Evolutionary Algorithm Using Two-Archive and Recombination Strategies. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 23 (4), 660–674. doi: <https://doi.org/10.1109/tevc.2018.2879406>
- Huang, H., Zhang, L., Liu, Z., Sutherland, J. W. (2010). Multi-criteria decision making and uncertainty analysis for materials selection in environmentally conscious design. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52 (5-8), 421–432. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2745-9>
- Cheng, R., Jin, Y., Narukawa, K., Sendhoff, B. (2015). A Multiobjective Evolutionary Algorithm Using Gaussian Process-Based Inverse

- Modeling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 19 (6), 838–856. doi: <https://doi.org/10.1109/tevc.2015.2395073>
21. Chikumbo, O., Goodman, E., Deb, K. (2012). Approximating a multi-dimensional Pareto front for a land use management problem: A modified MOEA with an epigenetic silencing metaphor. 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation. doi: <https://doi.org/10.1109/cec.2012.6256170>
 22. Deb, K., Jain, H. (2014). An Evolutionary Many-Objective Optimization Algorithm Using Reference-Point-Based Nondominated Sorting Approach, Part I: Solving Problems With Box Constraints. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 18 (4), 577–601. doi: <https://doi.org/10.1109/tevc.2013.2281535>
 23. Liu, R., Wang, R., Bian, R., Liu, J., Jiao, L. (2021). A Decomposition-Based Evolutionary Algorithm with Correlative Selection Mechanism for Many-Objective Optimization. *Evolutionary Computation*, 29 (2), 269–304. doi: https://doi.org/10.1162/evco_a_00279
 24. Irodov, V. F., Barsuk, R. V., Chornomorets, H. Y. (2020). Multiobjective Optimization at Evolutionary Search with Binary Choice Relations. *Cybernetics and Systems Analysis*, 56 (3), 449–454. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00260-7>
 25. Irodov, V. F., Barsuk, R. V. (2020). Decision-making during limited number of experiments with multiple criteria. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 200–208. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-20>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231765

DETERMINATION OF THE ELECTRICAL POWER INCREASE AT THE GENERATOR TERMINALS OF A NUCLEAR POWER PLANT UNIT AT DIFFERENT CONDENSER STATES (p. 60–67)

Kateryna Bratkovska

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-9623>

Yuliya Liush

Zaporizhzhia Polytechnic National University,
Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7907-8374>

It is shown that the technical condition of condensing devices of steam turbines largely determines the amount of electricity losses, reliable and economical operation of NPP units. Analysis of the heat transfer process in the condenser showed that the main causes of load reduction are determined by rising cooling water temperature and deviation of steam pressure from normal value. It is shown that among diagnostic parameters except leakage volumes there must be an assessment of contamination of the heat transfer surface which significantly affects the reduction of electricity generation.

The modernization main points of the condenser of the Zaporizhzhia NPP power unit No. 3 on the principle of «block-modular» design developed by PJSC «Turboatom» and the characteristics of the condenser provided by the new design are considered.

To reflect the real mode of operation of the condensing unit, it is proposed to model the contamination of the heat exchange surface and the presence of leakages in the condenser space using the method of thermal calculation of the condenser by iterative methods. It was found that reducing the increase in electricity generation as a result of the effects of the study factors

can partially or even completely absorb the effect of upgrading the condenser plant. It will provide a significant increase in electricity generation with relatively low capital investment compared to construction of new NPP power units and improve the accuracy of power generation forecasts.

Keywords: thermal calculation of NPP condenser, air leakage, contamination, increase of electric power.

References

1. Aronson, K. E., Blinkov, S. N., Brezgin, V. I., Brodov, Yu. M., Kuptsov, V. K., Larionov, I. D. et. al. (2015). *Teploobmenniki energeticheskikh ustanovok*. Ekaterinburg: UrFU. Available at: <https://openu.edu.urfu.ru/files/book/index.html>
2. Dikumar, Yu., Reznik, O. (2019). *Zamina kondensatoriv turbin na YuUAES: zaplanovane v dalosia*. South-Ukraine NPP. Available at: <https://www.sunpp.mk.ua/ru/publications/8318/>
3. Moore, W. (2017). Power station condensers their design and failure modes. *Materials at High Temperatures*, 34 (5-6), 407–414. doi: <https://doi.org/10.1080/09603409.2017.1370191>
4. Egorov, M. Y. (2018). Methods of Heat-Exchange Intensification in NPP Equipment. *Atomic Energy*, 124 (6), 403–407. doi: <https://doi.org/10.1007/s10512-018-0430-5>
5. Khan, A. H., Islam, M. S. (2020). A New Algorithm for a Condenser Design for Large-Scale Nuclear Power Plants in Tropical Region. *Journal of Thermal Science*, 29 (5), 1370–1389. doi: <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1270-x>
6. Uss, A. N., Patsiuk, S. T., Panchenko, A. V., Shavlakov, A. V., Kharlampidi, D. Kh. (2018). New Generation ‘Block-Modular’ Condenser for K-1000-60/1500-2 Turbine Units in Zaporozhskaya NPP. *Journal of Mechanical Engineering*, 21 (1), 4–10. doi: <https://doi.org/10.15407/pmach2018.01.004>
7. Yang, J., Zhang, R., Bai, W. (2017). Sensitivity Analysis for Cold End System Optimization of a Nuclear Power Plant. *Proceedings of The 20th Pacific Basin Nuclear Conference*, 911–922. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2311-8_85
8. Torres, C., Valero, A., Rangel, V., Zaleta, A. (2008). On the cost formation process of the residues. *Energy*, 33 (2), 144–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.06.007>
9. Zhi, C., Li, Y., Ke, H., Kai, X. (2020). Optimal design of a nuclear power plant condenser control system based on multi-objective optimization algorithm. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 35 (2), 95–102. doi: <https://doi.org/10.2298/ntrp2002095z>
10. Torres, C., Valero, A., Serra, L., Royo, J. (2002). Structural theory and thermoeconomic diagnosis: Part I. On malfunction and dysfunction analysis. *Energy Conversion and Management*, 43 (9-12), 1503–1518. doi: [https://doi.org/10.1016/s0196-8904\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/s0196-8904(02)00032-8)
11. Valero, A., Correas, L., Zaleta, A., Lazzaretto, A., Verda, V., Reini, M., Rangel, V. (2004). On the thermoeconomic approach to the diagnosis of energy system malfunctions: Part 2. Malfunction definitions and assessment. *Energy*, 29 (12-15), 1889–1907. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.008>
12. Piacentino, A., Cardona, F. (2010). Scope-Oriented Thermoeconomic analysis of energy systems. Part I: Looking for a non-postulated cost accounting for the dissipative devices of a vapour compression chiller. Is it feasible? *Applied Energy*, 87 (3), 943–956. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.025>
13. Tapia, C. F., Moran, M. J. (1986). *Computer-Aided Design and Optimization of Heat Exchangers*. *Optimization ASME*, 1, 99–103.
14. Hepbasli, A. (2008). A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12 (3), 593–661. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.001>

15. Bykova, T. (2011). Renovation of thermal power plants and nuclear power plants by diagnosis low potential complexes. Energy saving. Power engineering. Energy audit, 7 (89), 53–58. Available at: <http://eee.khpi.edu.ua/article/view/21891>
16. Gong, M., Peng, M., Zhu, H. (2019). Research of parameter distributing simulation and modeling for the condenser in nuclear power plant. Annals of Nuclear Energy, 133, 313–326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.05.030>
17. Wu, P., Liu, X.-K., Peng, M.-J. (2014). Modeling and simulation of nuclear power plant condenser. Atomic Energy Science and Technology, 48 (1), 92–98. doi: <https://dx.doi.org/10.7538/yzk.2014.48.01.0092>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233270

DETERMINING THE EFFECT OF STATOR GROOVE GEOMETRY IN A TRACTION SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS ON THE SAW-SHAPED ELECTROMAGNETIC MOMENT LEVEL (p. 68–74)

Borys Liubarskyi

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2985-7345>

Ievgen Riabov

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-514X>

Dmytro Iakunin

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-3162>

Oksana Dubinina

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6928-0325>

Oleh Nikonov

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8878-4318>

Vasily Domansky

Rostov State Transport University (RSTU),
Rostov-on-Don, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6697-4631>

This paper reports the model of a magnetic field of the synchronous reluctance motor with permanent magnets that was developed on the basis of a finite-element method. The model was implemented in the FEMM finite-element analysis programming environment involving the application of the Lua-based script. The model makes it possible to determine the dependence of the engine's electromagnetic moment on the rotor rotation angle.

Determining the level of a saw-shaped moment is important for assessing its harmful effect on the structural elements of the traction motor and the drive in general.

The results of digital modeling have established the dependences of the electromagnetic moment on the rotor rotation angle. The moment has a variable component – the saw-shaped moment,

whose amplitude for open grooves under a rated load mode is 182 Nm, and for semi-open grooves – 90 Nm.

The use of semi-open grooves exerts a positive effect on eliminating the saw-shaped moment in a synchronous reluctance motor with permanent magnets and may be recommended for further application on engines of this type. Semi-open grooves reduce the opening of the stator groove by 2 times and lead to a smoother flux distribution under the gear division. That reduces the oscillations of the main magnetic flux. The proposed application of semi-open stator grooves makes it possible to reduce by more than 2 times the level of a saw-shaped moment of the synchronous reluctance motor with permanent magnets under a rated mode.

It has been determined that a rather positive factor is an increase of 4.8 % in the average motor moment value under a rated mode when using semi-open grooves. This is due to a decrease in the average value of magnetic resistance to the main magnetic flux. Therefore, with a simultaneous decrease in the moment's fluctuations, the transition to semi-open grooves makes it possible to improve the mass-dimensional indicators of the motor in general.

Keywords: synchronous reluctance motor with permanent magnets, saw-shaped moment, finite-element method, stator groove.

References

1. Luvishis, A. L. (2017). Asinhronniy privod: nachalo puti. Lokomotiv, 1 (721), 44–46.
2. Luvishis, A. L. (2018). Novye lokomotivy zheleznih dorog SShA. Zheleznodorozhnyi transport, 8, 70–77.
3. Liubarskyi, B., Demydov, A., Yeritsyan, B., Nuriiev, R., Iakunin, D. (2018). Determining electrical losses of the traction drive of electric train based on a synchronous motor with excitation from permanent magnets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 29–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127936>
4. Basov, H. H., Yatsko, S. I. (2005). Rozvytok elektrychnoho motorvahonnoho rukhomoho skladu. Ch. 2. Kharkiv: «Apeks+», 248.
5. Bezruchenko, V. M., Varchenko, V. K., Chumak, V. V. (2003). Tiahovi elektrychni mashyny elektrorukhomoho skladu. Dnipropetrovsk: DNUZT, 252.
6. Liubarskyi, B. G., Overianova, L. V., Riabov, I. S., Iakunin, D. I., Ostroverkh, O. O., Voronin, Y. V. (2021). Estimation of the main dimensions of the traction permanent magnet-assisted synchronous reluctance motor. Electrical Engineering & Electromechanics, 2, 3–8. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2021.2.01>
7. Stipetic, S., Zarko, D., Kovacic, M. (2016). Optimised design of permanent magnet assisted synchronous reluctance motor series using combined analytical–finite element analysis based approach. IET Electric Power Applications, 10 (5), 330–338. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2015.0245>
8. Viego-Felipe, P. R., Gómez-Sarduy, J. R., Sousa-Santos, V., Quispe-Oqueña, E. C. (2018). Motores sincrónicos de reluctancia asistidos por iman permanente: Un nuevo avance en el desarrollo de los motores eléctricos. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 19 (3), 269–279. doi: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n3.023>
9. Moghaddam, R.-R. (2011). Synchronous Reluctance Machine (SynRM) in Variable Speed Drives (VSD) Applications. Theoretical and Experimental Reevaluation. Stockholm, 260. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:417890/FULLTEXT01.pdf>
10. Wu, W., Zhu, X., Quan, L., Du, Y., Xiang, Z., Zhu, X. (2018). Design and Analysis of a Hybrid Permanent Magnet Assisted Synchronous

Reluctance Motor Considering Magnetic Saliency and PM Usage. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 28 (3), 1–6. doi: <https://doi.org/10.1109/tasc.2017.2775584>

11. Uspensky, B., Avramov, K., Liubarskyi, B., Andrieiev, Y., Nikonov, O. (2019). Nonlinear torsional vibrations of electromechanical coupling of diesel engine gear system and electric generator. *Journal of Sound and Vibration*, 460, 114877. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.114877>
12. Mohd Jamil, M. L., Zolkapli, Z. Z., Jidin, A., Raja Othman, R. N. F., Sutikno, T. (2015). Electromagnetic Performance due to Tooth-tip Design in Fractional-slot PM Brushless Machines. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 6 (4), 860. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v6.i4.pp860-868>
13. Viego, P. R., Gómez, J. R., Sousa, V., Yanes, J. P. M., Quispe, E. C. (2021). Reducing torque pulsations in PMA-SynRM: a way for improving motor performance. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 12 (1), 67. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v12.i1.pp67-79>
14. Kolehmainen, J. (2010). Synchronous Reluctance Motor With Form Blocked Rotor. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25 (2), 450–456. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2009.2038579>
15. Wang, A., Li, D. (2020). Influence of unequal stator tooth width on the performance of outer-rotor permanent magnet machines. *Open Physics*, 18 (1), 432–438. doi: <https://doi.org/10.1515/phys-2020-0175>
16. Kostenko, I. (2018). Improvement of the method of calculation of mechanical characteristics of a traction motor of direct current with combined excitation. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (42)), 4–10. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.141384>
17. Sezen, S., Karakas, E., Yilmaz, K., Ayaz, M. (2016). Finite element modeling and control of a high-power SRM for hybrid electric vehicle. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 62, 49–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.01.006>
18. Sil'vester, P., Ferrari, R. (1986). *Metod konechnyh elementov dlya radioinzhenerov i inzhenerov-elektrikov*. Moscow: Mir, 232.
19. Meeker, D. (2015). *Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual*. Available at: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235882

DEVELOPMENT OF A SOLAR ELEMENT MODEL USING THE METHOD OF FRACTAL GEOMETRY THEORY (p. 75–89)

Pavlo Budanov

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1542-9390>

Ihor Kyrsov

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0214-8880>

Kostiantyn Brovko

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9669-9316>

Dmytro Rudenko

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0561-4194>

Pavlo Vasiuchenko

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4850-1288>

Andrii Nosyk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4171-1875>

It is shown that in the existing models of the solar cell, assumptions were made about the ideally smooth surface topography, which had a significant impact on the calculation of the output parameters. It is proposed to take into account the real working area of the receiving surface of the solar cell to improve the accuracy, linearity and stability of the current-voltage characteristics. A geometric model of the structure of the receiving surface of a solar cell has been developed, which describes and takes into account geometric changes in the structure of a semiconductor conducting layer, in the presence of damaging defects in the form of local inhomogeneities, micropores and macrocracks. It was found that the receiving surface with damaging defects is a porous inhomogeneous structure and has fractal properties: self-similarity, invariance, scalability. It is proposed to determine the real working area, to use the method of the theory of fractal geometry and, as an effective quantitative parameter for assessing the change in fractal structure, to choose the value of the fractal dimension. The obtained analytical expressions for the improved model establish the relationship between the output parameters and determine the degree of filling of the current-voltage characteristic for the output power and efficiency. The computational experiment showed that the real area can be much less than the geometric area of the topological relief and is quantitatively related to the change in fractal dimension in the range from 2.31 to 2.63. The obtained data on the real area, when solving analytical expressions for the solar cell model, play an important role in ensuring the stability and linearity of the current-voltage characteristic, increasing its accuracy up to 5 %.

Keywords: solar cell model, sensing surface of a photoelectric converter, fractal dimension of the structure.

References

1. Kurtz, S., Haegel, N., Sinton, R., Margolis, R. (2017). A new era for solar. *Nature Photonics*, 11 (1), 3–5. doi: <http://doi.org/10.1038/nphoton.2016.232>
2. Ibrahim, A. (2011). Effect of Shadow and Dust on the Performance of Silicon Solar Cell. *Journal of Basic and Applied Sciences Research*, 1 (3), 222–230. Available at: https://www.researchgate.net/profile/A-Ibrahim/publication/267971484_Effect_of_Shadow_and_Dust_on_the_Performance_of_Silicon_Solar_Cell/links/54db59660cf233119bc5ef7d/Effect-of-Shadow-and-Dust-on-the-Performance-of-Silicon-Solar-Cell.pdf
3. Alharbi, F. H., Kais, S. (2015). Theoretical limits of photovoltaics efficiency and possible improvements by intuitive approaches learned from photosynthesis and quantum coherence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1073–1089. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.101>
4. Kozyukov, D. A., Tsygankov, B. K. (2015). Modelirovanie kharakteristik fotoelektricheskikh moduley v MATLAB/Simulink. *Nauchniy zhurnal KubGAU*, 112 (8), 1–16. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-harakteristik-fotoelektricheskikh-moduley-v-matlab-simulink>
5. Siddiqui, M. U., Abido, M. (2013). Parameter estimation for five- and seven-parameter photovoltaic electrical models using evolution-

- ary algorithms. *Applied Soft Computing*, 13 (12), 4608–4621. doi: <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.07.005>
6. Ruby, N., Jayabarathi, R. (2017). Predicting the Power Output of a Grid-Connected Solar Panel Using Multi-Input Support Vector Regression. *Procedia Computer Science*, 115, 723–730. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.143>
 7. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoudi, A. (2012). MATLAB/Simulink Modelling of Solar Photovoltaic Cell. *International Journal of Renewable Energy Research*, 2 (2), 213–218. Available at: https://www.researchgate.net/publication/258913169_MATLAB-Simulink_Based_Modelling_of_Solar_Photovoltaic_Cell
 8. Malik, K., Bhatti, B. A., Kamran, F. (2016). An approach to predict output of PV panels using weather corrected global irradiance. *IEEE International Conference on Intelligent Systems Engineering*, 111–117. doi: <http://doi.org/10.1109/intelse.2016.7475171>
 9. Ivanchura, V. I., Chubar, A. V., Post, S. S. (2012). Energy Prototypes of Units in Autonomous Power Supply Systems. *Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii*, 2, 179–190. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskie-modeli-elementov-avtonomnyh-sistem-elektropitaniya/viewer>
 10. Nguyen, X. H., Nguyen, M. P. (2015). Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in MATLAB/Simulink. *Environmental Systems Research*, 4 (24), 7–22. doi: <http://doi.org/10.1186/s40068-015-0047-9>
 11. Wang, Z., He, L., Cheng, X., He, J. (2014). Method for short-term photovoltaic generation power prediction base on weather patterns. *IEEE China International Conference on Electricity Distribution*, 213–215. doi: <http://doi.org/10.1109/ciced.2014.6991696>
 12. Elbaset, A. A., Ali, H., Abd-El Sattar, M. (2014). Novel seven-parameter model for photovoltaic modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 130, 442–455. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.07.016>
 13. Ahmad, A. (2013). A simple method to extract the parameters of the single-diode model of a PV system. *Turkish Journal of Physics*, 37, 121–131. Available at: https://www.academia.edu/7441877/A_simple_method_to_extract_the_parameters_of_the_single_diode_model_of_a_PV_system
 14. Koval, O. S., Tivanov, M. S. (2012). Opređenje parametrov solnechnogo elementa iz ego volt-ampernoy kharakteristiki. *Vestnik BGU*, 1 (2), 39–44. Available at: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/44192/1/39-44.pdf>
 15. Feder, E. (2014). *Fraktaly*. Moscow: URSS: Lenand, 256. Available at: <http://www.prometeus.nsc.ru/acquisitions/15-04-14/cont01.ssi>
 16. Balkhanov, V. K. (2013). *Osnovy fraktalnoy geometrii i fraktalnogo ischisleniya*. Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo gosuniversiteta, 224. Available at: <http://ipms.bsnet.ru/publications/src/2013/FractGeomet.pdf>
 17. 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>
 18. Mandelbrot, B. (2010). *Fraktalnaya geometriya prirody*. Izhevskiy institut kompyuternykh issledovaniy, NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 656.
 19. Zinovev, V. V., Beltyukov, A. P., Bartenev, O. A. (2016). Matematicheskaya model fotoelektricheskogo preobrazovatelya s ispolzovaniem W-funktsii Lamberta. *Izvestiya Instituta matematiki i informatiki*, 2 (48), 22–30.
 20. Slipchenko, N. I. (2011). Eksperimentalnye issledovaniya kharakteristik solnechnoy paneli KV 150/24(12) v zimmikh usloviyakh. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta «KHPi»*. Temat. vyp.: Novye resheniya v sovremennykh tekhnologiyakh, 24, 86–92. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/12877>
 21. Said, S., Massoud, A., Benammar, M., Ahmed, S. (2012). A matlab/simulink based photovoltaic array model employing simpowersystems toolbox. *Journal of Energy and Power Engineering*, 6, 1965–1975. Available at: https://www.researchgate.net/publication/285027675_A_matlab-simulink_based_photovoltaic_array_model_employing_simpowersystems_toolbox
 22. Savrasov, F. V., Kovalev, I. K. (2012). Issledovanie effektivnosti raboty solnechnoy batarei v polevykh usloviyakh. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 321 (4), 165–168. Available at: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/4482>
 23. Lunin, L. S., Paschenko, A. S. (2011). Modelirovanie i issledovanie kharakteristik fotoelektricheskikh preobrazovatelye na osnove GaAs i GaSb. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 81, 71–76. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20325216>
 24. Cotfas, D. T., Cotfas, P. A., Kaplanis, S. (2013). Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 588–596. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.017>
 25. Rudenko, D. V., Vasyuchenko, P. V. (2019). Modeling of physical processes of the solar photovoltaic. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu im. V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*, 30 (69), 42–47.
 26. Kolosov, R. V. (2019). Modelling of solar panels. *Intellektualnaya elektrotehnika*, 2 (6), 85–93.
 27. Laudani, A., Riganti Fulginei, F., Salvini, A. (2014). High performing extraction procedure for the one-diode model of a photovoltaic panel from experimental I–V curves by using reduced forms. *Solar Energy*, 103, 316–326. doi: <http://doi.org/10.1016/j.solener.2014.02.014>
 28. Lineykin, S., Averbukh, M., Kuperman, A. (2014). An improved approach to extract the single-diode equivalent circuit parameters of a photovoltaic cell/panel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 282–289. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.015>
 29. Dongue, S. B., Njomo, D., Tamba, J. G., Ebengai, L. (2012). Modeling of Electrical Response of Illuminated Crystalline Photovoltaic Modules Using Four- and Five-Parameter Models. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2, 612–619.
 30. Cubas, J., Pindado, S., Victoria, M. (2014). On the analytical approach for modeling photovoltaic systems behavior. *Journal of Power Sources*, 247, 467–474. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.09.008>
 31. Peng, L., Sun, Y., Meng, Z., Wang, Y., Xu, Y. (2013). A new method for determining the characteristics of solar cells. *Journal of Power Sources*, 227, 131–136. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.07.061>
 32. Orioli, A., Di Gangi, A. (2013). A procedure to calculate the five-parameter model of crystalline silicon photovoltaic modules on the basis of the tabular performance data. *Applied Energy*, 102, 1160–1177. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.036>
 33. Seifi, M., Che Soh, A. Bt., Izzrib, N., Wahab Abd., Khair, M., Hassan, B. (2013). A Comparative Study of PV Models in Matlab/Simulink. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 7 (2), 97–102.
 34. Cubas, J., Pindado, S., de Manuel, C. (2014). Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical For-

- mulation and the Lambert W-Function. *Energies*, 7 (7), 4098–4115. doi: <http://doi.org/10.3390/en7074098>
35. Cucchiella, E., D'Adamo, I., Gastaldi, M. (2016). A profitability assessment of small-scale photovoltaic systems in an electricity market without subsidies. *Energy Conversion and Management*, 129, 62–74. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.075>
 36. Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Filho, E. R. (2009). Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24 (5), 1198–1208. doi: <http://doi.org/10.1109/tpel.2009.2013862>
 37. Stanly, L. S., Divya, R., Nair, M. G. (2015). Grid connected solar photovoltaic system with Shunt Active Filtering capability under transient load conditions. *IEEE International Conference on Advancements in Power and Energy*, 345–350. doi: <http://doi.org/10.1109/tapenergy.2015.7229643>
 38. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoundi, A. (2012). MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. *International Journal of Renewable energy research*, 2, 213–218.
 39. Patil Sahebrao, N., Prasad, R. C. (2014). Design and simulation of MPPT algorithm for solar energy system using Simulink model. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 2 (1), 37–40. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/DESIGN-AND-SIMULATION-OF-MPPT-ALGORITHM-FOR-SOLAR-Sahebrao-Prasad/69aec92f9308bc20f0771649c81f854e8907adba>
 40. Surya Kumari, J., Sai Babu, Ch. (2012). Mathematical Modelling and Simulation of Photovoltaic Cell Using MATLAB/Simulink Environment and PLECS Blockset. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2 (1), 26–34. doi: <http://doi.org/10.11591/ijece.v2i1.117>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235081

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА: КРИТЕРІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА (с. 6–13)

С. М. Самійленко, В. І. Бондар, В. А. Піддубний, В. В. Шутьок, О. А. Білик, В. Ф. Федорів

Представлено методику аналізу ефективності використання паливно енергетичних ресурсів (ПЕР) у цукровому виробництві, що базується на використанні як бази порівняння розробленої ідеалізованої схеми теплотехнологічного комплексу (ТТК). Така методика дозволяє кількісно оцінювати рівень досконалості існуючих та запропонованих теплових схем, а також вплив на їх досконалість заходів з підвищення енергетичної ефективності.

Шляхом ідеалізації технологічних та енергетичних процесів синтезовано гіпотетичний ТТК, для якого визначено мінімально можливі енергетичні та ентропійні характеристики. За даних умов розраховано мінімально можливу витрату теплоти на реалізацію технологічних процесів за класичною теплотехнологічною схемою – 118,40 Мдж/т; «мінімальне» загальне зростання ентропії від необоротності процесів ТТК – 314,68 кДж/(т·К); мінімальну комплексну величину питомих витрат умовного палива – 0,8 % до м. б.

Визначені характеристики є абсолютними критеріями ефективності систем цукрового виробництва, оскільки за існуючою технологією, якістю сировини та інших умов досягти менших значень практично неможливо. Також сформульовано зміст критеріїв енергетичної ефективності ТТК й запропонована система коефіцієнтів: коефіцієнт загальної енергетичної ефективності ТТК, коефіцієнт енергетичної ефективності системи теплопостачання технологічних процесів і коефіцієнти енергетичної ефективності внутрішньої та зовнішньої структур ТТК. Запропоновані критерії забезпечують об'єктивну та термодинамічно коректну характеристику ТТК різної структури.

Представлені результати аналізу різних заходів з підвищення енергетичної ефективності цукрового виробництва показують, що лише поетапна комплексна реконструкція підприємства дозволяє послідовно зменшувати витрату ПЕР на технологічні потреби, наближаючись до граничних значень.

Ключові слова: цукрове виробництво, термодинамічний аналіз, ентропійний метод, енергетична ефективність, ресурсозбережні заходи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235120

РОЗРОБКА SMART GRID ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ (с. 14–24)

Є. Є. Чайковська

Розроблено інтегровану Smart Grid систему узгодження виробництва та споживання електричної енергії на основі прогнозування зміни ємності акумуляторної батареї. Прийняття випереджувачих рішень на зміну потужності передачі електричної енергії до мережі дозволяє регулювати напругу в розподільчій системі, підтримуючи коефіцієнт потужності фотоелектричної зарядної станції. Відбувається вимірювання напруги на вході в гібридний інвертор та напруги в розподільчій системі щодо оцінки їх співвідношення. Виконано комплексне математичне та логічне моделювання фотоелектричної зарядної станції, що базується на математичному обґрунтуванні архітектури та математичному обґрунтуванні підтримки функціонування. Основою запропонованої технологічної системи є динамічна підсистема, що включає наступні складові: електромережу, фотоелектричний модуль, гібридний інвертор, акумуляторні батареї, двоходовий лічильник Smart Meter, зарядний пристрій. Визначено постійні часу та коефіцієнти математичних моделей динаміки щодо оцінки зміни ємності акумуляторної батареї, коефіцієнта потужності фотоелектричної зарядної станції. Здобуто функціональну оцінку зміни ємності акумуляторної батареї, коефіцієнта потужності фотоелектричної зарядної станції. Підтримка напруги в розподільчій системі відбувається на основі підсумкової функціональної інформації щодо оцінки зміни ємності акумуляторної батареї. Прийняття випереджувачих рішень дозволяє збільшити коефіцієнт потужності фотоелектричної зарядної станції до 40 % щодо узгодження виробництва та споживання енергії. Підтримка функціонування фотоелектричної зарядної станції з використанням розробленої Smart Grid технології дозволяє запобігти піковому навантаженню енергетичної системи, зменшивши споживання електричної енергії від мережі до 20 %.

Ключові слова: фотоелектрична зарядна станція, фотоелектрична зарядна станція, акумуляторна батарея, гібридний інвертор, двоходовий лічильник Smart Meter.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234125

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОСТОРОННЬОЇ ВЗАЄМОДІЇ РІДИНИ З КОНСТРУКЦІЄЮ СКРУЧЕНОЇ СТРИЧКОВОЇ ВСТАВКИ В КРУГЛІЙ ТРУБІ З ЛИТИМИ РЕБРАМИ З НАНОРІДИНОЮ (с. 25–34)

Mustafa Abdulsalam Mustafa, Atheer Raheem Abdullah, Wajeeh Kamal Hasan, Laith J. Habeeb, Maadh Fawzi Nassar

Дана робота присвячена взаємодії рідини з конструкцією (FSI), однією з нових областей чисельного моделювання та розрахунків. Представлено чисельне дослідження інтенсифікації теплообміну і взаємодії рідини з конструкцією в круглій обрешітій трубі

з використанням нанорідини на основі оксиду алюмінію в якості робочого середовища і типової скрученої стрічки з коефіцієнтом скручування 1,85. Досліджувані об'ємні частки нанорідини становлять $\phi=0,3, 5\%$ в умовах ламінарної і турбулентної течії. Рішення таких задач засноване на співвідношеннях механіки суцільних середовищ і в основному здійснюється чисельними методами. FSI виникає, коли потік рідини впливає на властивості конструкції або навпаки. Рішення таких завдань є складним з точки зору обчислень через складність визначення геометрії, характеру взаємодії рідини з твердим тілом, складної фізики рідин і вимог до обчислювальних ресурсів. Для визначення впливу скрученої стрічкової вставки і концентрації нанорідини на інтенсифікацію теплообміну, втрати на тертя, середнє число Нуссельта, профіль швидкості, характеристики теплопродуктивності і двосторонню взаємодію в круглій трубі при ламінарній і турбулентній течії проведені дослідження в області обчислювальної гідродинаміки на основі чисельних методів кінцевого об'єму для вирішення основних тривимірних рівнянь в частинних похідних. З використанням продуктів Ansys Fluent і Transient Structural вирішені основні рівняння неперервності, переносу імпульсу і енергії. Результати моделювання показують, що деформації двостороннього з'єднання коливаються з боку в бік з максимальною амплітудою 0,004 мм, розташованою в центрі типової скрученої стрічки. За рахунок додавання ребер підвищується розсіювання теплопередачі, і режим теплопередачі збільшується в міру збільшення чисел Рейнольдса.

Ключові слова: двостороння взаємодія рідини з конструкцією, CFD, нанорідина, типова скручена стрічка, оребрена труба.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234575

ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ КИПІННІ ВОДИ НА ПОВЕРХНІ КАПІЛЯРНОЇ СТРУКТУРИ В УМОВАХ СУБАТМОСФЕРНОГО ТИСКУ (с. 35–41)

Р. С. Мельник, В. Ю. Кравець, Л. В. Ліпницький, А. О. Данилович

Розглянуто вплив структурних параметрів і тиску насичення на інтенсивність тепловіддачі при кипінні на пористих структурах виготовлених з мідних металевих волокон. При проведенні досліджень змінювались структурні та геометричні характеристики пористих зразків та тиск насичення. Режимні параметри проведення досліджень обирались виходячи з умов функціонування парових камер, а саме горизонтальна орієнтація робочої ділянки, капілярний транспорт теплоносія до робочої області.

Було визначено, що зниження тиску насичення з 0,1 МПа до 0,012 МПа призводить до зниження ефективності тепловіддачі на 15–20 % у залежності від параметрів пористих структур. Автори пояснюють цю закономірність збільшенням відривних діаметрів парових бульбашок, які, тим самим, перекривають частину площі пароутворення капілярної структури, що і призводить до зменшення значень відведеного теплового потоку при однакових значеннях градієнту температур.

Вплив значень пористості та діаметру волокон, з яких виготовлено зразки капілярної структури, виявився неоднозначним. Параметром узагальнення отриманих даних було обрано ефективний діаметр пор зразків, який є більш загальною характеристикою.

Узагальнення експериментальних даних показало, що ефективність тепловіддачі зростає зі збільшенням ефективного діаметру пор в досліджуваному діапазоні від 20 до 90 мкм. Отримано розрахункові залежності, що дозволяють визначити інтенсивність тепловіддачі в умовах субатмосферних тисків для металоволокнистих пористих структур з відхиленням до $\pm 30\%$.

Виявилось, що отримані залежності можна використовувати для визначення інтенсивності тепловіддачі досліджених порошкових структур в умовах субатмосферного тиску. Використання цих залежностей дозволить спростити процес проектування систем термостабілізації на базі парових камер.

Ключові слова: пароутворення, інтенсивність теплообміну, капілярна структура, тиск насичення, парова камера.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234026

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ГАЗОВІДВІДНИХ ТРАКТІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК (с. 42–49)

Н. М. Фіалко, А. І. Степанова, Р. О. Навродська, С. І. Шевчук

Наводяться результати досліджень ексергетичної ефективності теплових методів антикорозійного захисту газовідвідних трактів котельних установок. Це метод підмішування в димові газів нагрітого повітря, метод пропускання частини гарячих газів котла байпасним димоходом і метод підсушування димових газів. Дослідження виконувались із застосуванням розробленої комплексної методики на основі ексергетичного підходу. Отримано залежності втрат ексергії E_{los} і тепло-ексергетичного критерія ϵ від параметрів теплових методів: кількості підмішуваних в димові газів нагрітого повітря N , частки байпасованих димових газів K і кількості підсушених димових газів R . Виконано порівняльний аналіз ефективності теплоутилізаційних систем з розглянутими методами. Встановлено, що для методу підмішування E_{los} і ϵ при температурі навколишнього середовища $t_{en}=10^\circ\text{C}$ мають найменші значення, тобто ефективність системи в цьому випадку найвища. Найбільшу ефективність при реалізації методу байпасування теплоутилізаційна система має при $t_{en}=10^\circ\text{C}$. Для методу підсушування при всіх значеннях кількості підсушених димових газів втрати ексергії найменші при $t_{en}=0^\circ\text{C}$. Що стосується тепло-ексергетичного критерія, то для значень $R \leq 20\%$ найменші значення ϵ спостерігаються при $t_{en}=10^\circ\text{C}$. При $R > 20\%$ найменші значення ϵ мають місце при $t_{en}=0^\circ\text{C}$. Таким чином, ефективність системи при реалізації методу підсушування найвища при $t_{en}=0^\circ\text{C}$ і кількості підсушеного повітря $R > 20\%$. Зазначені дослідження дозволяють отримати необхідну інформацію для проектування оптимальних теплоутилізаційних схем. Подальший розвиток даного дослідження полягає у встановленні взаємозв'язку ексергетичної і екологічної ефективності теплових методів захисту з метою подальшого зниження токсичних викидів.

Ключові слова: теплоутилізаційні технології, запобігання конденсації, методи ексергетичного аналізу, ексергетичні критерії ефективності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235837

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПОШУКУ З БІНАРНИМИ ВІДНОШЕННЯМИ ВИБОРУ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ ДЛЯ ПЕЛЕТНИХ ТРУБЧАСТИХ НАГРІВАЧІВ (с. 50–59)

В. Ф. Іродов, М. В. Шапгала, К. В. Дудкін, Д. Є. Шапгала, Г. Я. Прокоф'єва

Було проведено дослідження та виконано процес оптимізації одного з видів обладнання для автономного тепlopостачання з використанням відновлюваних ресурсів – трубчастого нагрівача на пелетах. Дослідження є доцільними тому, що для блоку спалювання пелет відсутня математична модель роботи блоку, є лише набір експериментальних результатів, які свідчать про суперечливість запропонованих до нього критеріїв. В результаті досліджень розроблено алгоритми багатокритеріальної оптимізації з бінарними відносинами вибору для трубчастих нагрівачів на пелетах повністю, включаючи блок спалювання пелет і блок теплообміну. Побудовано функцію вибору для блоку спалювання пелет з використанням безрозмірних комплексів на основі експериментальних результатів. Для блоку трубчастого теплообмінника з екраном побудована функція вибору з урахуванням критеріїв функціонування та математичної моделі нагрівача у вигляді системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що викладений механізм прийняття рішень може бути використаний для широкого кола складних систем з декількома критеріями. Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні методів і засобів побудови функції вибору для обмеженого числа експериментальних результатів.

Ключові слова: пелетний нагрівач, прийняття рішень, декілька критеріїв, функція вибору, еволюційний пошук.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.231765

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИРОСТУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ЗАТИСКАЧАХ ГЕНЕРАТОРА ЕНЕРГОБЛОКА АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ СТАНАХ КОНДЕНСАТОРА (с. 60–67)

К. О. Братковська, Ю. Б. Ліуш

Показано, що технічний стан конденсаційних пристроїв паротурбінних установок значною мірою визначає величину втрат електричної енергії, надійну і економічну роботу енергоблоків атомних електростанцій. Аналіз процесу теплопередачі в конденсаторі показав, що основні причини зниження навантаження визначаються підвищенням температури охолоджуючої води і відхиленням тиску пари в конденсаторі від нормального значення. Показано, що серед діагностичних параметрів окрім величини присосів, повинна бути оцінка забруднень поверхні теплообміну, які суттєво впливають на зниження виробітку електроенергії. Розглянуто основні моменти модернізації конденсатора енергоблоку № 3 Запорізької АЕС за принципом «блочно-модульної» конструкції розробки ПАТ «Турбоатом» та характеристики конденсатора К-38080 (Україна), які забезпечує нова конструкція. Для відображення реального режиму роботи конденсаційної установки запропоновано моделювати забруднення поверхні теплообміну та наявність присосів повітря в просторі конденсатора за допомогою методики теплового розрахунку конденсатора із застосуванням ітераційних методів. Встановлено, що зниження приросту генерації електроенергії в результаті впливу досліджуваних факторів може частково або навіть повністю поглинути ефект від модернізації конденсатора енергоблоку АЕС. Робота підкреслює важливість оцінки технічного стану конденсаційних пристроїв паротурбінних установок для визначення впливу досліджуваних факторів на величину генерації електричної потужності. Це дозволить забезпечити суттєвий приріст генерації електричної енергії при відносно невисоких капітальних вкладеннях на модернізацію конденсаторів та покращити точність прогнозів електрогенерації.

Ключові слова: тепловий розрахунок конденсатора АЕС, присоси повітря, забруднення, приріст електричної потужності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233270

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ ПАЗУ СТАТОРА ТЯГОВОГО СИНХРОННО-РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ НА РІВЕНЬ ЗУБЧАТОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ (с. 68–74)

Б. Г. Любарський, Є. С. Рябов, Д. І. Якунін, О. М. Дубініна, О. Я. Ніконов, В. В. Доманський

На основі методу скінчених елементів розроблено модель магнітного поля синхронно-реактивного двигуна з постійними магнітами. Модель реалізована в середовищі скінчено-елементного аналізу FEMM з одночасним використанням скрипту на мові Lua. Модель дає можливість визначати залежність електромагнітного моменту двигуна від кута обертання ротору.

Визначення рівня зубчастого моменту важливо для оцінки його шкідливого впливу на елементи конструкції тягового двигуна та приводу в цілому.

За результатами цифрового моделювання отримані залежності електромагнітного моменту від кута повороту ротору. Момент має змінну складову – зубчастий момент, – амплітуда якої для відкритих пазів у режимі номінального навантаження складає 182 Нм, а для напіввідкритих пазів 90 Нм.

Застосування напіввідкритих пазів позитивно впливає на боротьбу з зубчастим моментом синхронно-реактивного двигуна з постійними магнітами та може бути рекомендовано до подальшого вживання на двигунах подібного типу. Напіввідкриті пази зменшує у 2 рази відкриття пазу статора та призводить до більш плавного розподілу потоку під зубчастим поділом. Це призводить зменшення коливань основного магнітного потоку. Запропоноване застосування напіввідкритих пазів статора дозволяє більше ніж у 2 рази знизити рівень зубчастого моменту синхронно-реактивного двигуна з постійними магнітами у номінальному режимі.

Визначено, що доволі позитивним фактором є збільшення на 4,8 % середнього значення моменту двигуна в номінальному режимі при застосуванні напіввідкритих пазів. Це обумовлюється зниженням середнього значення магнітного опору основному магнітному

поток. Тому з одночасним зменшенням коливання моменту перехід до напіввідкритих пазів дає можливість підняти масогабаритні показники двигуна в цілому.

Ключові слова: синхронно-реактивний двигун з постійними магнітами, зубчатий момент, метод скінчених елементів, паз статору.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235882

РОЗРОБКА МОДЕЛІ СОНЯЧНОГО ЕЛЕМЕНТА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ТЕОРІЇ ФРАКТАЛЬНОЇ ГЕОМЕТРІЇ (с. 75–89)

П. Ф. Буданов, І. Г. Кирисов, К. Ю. Бровко, Д. В. Руденко, П. В. Васюченко, А. М. Носик

Показано, що в існуючих моделях сонячного елемента вводилися допущення про ідеально гладкий рельєф поверхні, які мали значний вплив при розрахунку вихідних параметрів. Запропоновано, для підвищення точності, лінійності і стабільності вольт-амперних характеристик враховувати реальну робочу площу сприймаючої поверхні сонячного елемента. Розроблена геометрична модель структури сприймаючої поверхні сонячного елемента, яка описує і враховує геометричні зміни в структурі напівпровідникового провідного шару, при наявності ушкоджуючих дефектів у вигляді локальних неоднорідностей, мікропор і макротріщин. Встановлено, що сприймаюча поверхня з ушкоджуючими дефектами, є пористою неоднорідною структурою і володіє фрактальними властивостями: самоподібності, інваріантності, масштабованості. Запропоновано, для визначення реальної робочої площі, використовувати метод теорії фрактальної геометрії і в якості ефективного кількісного параметра оцінки зміни фрактальної структури, обрати величину фрактальної розмірності. Отримані аналітичні вирази для вдосконаленої моделі, встановлюють співвідношення між вихідними параметрами і визначають ступінь заповнення вольт-амперної характеристики для вихідної потужності та коефіцієнта корисної дії. Обчислювальний експеримент показав, що реальна площа може бути значно менше геометричної площі топологічного рельєфу і кількісно пов'язана зі зміною фрактальної розмірності в діапазоні від 2.31 до 2.63. Отримані дані про реальну площу, при вирішенні аналітичних виразів для моделі сонячного елемента, відіграють важливе значення для забезпечення стабільності і лінійності вольт-амперної характеристики, підвищуючи її точність до 5 %.

Ключові слова: модель сонячного елемента, сприймаюча поверхня фотоелектричного перетворювача, фрактальна розмірність структури.