

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239147

**FORECASTING RATIONAL WORKING MODES OF
LONG-OPERATED GAS-TRANSPORT SYSTEMS
UNDER CONDITIONS OF THEIR INCOMPLETE
LOADING (p. 6–15)**

Volodymyr GrudzIvano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1182-2512>**Yaroslav Grudz**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3287-3036>**Myroslav Iakymiv**

GEOGAZCENTR LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4137-9590>**Mykola Iakymiv**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, Ukraine

GEOGAZCENTR LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9970-5331>**Pavlo Iagoda**

Gas Transmission System Operator of Ukraine LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4196-620X>

Prolonged operation of the gas-transport system in conditions of partial loading involves frequent changes in the volume of gas transportation, which necessitates prompt forecasting of system operation.

When forecasting the modes of operation of the gas transport system, the main criterion of optimality implies the maximum volume of gas pumping. After all, in this case, the largest profit of the gas-transport company is achieved under the condition of full provision of consumers with energy.

In conditions of incomplete loading of the gas-transport system caused by a shortage of gas supply, optimality criteria change significantly. First, the equipment is operated in ranges far from nominal ones which leads to growth of energy consumption. Secondly, changes in performance cause high-amplitude pressure fluctuations at the outlet of compressor stations.

Based on mathematical modeling of nonstationary processes, amplitude and frequency of pressure fluctuations at the outlet of compressor stations which can cause the pipeline overload have been established. To prevent this, it was proposed to reduce initial pressure relative to the maximum one. Calculated dependence was obtained which connects the amplitude of pressure fluctuations with the characteristics of the gas pipeline and the nonstationary process.

Reduction in energy consumption for transportation is due to the shutdown of individual compressor stations (CS). Mathematical modeling has made it possible to establish regularities of reduction of productivity of the gas-transport system and duration of the nonstationary process depending on the location of the compressor station on the route. With an increase in the number of shutdown compression stations, the degree of productivity decrease and duration of nonstationarity reduces

The established patterns and proposed solutions will improve the reliability of a gas-transport system by preventing pipeline overload and reduce the cost of gas transportation by selecting

running numbers of shutdown stations with a known decrease in productivity.

Keywords: gas-transport system, compressor station, linear section, incomplete loading, nonstationary process.

References

- Hrudz, V. Ya., Serediuk, M. D. (2015). Optymizatsiya rezhymiv roboty hazonaftotransportnykh system Ukrainy v umovakh yikh nepovnoho zavantazhennia. Tezy dopovidi v komiteti z enerhozberzhennia Verkhovnoi Rady
- Bobrovskiy, S. A., Shcherbakov, S. G., Yakovlev, E. I. et. al. (1976). Truboprovodniy transport gaza. Moscow: Nauka, 491.
- Hrudz, Ya. V. (2012). Enerhoefektyvnist hazotransportnykh system. Ivano-Frankivsk: Lileia-NV, 208.
- Zapukhliak, V., Poberezhny, L., Maruschak, P., Grudz, V., Stasiuk, R., Brezinova, J., Guzanova, A. (2019). Mathematical Modeling of Unsteady Gas Transmission System Operating Conditions under Insufficient Loading. *Energies*, 12 (7), 1325. doi: <https://doi.org/10.3390/en12071325>
- Grudz, V., Grudz, Y., Zapukhliak, V., Chudyk, I., Poberezhny, L., Slobodyan, N., Bodnar, V. (2020). Optimal Gas Transport Management Taking into Account Reliability Factor. *Management Systems in Production Engineering*, 28 (3), 202–208. doi: <https://doi.org/10.2478/mspe-2020-0030>
- Doroshenko, Y., Doroshenko, J., Zapukhliak, V., Poberezhny, L., Maruschak, P. (2019). Modeling computational fluid dynamics of multiphase flows in elbow and T-junction of the main gas pipeline. *Transport*, 34 (1), 19–29. doi: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.7441>
- Meshalkin, V. P., Moshev, E. R. (2015). Modes of functioning of the automated system “pipeline” with integrated logistical support of pipelines and vessels of industrial enterprises. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 44 (7), 580–592. doi: <https://doi.org/10.3103/s1052618815070109>
- Aleksandrov, A. V., Yakovlev, E. I. (1972). Proektirovanie i ekspluatatsiya sistem dal'nego transporta. Moscow: Nedra, 93.
- Zhydkova, M. O., Rudnik, A. A. (2001). Formuvannia systemy rozrakhunkovykh modelei dlia otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia liniynykh dilianok mahistralnykh hazoprovodiv. *Ekotekhnologii i resursoberezhennia*, 6, 66–70.
- Yakovlev, Ye. I., Kazak, O. S., Mykhalkiv, V. B. et. al. (1992). Rezhymy hazotransportnykh system. Lviv: Svit, 170.
- Yakovlev, E. I., Kazak, A. S., Mihalkiv, V. B. et. al. (1984). Metodika rascheta slozhnykh gazotransportnih sistem s peresechennym profilem trassy. Kyiv: Soyuzproekt, 112.
- Berezin, V. L., Gromov, N. I. (1988). Potochnoe stroitel'stvo magistral'nykh truboprovodov. Moscow: Nedra, 259.
- Guhman, A. A. (1973). Vvedenie v teoriyu podobiya. Moscow: Vysshaya shkola, 332.
- New operation strategies in heavy crude pipeline will increase profit margin (2013). *Oil & Gas Journal*. Available at: <https://www.ogj.com/drilling-production/production-operations/article/17239507/new-operation-strategies-in-heavy-crude-pipeline-will-increase-profit-margin>
- Ermakov, S. M., Brodskiy, V. Z., Zhiglyavskiy, A. A. et. al. (1983). Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta. Moscow: Nauka, 392.
- Enerhetychna haluz Ukrainy: pidsumky 2016 roku. Kyiv: “Zapovit”, 163. Available at: https://razumkov.org.ua/uploads/article/2017_ENERGY-FINAL.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238649

ANALYSIS OF TRANSIENT MIXED CONVECTION IN A HORIZONTAL CHANNEL PARTIALLY HEATED FROM BELOW (p. 16–22)

Mahmoud A. Mashkour

University of Technology, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4877-3427>

The heat convection phenomenon has been investigated numerically (mathematically) for a channel located horizontally and partially heated at a uniform heat flux with forced and free heat convection. The investigated horizontal channel with a fluid inlet and the enclosure was exposed to the heat source from the bottom while the channel upper side was kept with a constant temperature equal to fluid outlet temperature. Transient, laminar, incompressible and mixed convective flow is assumed within the channel. Therefore, the flow field is estimated using Navier Stokes equations, which involves the Boussinesq approximation. While the temperature field is calculated using the standard energy model, where, Re, Pr, Ri are Reynolds number, Prandtl number, and Richardson number, respectively. Reynolds number (Re) was changed during the test from 1 to 50 (1, 10, 25, and 50) for each case study, Richardson (Ri) number was changed during the test from 1 to 25 (1, 5, 10, 15, 20, and, 25). The average Nusselt number (Nu_{av}) increases exponentially with the Reynold number for each Richardson number and the local Nusselt number (Nu_l) rises in the heating point. Then gradually stabilized until reaching the endpoint of the channel while the local Nusselt number increases with a decrease in the Reynolds number over there. In addition, the streamlines and isotherms patterns in case of the very low value of the Reynolds number indicate very low convective heat transfer with all values of Richardson number. Furthermore, near the heat source, the fluid flow rate rise increases the convection heat transfer that clarified the Nusselt number behavior with Reynolds number indicating that maximum Nu no. are 6, 12, 27 and 31 for Re no. 1, 10, 25 and 50, respectively.

Keywords: mixed convection, channel, uniform heat flux, Richardson number, open cavity.

References

- Kazem, H. A., Al-Waeli, A. H. A., Chaichan, M. T., Sopian, K. (2021). Numerical and experimental evaluation of nanofluids based photovoltaic/thermal systems in Oman: Using silicone-carbide nanoparticles with water-ethylene glycol mixture. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101009>
- Abbas, H. M., Ali, I. M., Al-Najjar, H. M. T. (2021). Experimental Study of Electrical and Thermal Efficiencies of a Photovoltaic Thermal (PVT) Hybrid Solar Water Collector with and Without Glass Cover. *Journal of Engineering*, 27 (1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2021.01.01>
- Lee, B., Chu, W., Li, W. (2020). Effects of Process Parameters on Graphene Growth Via Low-Pressure Chemical Vapor Deposition. *Journal of Micro and Nano-Manufacturing*, 8 (3). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4048494>
- Habeeb, L. J., Mutasher, D. G., Abd Ali, F. A. M. (2018). Solar Panel Cooling and Water Heating with an Economical Model Using Thermosyphon. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 12 (3), 189–196.
- Wong, K.-C., Saeid, N. H. (2009). Numerical study of mixed convection on jet impingement cooling in a horizontal porous layer-using Brinkman-extended Darcy model. *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (1), 96–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.03.006>
- Al-Mousawe, S. T. M., Hadi, J. M., Hazim, S. M., Al-Qrimli, H. F., Habeeb, L. J. (2021). Combined Forced and Free Convection within an Enclosure Filled with a Porous Medium. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (2), 293–305.
- Bhattacharyya, S., Sarkar, A., Das, S., Mullick, A. (2017). Computational studies of heat transfer enhancement in a circular wavy micro channel. *Chemical Engineering Transactions*, 62, 361–366. doi: <https://doi.org/10.3303/CET1762061>
- Bhattacharyya, S., Benim, A. C., Chattopadhyay, H., Banerjee, A. (2018). Experimental investigation of heat transfer performance of corrugated tube with spring tape inserts. *Experimental Heat Transfer*, 32 (5), 411–425. doi: <https://doi.org/10.1080/08916152.2018.1531955>
- Majdi, H. S., Abed, A. M., Habeeb, L. J. (2021). Mixed Convection Heat Transfer of CuO-H₂O Nanofluid in a Triangular Lid-Driven Cavity with Circular Inner Body. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (1), 164–175.
- Bahlaoui, A., Raji, A., Lamsaadi, M., Naïmi, M., Hasnaoui, M. (2007). Mixed Convection in a Horizontal Channel with Emissive Walls and Partially Heated from Below. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 51 (9), 855–875. doi: <https://doi.org/10.1080/10407780601112746>
- Burgos, J., Cuesta, I., Salueña, C. (2016). Numerical study of laminar mixed convection in a square open cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 99, 599–612. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.04.010>
- Al-Zuhairy, R. C., Alturaihi, M. H., Abd Ali, F. A. M., Habeeb, L. J., (2020). Numerical Investigation of Heat Transfer in Enclosed Square Cavity. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (6), 388–403.
- Ataei-Dadavi, I., Rounaghi, N., Chakkingal, M., Kenjeres, S., Kleijn, C. R., Tummers, M. J. (2019). An experimental study of flow and heat transfer in a differentially side heated cavity filled with coarse porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 143, 118591. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118591>
- Gowda, B. M. K., Rajagopal, M. S., Aswatha, Seetharamu, K. N. (2019). Heat transfer in a side heated trapezoidal cavity with openings. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22 (1), 153–167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.04.017>
- García, F., Treviño, C., Lizardi, J., Martínez-Suástegui, L. (2019). Numerical study of buoyancy and inclination effects on transient mixed convection in a channel with two facing cavities with discrete heating. *International Journal of Mechanical Sciences*, 155, 295–314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.03.001>
- Laouira, H., Mebarek-Oudina, F., Hussein, A. K., Kolsi, L., Merah, A., Younis, O. (2019). Heat transfer inside a horizontal channel with an open trapezoidal enclosure subjected to a heat source of different lengths. *Heat Transfer-Asian Research*, 49 (1), 406–423. doi: <https://doi.org/10.1002/htj.21618>
- Abaas, A. A. A., Hussain, H. M., Saieed, A. N. A., Habeeb, L. J., Jalghaf, H. K. (2020). Computational Investigation on Free and Forced Convection inside an Enclosure. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (5), 318–331.
- Mustafa, M. A. S., Jassim, L., Jasim, N. Y., Habeeb, L. J. (2020). Combined Free and Forced Convection inside an Enclosure. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (6), 472–486.
- Bahoosh, R., Mohamadi, F., Karimi, M. (2015). Numerical Investigation of Natural Convection in a Square Cavity with Tilting Walls. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 29 (4), 725–731. doi: <https://doi.org/10.2514/1.t4467>
- Hamid, M., Usman, M., Khan, Z. H., Haq, R. U., Wang, W. (2019). Heat transfer and flow analysis of Casson fluid enclosed in a partially heated trapezoidal cavity. *International Communications in Heat*

- and Mass Transfer, 108, 104284. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104284>
21. Hussein, M., Kalash, A., Al-Beldawee, I., Habeeb, L. (2019). Numerical Investigation of Free Convection Heat Transfer from Two-Dimensional Rectangular Enclosure with Discrete Isothermal Heating from Bottom Side. *International Journal of Heat and Technology*, 37 (4), 1141–1150. doi: <https://doi.org/10.18280/ijht.370424>
 22. Mohammed, A. A., Al- Musawi, S. T. M., Ayed, S. K., Alkhatat, A., Habeeb, L. J. (2020). Natural Convection Heat Transfer In Horizontal Elliptic Cavity With Eccentric Circular Inner Cylinder. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (7), 340–355.
 23. Alguboori, A. R., Al-azzawi, M. M., Kalash, A. R., Habeeb, L. J. (2020). Natural Convection Heat Transfer in an Inclined Elliptic Enclosure with Circular Heat Source. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (6), 207–222.
 24. Al-azzawi, M. M., Abdullah, A. R., Majel, B. M., Habeeb, L. J. (2021). Experimental Investigation of the Effect of Forced Vibration on Natural Convection Heat Transfer in a Concentric Vertical Cylinder. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (3), 56–65.
 25. Alturaihi, M. H., Jassim, L., Alguboori, A. R., Habeeb, L. J., Jalghaf, H. K. (2020). Porosity Influence on Natural Convection Heat Transfer from a Heated Cylinder in a Square Porous Enclosure. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43 (6), 236–254.
 26. Habeeb, L. J. (2012). Free Convective Heat Transfer in an Enclosure Filled with Porous media with and without Insulated Moving Wall. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 69 2012. ICAMAME 2012: International Conference on Aerospace, Mechanical, Automotive and Materials Engineering. Berlin.
 27. Mahmood, M. A., Mustafa, M. A., M. Al-Azzawi, M., Abdullah, A. R. (2020). Natural Convection Heat transfer in a Concentric Annulus Vertical Cylinders embedded with Porous Media. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 66 (2), 65–83.
 28. Ayed, S. K., Al guboori, A. R., Hussain, H. M., Habeeb, L. J. (2021). Review On Enhancement Of Natural Convection Heat Transfer Inside Enclosure. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (1), 123–134.
 29. Mashkour, M. A., Hadi, J. M., Jary, A. M., Habeeb, L. J. (2021). Review on Natural Convection Heat Transfer in an Enclosures and Cavities. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (6), 372–378.
 30. Chen, Y. C., Chung, J. N., Wu, C. S., Lue, Y. F. (2000). Non-Darcy mixed convection in a vertical channel filled with a porous medium. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43 (13), 2421–2429. doi: [https://doi.org/10.1016/s0017-9310\(99\)00299-9](https://doi.org/10.1016/s0017-9310(99)00299-9)
 31. Jumah, R. Y., Fawzi, A., Abu-Al-Rub, F. (2001). Darcy-Forchheimer mixed convection heat and mass transfer in fluid saturated porous media. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 11 (6), 600–618. doi: <https://doi.org/10.1108/09615530110399503>
 32. Wong, K.-C., Saeid, N. H. (2009). Numerical study of mixed convection on jet impingement cooling in a horizontal porous layer under local thermal non-equilibrium conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (5), 860–870. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.004>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238203

SYNTHESIS OF SCHEME-CYCLE DESIGNS OF ABSORPTION WATER-AMMONIA THERMOTRANSFORMERS WITH EXTENDED DEGAZATION ZONE (p. 23–33)

Boris Kosoy

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5353-8881>

Larisa Morozuk

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4133-1984>

Sergii Psarov

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7738-4194>

Artem Kukoliev

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3315-7816>

The search for new and improvement of existing technical design of energy converter systems for specific consumers requires a reasonable choice of the most rational design for these objects.

Thermotransformers that operate on the reverse and mixed thermodynamic cycles, in combination with power plants utilizing renewable and non-traditional primary energy (fuel), are considered to be of interest for small-scale power generation (trigeneration systems), which is consistent with the concept of distributed energy generation.

Cold in trigeneration systems is provided by heat-using thermotransformers.

This paper reports a method for synthesizing a scheme-cycle designs of absorption water-ammonia thermotransformers that utilize renewable heat sources with a low-temperature potential of 90–250 °C.

A “cycle method” was applied to perform the thermodynamic analysis of the cycle of simple absorption thermotransformers with the expansion of the degazation zone with an increase in the temperature of the heating source; the technological schemes for the corresponding cycles have been substantiated.

The influence of changing the degazation zone on the energy efficiency of the machine has been established. A scheme-cycle designs of the thermochemical compressor for a thermotransformer with a return supply of solutions to the generator and absorber at “excess temperatures” has been proposed, as a way to improve the cycle energy efficiency.

A comparative analysis of the degree of thermodynamic perfection of the considered cycles has been performed using a specific example.

The thermodynamic analysis demonstrated that the practical implementation of the scheme-cycle designs “with excess temperatures” could provide energy-saving conditions in small-scale trigeneration systems.

Keywords: thermodynamic analysis, “cycle method”, absorption water-ammonia thermotransformer, degazation zone, excess temperature.

References

1. Medved, D. (2011). Trigeneration units. Intensive Programme “Renewable Energy Sources”, 47–50. Available at: http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2011/Files/Medved.pdf
2. Dincer, I., Ratlamwala, T. A. H. (2016). Developments in Absorption Refrigeration Systems. *Green Energy and Technology*, 241–257. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33658-9_8
3. Cartelle Barros, J. J., Lara Coira, M., de la Cruz López, M. P., del Caño Gochi, A. (2015). Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. *Energy*, 89, 473–489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.110>
4. Mussati, S. F., Gernaey, K. V., Morosuk, T., Mussati, M. C. (2016). NLP modeling for the optimization of LiBr-H₂O absorption refrigeration systems with exergy loss rate, heat transfer area, and cost as single objective functions. *Energy Conversion and Management*, 127, 526–544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.021>
5. Morosuk, L. I. (2014). Development and improvement of the heat using refrigerating machines. *Refrigeration Engineering and*

- Technology, 5 (151), 23–29. doi: <https://doi.org/10.15673/0453-8307.5/2014.28695>
6. Xu, Y., Jiang, N., Pan, F., Wang, Q., Gao, Z., Chen, G. (2017). Comparative study on two low-grade heat driven absorption-compression refrigeration cycles based on energy, exergy, economic and environmental (4E) analyses. *Energy Conversion and Management*, 133, 535–547. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.073>
 7. Fernández-Seara, J., Vázquez, M. (2001). Study and control of the optimal generation temperature in NH₃–H₂O absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 21 (3), 343–357. doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-4311\(00\)00047-8](https://doi.org/10.1016/s1359-4311(00)00047-8)
 8. Morosuk, L. I., Grudka, B. G. (2016). Energy efficiency of an absorption-resorption refrigeration machines included to the trigeneration system of small energy. *Refrigeration Engineering and Technology*, 52 (4), 4–10. doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v52i4.258>
 9. Zhang, N., Lior, N. (2006). Development of a Novel Combined Absorption Cycle for Power Generation and Refrigeration. *Journal of Energy Resources Technology*, 129 (3), 254–265. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2751506>
 10. Morosuk, T., Tsatsaronis, G. (2008). A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines. *Energy*, 33 (6), 890–907. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.09.012>
 11. Titlova, O., Titlov, O., Olshevska, O. (2016). Searching for the energy efficient operation modes of absorption refrigeration devices. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (83)), 45–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79353>
 12. Titlov, O., Hratii, T., Bilenko, N. (2019). Enhancing energy efficiency of absorption refrigeration devices. *Refrigeration Engineering and Technology*, 55 (5-6), 293–303. doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v55i5-6.1659>
 13. Blier, B. M., Vurgaft, A. V. (1971). *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya absorbtionnyh termotransformatorov*. Moscow: Pisch-evaya promyshlennost', 202.
 14. Martynovskiy, V. S. (1979). *Tsikly, skhemy i harakteristiki termotransformatorov*. Moscow: Energiya, 288.
 15. Morozyuk, T. V. (2006). *Teoriya holodil'nyh mashin i teplovyh nasosov*. Odessa: Studiya «Negotsiant», 712.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237873
DEVELOPMENT OF LOW-PRESSURE ELECTRIC
STEAM HEATER (p. 34–44)

Ali Mekhtiyev

Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin,
 Nur–Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

Iossif Breido

Karaganda Technical University, Karaganda,
 Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3172-2677>

Rustam Buzyakov

Karaganda Technical University, Karaganda,
 Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2514-5276>

Yelena Neshina

Karaganda Technical University, Karaganda,
 Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

Aliya Alkina

Karaganda Technical University, Karaganda,
 Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0593>

The study was devoted to solving the issue of creating new electric heating devices that can be used in autonomous heat supply systems. The issues were resolved by developing an original low-pressure electric steam heater. The study was aimed at improving the efficiency of heat supply systems for buildings and structures. Given the current trends in the global striving for energy conservation, it cannot be fully realized without the introduction of high-tech and low-energy-consuming electrical equipment. As a result of theoretical studies of a heat pipe with an electric heater, a design of an electrovacuum heating element has been developed. The low-pressure electric steam heater can be used in heat supply systems of autonomous users. Thermal energy transfer is currently accompanied by substantial energy losses since the heat carrier has to pass considerable distances. Switching of the facility to the heating plant is impossible in some cases because of technical problems or significant material costs for laying pipelines. As a result of the study, the dependence of heating the heat pipe at various volumes of the heat carrier and mass of the pipe itself was established. When a certain mass is reached, the temperature of the heating surfaces can reach 70 °C which is considered acceptable. The experimental data obtained have made it possible to develop an electric heater of new generation with a fundamentally new design of the heating element. It combines the efficiency of an electric spiral and comfortable warmth from a traditional radiator. This heater is an explosion and fire-safe and can be integrated into the Smart Home system.

Keywords: heating radiator, electric heater, energy saving, heat supply system, heating device, autonomy, energy efficiency, electricity.

References

1. Parokapelyne nagrevateli. Available at: <http://vestkz.ru/opisanie.htm>
2. Espatolero, S., Romeo, L. M., Escudero, A. I., Kuivalainen, R. (2017). An operational approach for the designing of an energy integrated oxy-fuel CFB power plant. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 64, 204–211. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.07.018>
3. Taler, J., Trojan, M., Taler, D., Dzierwa, P., Kaczmarski, K. (2017). Improving flexibility characteristics of 200 MW unit. *Archives of Thermodynamics*, 38 (1), 75–90. doi: <http://doi.org/10.1515/aoter-2017-0005>
4. Piccolo, A., Pistone, G. (2006). Estimation of heat transfer coefficients in oscillating flows: The thermoacoustic case. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49 (9-10), 1631–1642. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.11.009>
5. Wang, Y., Quan, Z., Jing, H., Wang, L., Zhao, Y. (2021). Performance and operation strategy optimization of a new dual-source building energy supply system with heat pumps and energy storage. *Energy Conversion and Management*, 239. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114204>
6. Zhang, Y., Xia, J., Fang, H., Zuo, H., Jiang, Y. (2019). Roadmap towards clean heating in 2035: Case study of inner Mongolia, China. *Energy*, 189. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116152>
7. Wu, P., Wang, Z., Li, X., Xu, Z., Yang, Y., Yang, Q. (2020). Energy-saving analysis of air source heat pump integrated with a water storage tank for heating applications. *Building and Environment*, 180. doi: <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107029>
8. Istoriya izobreteniya obogrevatelya. Available at: <https://tehnika-land.ru/klimaticheskaya-tehnika/istoriya-izobreteniya-obogrevatelya.html>
9. Obogrevateli: pozhar'naya bezopasnost. Available at: <https://ogneza.com/obogrevateli-pozhar'naya-bezopasnost.html>
10. Mekhtiev, A. D., Karpenko, A. N., Aldoshina, O. V., Yugay, V. V. (2015). *Avtonomnye sistemy otopeniya novogo pokoleniya*. Karaganda: Izd-vo KarGTU, 196.
11. Ventsel, E. S., Ovcharov, L. A. (2000). *Teoriya veroyatnostey i inzhenernye prilozheniya*. Moscow: Vysshaya shkola, 480. Available at: <https://may.alleng.org/d/math/math370.htm>

12. Dan, P. D., Rey, D. A. (1979). *Teplovye trubyy*. Moscow: Energiya, 272. Available at: https://www.studmed.ru/dan-pd-rey-da-teplovye-trubyy_dd1b7abb9f1.html
13. Jouhara, H., Khordehghah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauhan, A., Tassou, S. A. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. doi: <http://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
14. Xu, X., Ju, G. D. (2019). Application and thermal economic analysis of plate low pressure economizer in flue gas waste heat recovery. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 291. doi: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/291/1/012025>
15. Radiator otopeniya (2018). Pat. No. 2816 RK. opubl. 24.04.2018.
16. Radiator otopeniya (2017). Pat. No. 32156 RK. opubl. 16.05.17.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.236825

IMPROVING A MODEL OF THE INDUCTION TRACTION MOTOR OPERATION INVOLVING NON-SYMMETRIC STATOR WINDINGS (p. 45–58)

Sergey Goolak

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2294-5676>

Borys Liubarskyi

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

Svitlana Sapronova

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

Viktor Tkachenko

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

Ievgen Riabov

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

Marina Glebova

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
 Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0973-150X>

The analysis of operating conditions of induction traction motors as part of traction electric drives of electric locomotives reported here has revealed that they are powered by autonomous voltage inverters with asymmetric non-sinusoidal voltage. It was established that the induction motor operation may be accompanied by defects caused by the asymmetrical modes of the motor stator. A model of the induction motor has been proposed that takes into consideration changes in the values of mutual inductance of phases and complete inductance of the magnetization circuit due to changes in the geometric dimensions of the winding caused by a certain defect. An algorithm that considers the saturation of the magnetic circuit of the electric motor has been proposed.

This approach to modeling an induction motor is important because if one of the stator's windings is damaged, its geometry changes. This leads to a change in the mutual inductance of phases and the complete inductance of the magnetization circuit. Existing approaches to modeling an induction motor do not make it possible to fully take into consideration these changes.

The result of modeling is the determined starting characteristics for an intact and damaged engine. The comparison of modeling results for an intact engine with specifications has shown that the error in determining the controlled parameters did not exceed 5 %.

The modeling results for the damaged engine demonstrated that the nature of change in the controlled parameters did not contradict the results reported by other authors. The discrepancy in determining the degree of change in the controlled parameters did not exceed 10 %. That indicates a high reliability of the modeling results.

The proposed model of an induction electric motor could be used to investigate electromagnetic processes occurring in an electric motor during its operation as part of the traction drive of electric locomotives.

Keywords: induction traction motor, traction drive of electric locomotive, asymmetry of windings, saturation of the magnetic circuit.

References

1. Babyak, M., Keršys, R., Neduzha, L. (2020). Improving the Dependability Evaluation Technique of a Transport Vehicle. *Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020*. Pt. II. Kaunas, 646–651.
2. Fomin, O. V. (2015). Increase of the freight wagons ideality degree and prognostication of their evolution stages. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 68–76. Available at: <http://nv.nmu.org.ua/index.php/en/component/jdownloads/finish/54-03/8333-2015-03-fomin/0>
3. Kabalyk, Y. (2016). Determination of Energy Loss in Power Voltage Inverters for Power Supply of Locomotive Traction Motors. *Procedia Engineering*, 165, 1437–1443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.876>
4. Kuznetsov, V., Lyubarskyi, B., Kardas-Cinal, E., Yeritsyan, B., Riabov, I., Rubanik, I. (2020). Recommendations for the selection of parameters for shunting locomotives. *Archives of Transport*, 56 (4), 119–133. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5650>
5. Kolpakhchyan, P., Zarifian, A., Andruschenko, A. (2017). Systems Approach to the Analysis of Electromechanical Processes in the Asynchronous Traction Drive of an Electric Locomotive. *Studies in Systems, Decision and Control*, 67–134. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51502-1_3
6. Vlas'evskii, S. V., Malysheva, O. A., Marinich, L. P. (2019). Estimation of the Realization of Traction Force on the Adhesion of AC Electric Locomotives with an Asynchronous and Collector Drives. *2019 International Science and Technology Conference "EastConf."* doi: <https://doi.org/10.1109/eastconf.2019.8725405>
7. Bonnet, V. V., Loginov, A. Y., Prudnikov, A. Y., Bonnet, Y. V., Bonnet, M. V. (2020). Method for determining the power of squirrel-cage induction motors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 421, 052009. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/5/052009>
8. Prudnikov, A. Yu., Bonnet, V. V., Loginov, A. Yu. (2020). Method of diagnostics of the rotor eccentricity of an induction motor. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515, 052030. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/5/052030>
9. Khechekhouché, A., Cherif, H., Benakcha, A., Menacer, A., Chehaidia, S. E., Panchal, H. (2020). Experimental diagnosis of inter-turns stator fault and unbalanced voltage supply in induction motor using MCSA and DWER. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 8 (3), 1202–1216. Available at: <http://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/view/1058/607>
10. Mirzaev, U., Abdurauf, A. (2021). Mathematical Model of an Asynchronous Motor in Full-Phase Operation. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS) ISSN*, 5 (3), 10–14. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3815616>
11. Atiyah, A., Sulc, B. (2020). Role of Asynchronous Motor Modelling in Driven Railway Wheelset Dynamical Simulation Model. *2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. doi: <https://doi.org/10.1109/iccc49264.2020.9257241>

12. Diacenko, G. (2020). Rotor flux controller for induction machines considering main inductance saturation. *Problemele Energeticii Regionale*, 3 (47), 10–19. Available at: <https://zenodo.org/record/4018933#.YOVPZ7j7SUK>
13. Pal, R. S. C., Mohanty, A. R. (2021). A Simplified Dynamical Model of Mixed Eccentricity Fault in a Three-Phase Induction Motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68 (5), 4341–4350. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2020.2987274>
14. Nasir, B. A. (2020). An Accurate Iron Core Loss Model in Equivalent Circuit of Induction Machines. *Journal of Energy*, 2020, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7613737>
15. Goolak, S., Tkachenko, V., Bureika, G., Vaičiūnas, G. (2021). Method of spectral analysis of traction current of AC electric locomotives. *Transport*, 35 (6), 658–668. doi: <https://doi.org/10.3846/transport.2020.14242>
16. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E., Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. (2020). Mathematical modeling of an induction motor for vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (104)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199559>
17. Zhang, R., Yin, Z., Du, N., Liu, J., Tong, X. (2021). Robust Adaptive Current Control of a 1.2 MW Direct-Drive PMSM for Traction Drives based on Internal Model Control with Disturbance Observer. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 1–1. doi: <https://doi.org/10.1109/tte.2021.3058012>
18. Deryabin, E. I., Zhuravleva, L. A. (2020). Electric traction drive of an agricultural tractor. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548, 032037. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/3/032037>
19. Ferestade, I., Ahmadian, M., Molatefi, H., Moaveni, B., Bokaeian, V. (2020). Integrated sliding mode and direct torque controls for improving transient traction in high-speed trains. *Journal of Vibration and Control*, 27 (5-6), 629–650. doi: <https://doi.org/10.1177/1077546320932027>
20. Liubarskyi, B., Petrenko, A., Shaida, V., Maslii, A. (2017). Analysis of optimal operating modes of the induction traction drives for establishing a control algorithm over a semiconductor transducer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (88)), 65–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109179>
21. Shavolkin, O., Shvedchikova, I. (2018). Forming of Current of the Single-Phase Grid Inverter of Local Combined Power Supply System with a Photovoltaic Solar Battery. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559540>
22. Yatsko, S., Vashchenko, Y., Sidorenko, A., Lyubarskyi, B., Yeritsyan, B. (2019). Electrical transport with onboard energy storage. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9 (2), 848–858. Available at: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/9143/pdf>
23. Shavolkin, O., Shvedchikova, I. (2020). Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek51551.2020.9250096>
24. Pustovetov, M. Y. (2018). Approach to Computer Implementation of Mathematical Model of 3-Phase Induction Motor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 327, 022085. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/327/2/022085>
25. Pustovetov, M. Yu. (2016). Podhod k realizatsii na EVM matematicheskoy modeli asinhronnogo dvigatelya, prednaznachenny dlya ispol'zovaniya v kachestve sostavnoy chasti modeliye elektrotekhnicheskikh kompleksov i sistem. Modelirovaniye teoriya, metody i sredstva: Materialy 16-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy 110-letiyu Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta (NPI) imeni M.I. Platova. Novocherkassk, 332–345. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27557409>
26. Goolak, S., Gerlici, J., Tkachenko, V., Sapronova, S., Lack, T., Kravchenko, K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21 (2), 24–31. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.24-31>
27. Carbonieri, M., Bianchi, N. (2020). Induction Motor Rotor Losses Analysis Methods Using Finite Element. 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). doi: <https://doi.org/10.1109/icit45562.2020.9067209>
28. Accetta, A., Cirrincione, M., Pucci, M., Sferlazza, A. (2020). Space-vector state dynamic model of SynRM considering self- and cross-saturation and related parameter identification. *IET Electric Power Application*, 14 (14), 2798–2808. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2020.0504>
29. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V., Stakhiv, P. (2016). Fault-tolerant control of an induction motor with broken stator electric circuit. 2016 Electric Power Networks (EPNet). doi: <https://doi.org/10.1109/epnet.2016.7999372>
30. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V. (2017). Variable-frequency electric drive with a function of compensation for induction motor asymmetry. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100505>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238538

DEVISING A METHOD FOR CALCULATING THE TURBOSHAFT GAS TURBINE ENGINE PERFORMANCE INVOLVING A BLADE-BY-BLADE DESCRIPTION OF THE MULTI-STAGE COMPRESSOR IN A TWO-DIMENSIONAL SETTING (p. 59–66)

Ludmila Boyko

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3076-4779>

Vadym Datsenko

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0650-562X>

Aleksandr Dyomin

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-1623>

Nataliya Pizhankova

National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8345-6756>

The design and adjustment of modern gas turbine engines significantly rely on the use of numerical research methods.

This paper reports a method devised for calculating the thermogasdynamic parameters and characteristics of a turboshaft gas turbine engine. The special feature of a given method is a two-dimensional blade-by-blade description of the compressor in the engine system. Underlying the calculation method is a nonlinear mathematical model that makes it possible to describe the established processes occurring in individual nodes and in the engine in general. To build a mathematical model, a modular principle was chosen, involving the construction of a system of interrelated and coordinated models of nodes and their elements.

The approach used in modeling a two-dimensional flow in the compressor makes it possible to estimate by calculation a significant number of parameters that characterize its operation.

With the help of the reported method, it is possible to estimate the effect of changing the geometric parameters of the compressor height on the characteristics of the engine. To take into consideration the influence of variable modes of air intake or overflow in various cross-sections along the compressor tract, to determine the effect of the input radial unevenness on the parameters of the compressor and engine in general.

To verify the method described, the calculation of thermogas-dynamic parameters and throttle characteristics of a single-stage turboshaft gas turbine engine with a 12-stage axial compressor was performed. Comparison of the calculation results with experimental data showed satisfactory convergence. Thus, the standard deviation of the calculation results from the experimental data is 0.45 % for the compressor characteristics, 0.4 % for power, and 0.15 % for specific fuel consumption.

Development and improvement of methods for calculating the parameters and characteristics of gas turbine engines make it possible to improve the quality of design and competitiveness of locally-made aircraft engines.

Keywords: gas turbine engine, throttle characteristic, axial compressor, blade-by-blade two-dimensional modeling.

References

- Kuz'michev, V. S., Ostapyuk, Y. A., Tkachenko, A. Y., Krupenich, I. N., Filinov, E. P. (2017). Comparative Analysis of the Computer-Aided Systems of Gas Turbine Engine Designing. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 6 (1), 28–35. doi: <https://doi.org/10.18178/ijmerr.6.1.28-35>
- Khustochka, A. N., Kaliuzhnyi, I. A. (2010). Mathematical model of the turboshaft gas turbine AI-450M. *Aerospace technic and technology*, 8 (75), 99–102.
- Kurzke, J. (2011). Correlations Hidden in Compressor Maps. Volume 1: Aircraft Engine; Ceramics; Coal, Biomass and Alternative Fuels; Wind Turbine Technology. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2011-45519>
- Tarasenko, A. A. (2009). Primenenie obobshchennykh zavisimostey dlya postroeniya harakteristik kompressorov s pomosh'yu EVM. *Aerospace technic and technology*, 7 (64), 74–77.
- Panov, V. (2009). GasTurboLib: Simulink Library for Gas Turbine Engine Modelling. Volume 1: Aircraft Engine; Ceramics; Coal, Biomass and Alternative Fuels; Controls, Diagnostics and Instrumentation; Education; Electric Power; Awards and Honors. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2009-59389>
- Alexiou, A., Baalbergen, E. H., Kogenhop, O., Mathioudakis, K., Arendsen, P. (2007). Advanced Capabilities for Gas Turbine Engine Performance Simulations. Volume 1: Turbo Expo 2007. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2007-27086>
- Gurevich, O. S., Krasnov, S. E., Golberg, F. D., Smetanin, S. A. (2017). Study for the Effect of Inlet Flow Distortion on a Control Efficiency of Turbofan. 23rd International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2017). Vol. 3. Manchester, 1976.
- Kurzke, J. (2014). An Enhanced Off-Design Performance Model for Single Stage Fans. Volume 1A: Aircraft Engine; Fans and Blowers. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2014-26449>
- Klein, C., Wolters, F., Reitenbach, S., Schönweitz, D. (2018). Integration of 3D-CFD Component Simulation Into Overall Engine Performance Analysis for Engine Condition Monitoring Purposes. Volume 1: Aircraft Engine; Fans and Blowers; Marine. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2018-75719>
- Pachidis, V., Talhouarn, F., Kalfas, A., Templalexis, I. (2004). A Fully Integrated Approach to Component Zooming Using Computational Fluid Dynamics. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 128 (3), 579–584. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2135815>
- Kurzke, J. (2007). About Simplifications in Gas Turbine Performance Calculations. Volume 3: Turbo Expo 2007. doi: <https://doi.org/10.1115/gt2007-27620>
- Romanovsky, G. F., Tarasenko, A. A. (2011). Characteristics of compressors with air rerun devices usage with generalised dependance. *Aerospace technic and technology*, 9, 51–54.
- Boyko, L. G., Karpenko, E. L. (2007). Metod rascheta harakteristik turboval'nogo dvigatelya s poventsovym opisaniem mnogostupenchatogo oseвого kompressora. *Vestnik dvigatelestroeniya*, 3, 143–146.
- Boyko, L. G., Karpenko, E. L., Akhtemenko, U. F. (2013). Method of calculating GTE gas-thermodynamic parameters with blade row description of an axial multistage compressor. *VESTNIK of the Samara State Aerospace University*, 12 (3-2), 31–39. doi: [https://doi.org/10.18287/1998-6629-2013-0-3-2\(41\)-31-39](https://doi.org/10.18287/1998-6629-2013-0-3-2(41)-31-39)
- Shlyahtenko, S. M., Sosunov, V. A. (Eds.) (1979). *Teoriya dvuhkonturnykh turboreaktivnykh dvigateley*. Moscow: Mashinostroenie, 218.
- Nechaev, Yu. N., Fedorov, R. M., Kotovskiy, V. N., Polev, A. S.; Nechaev, Yu. N. (Ed.) (2006). *Teoriya aviatsionnykh dvigateley*. Ch. 1. Moscow: VVIA im. prof. N. E. Zhukovskogo, 366.
- Nechaev, Yu. N., Fedorov, R. M., Kotovskiy, V. N., Polev, A. S.; Nechaev, Yu. N. (Ed.) (2006). *Teoriya aviatsionnykh dvigateley*. Ch. 2. Moscow: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo, 447.
- Boyko, L. G., Ershov, V. N., Girich, G. A., Yanevich, V. N. (1989). Metod rascheta dvumernogo techeniya v mnogostupenchatom osevom kompressore. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy*, 5, 21–23.
- Yershov, V. N. (1971). Unstable Conditions of Turbodynamics. Rotating stall. U.S. Air Force Foreign Technology Division Translation. FTD-MT-24-04-71.
- Boyko, L. G., Datsenko, V. A., Pizhankova, N. V. (2019). Determination of the throttle performances of a turboshaft gte based on the method of mathematical modeling using one and two-dimensional approaches to the compressor parameters calculation. *Aerospace technic and technology*, 7, 21–30. doi: <https://doi.org/10.32620/akt.2019.7.03>
- Turboval'niy dvigatel' TV3-117 (1986). *Rukovodstvo po tekhnicheskoy ekspluatatsii*. Kniga 3. Available at: <https://tehclub.site/storage/products/07-20/turbovalnyy-dvigatel-tvz-117-rukovodstvo-po-tekhnicheskoy-ekspluatatsii.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239146

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF ENERGY CONVERSION PROCESSES IN AN INDUCTION MOTOR SUPPLIED FROM AN AUTONOMOUS INDUCTION GENERATOR WITH PARAMETRIC NON-SYMMETRY (p. 67–82)

Volodymyr Chenchivoi

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6478-3767>

Valeriy Kuznetsov

Railway Research Institute, Warsaw, Poland
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4165-1056>

Vitaliy Kuznetsov

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8169-4598>

Olga Chenchiva

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8826-3248>

Iurii Zachepa

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4364-6904>

Oleksii Chorny

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8270-3284>

Maksim Kovzel

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of
Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5720-1186>

Viktor Kovalenko

Zaporizhzhya National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5950-4412>

Mykola Babyak

Dnipro National University of Railway Transport named after
Academician V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5125-9133>

Serhii Levchenko

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2947-3963>

The paper presents studies of the system “induction generator-induction motor” with parametric asymmetry on a mathematical model to determine the quality of generated electricity in load operating modes. A mathematical model of the “induction generator-induction motor” system has been developed taking into account losses in steel and parametric asymmetry. The analysis of the transient characteristics of an induction generator when a motor load is connected in symmetrical and asymmetrical modes of operation is carried out. The results of changes in the main characteristics of an induction motor at various degrees of parametric asymmetry in the generator are presented. The quality of the generated electricity was analyzed based on the calculations of the unbalance coefficients for each of the operating modes. The assessment of the thermal state in steady-state conditions was carried out using an equivalent thermal equivalent circuit. Thermal transients were investigated when starting an induction motor from an autonomous energy source based on an induction generator. On a thermal mathematical model, the study of the effect of the output voltage asymmetry on the heating of the connected induction motor was carried out. It is shown that the asymmetry of the output voltage of an induction generator reaches 3–10 % and causes overheating of the windings in excess of the permissible values. A regression model has been developed for studying the operating conditions of an induction motor when powered by an induction generator with an asymmetry of the stator windings. The use of the obtained equations will make it possible to determine the most rational combination of factors affecting the heating of the stator windings of induction machines, in which they will not overheat above the maximum permissible temperature values of the corresponding insulation classes.

Keywords: induction generator, induction motor, mathematical model, hodograph, thermal model, regression analysis.

References

- Chorny, O. P., Zachepa, I. V., Mazurenko, L. I., Buryakovskiy, S. G., Chenchevoi, V. V., Zachepa, N. V. (2020). Local autonomous sources of energy supply for emergencies. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 5, 45–48. doi: <http://doi.org/10.15407/techned2020.05.045>
- Chenchevoi, V., Zachepa, I., Chorny, O., Zachepa, N., Ogar, V., Shokarov, D. (2018). The Formed Autonomous Source for Power Supply of Single-Phase Consumers on the Basis of the Three-Phase Asynchronous Generator. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 110–115. doi: <http://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559522>
- Kitsis, S. I. (2003). *Asinkhronnye samovozbuzhdaiuschiesia generatory*. Moscow: Energoatomizdat, 327. Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002391609>
- Toroptsev, N. D. (2004). *Asinkhronnye generatory dlia avtonomnykh elektroenergeticheskikh ustanovok*. Moscow: NTF «Energoprogress», 87. Available at: <https://knigogid.ru/books/1844853-asinhronnye-generatory-dlya-avtonomnyh-elektroenergeticheskikh-ustanovok>
- Üçtuğ, Y., Demirekler, M. (1988). Modelling, analysis and control of a wind-turbine driven self-excited induction generator. *IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution*, 135 (4), 268–275. doi: <http://doi.org/10.1049/ip-c.1988.0037>
- Hallenius, K.-E., Vas, P., Brown, J. E. (1991). The analysis of a saturated self-excited asynchronous generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 6 (2), 336–345. doi: <http://doi.org/10.1109/60.79641>
- Abbou, A., Barara, M., Ouchatti, A., Akhenaz, M., Mahmoudi, H. (2013). Capacitance required analysis for self-excited induction generator. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 55 (3). Available at: https://www.researchgate.net/publication/287702318_Capacitance_required_analysis_for_self-excited_induction_generateur
- Simoës, M. G., Farret, F. A. (2004). *Renewable Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators*. London: CRC Press, 358. Available at: <https://searchworks.stanford.edu/view/5660475>
- Zagirnyak, M., Mamchur, D., Kalinov, A. (2014). A comparison of informative value of motor current and power spectra for the tasks of induction motor diagnostics. 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 540–545. doi: <http://doi.org/10.1109/epepecm.2014.6980549>
- Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V. (2017). Variable-frequency electric drive with a function of compensation for induction motor asymmetry. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Kyiv, 338–344. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100505>
- Kuznetsova, Y., Kuznetsov, V., Tryputen, M., Kuznetsova, A., Tryputen, M., Babyak, M. (2019). Development and Verification of Dynamic Electromagnetic Model of Asynchronous Motor Operating in Terms of Poor-Quality Electric Power. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 350–353. doi: <http://doi.org/10.1109/mees.2019.8896598>
- Zagirnyak, M., Melnykov, V., Kalinov, A. (2019). The review of methods and systems of fault-tolerant control of variable-frequency electric drives. *Przeglad Elektrotechniczny*, 95 (1), 141–144. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.01.36>
- Melnykov, V., Kalinov, A. (2012). The increasing of energy characteristics of vector-controlled electric drives by means of compensation the induction motor parametrical asymmetry. *Technical Electrodynamics*, 3, 85–86. Available at: http://previous.techned.org.ua/2012_3/st40.pdf
- Zagirnyak, M., Kalinov, A., Chumachova, A. (2013). Correction of operating condition of a variable-frequency electric drive with a non-linear and asymmetric induction motor. *Eurocon 2013*. Zagreb, 1033–1037. doi: <http://doi.org/10.1109/eurocon.2013.6625108>
- Razgildeev, G., Khramtsov, R. (2005). Issledovanie raboty asinkhronnogo generatora na individualnuiu set sredstvami imitatsionnogo modelirovaniia Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 1, 84–87. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-raboty-asinhronnogo-generatora-na-individualnuyu-set-sredstvami-imitatsionnogo-modelirovaniya>
- Kim, C.-W., Jang, G.-H., Seo, S.-W., You, D.-J., Choi, J.-Y. (2020). Experimental verification and analysis of temperature characteristics of induction generator considering stator loss distribution. *AIP Advances*, 10 (1), 015139. doi: <http://doi.org/10.1063/1.5130023>

17. Refoufi, L., Bentarzi, H., Dekhandji, F. Z. (2006). Voltage Unbalance Effects on Induction Motor Performance. Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization. Lisbonn 112–117. Available at: https://www.academia.edu/3284729/Voltage_Unbalance_Effects_on_Induction_Motor_Performance
18. Adouni, A., J. Marques Cardoso, A. (2020). Thermal Analysis of Low-Power Three-Phase Induction Motors Operating under Voltage Unbalance and Inter-Turn Short Circuit Faults. *Machines*, 9 (1), 2. doi: <http://doi.org/10.3390/machines9010002>
19. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V., Stakhiv, P. (2016). Fault-tolerant control of an induction motor with broken stator electric circuit. 2016 Electric Power Networks (EPNet). doi: <http://doi.org/10.1109/epnet.2016.7999372>
20. Kuznetsov, V., Tryputen, M., Tytiuk, V., Rozhnenko, Z., Levchenko, S., Kuznetsov, V. (2021). Modeling of thermal process in the energy system “Electrical network – asynchronous motor.” E3S Web of Conferences, 280, 05003. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005003>
21. Fedorov, M., Ivchenkov, N., Tkachenko, A. (2013). Osobennosti teplovogo sostoianiya asinkhronnykh dvigatelei pri nesimetrii pitaiushchego napriazheniya. *Nauchnyi vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi mashinostroitelnoi akademii*, 1, 164–170. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2013_1_25
22. Pinchuk, O., Kutkovi, I. (2009). Otsenka teplovogo sostoianiya asinkhronnogo dvigatelja po dannym kontrolija tokov statora pri nesimetriji pitaiushchego napriazheniya. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Serija: Elektrotehnika i energetika*, 9 (158), 100–196. Available at: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/5008/1/Art_34_190.pdf
23. Pustovetov, M., Sinyavskiy, I. (2011). On dynamics of thermal processes in induction motor under supply voltage unbalance. *Vestnik of Don State Technical University*, 11 (8-1), 1227–1237. Available at: <https://www.vestnik-donstu.ru/jour/article/download/849/844>
24. Zagirnyak, M., Chenchevoi, V., Ogar, V., Yatsiuk, R. (2020). Refining induction machine characteristics at high saturation of steel. *Przeglad Elektrotechniczny*, 96 (11), 119–123. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2020.11.24>
25. Kuznetsov, V., Nikolenko, A. (2015). Models of operating asynchronous engines at poor-quality electricity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (73)), 37–42. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36755>
26. Zagirnyak, M., Prus, V., Rodkin, D., Zachepa, I., Chenchevoi, V. (2019). A refined method for the calculation of steel losses at alternating current. *Archives of Electrical Engineering*, 68 (2), 295–308. doi: <http://doi.org/10.24425/ae.2019.128269>
27. Lv, X., Sun, D., Sun, L. (2019). Determination of Iron Loss Coefficients of Ferromagnetic Materials Used in Cryogenic Motors. 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). doi: <http://doi.org/10.1109/icems.2019.8922160>
28. Liu, G., Liu, M., Zhang, Y., Wang, H., Gerada, C. (2020). High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor Iron Loss Calculation Method Considering Multiphysics Factors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67 (7), 5360–5368. doi: <http://doi.org/10.1109/tie.2019.2934075>
29. Iakimov, V. V. (1996). Problemy ucheta poter v stali pri raschete perekhodnykh protsessov v elektricheskikh mashinakh peremennogo toka. *Tez. dokl. II Mezhdunarodnoi konferentsii po elektromekhanike i elektrotekhnologii*, CHast 1. Krym, 172–174.
30. Iakimov, V. V., Shestakov, A. V. (1997). Uchet poter v stali v sinkhronnykh mashinakh. *Elektrotehnika i energetika. Kirov*, 2, 49–52.
31. Nedelcu, S., Ritchie, E., Leban, K., Ghita, C., Trifu, I. (2013). Iron losses evaluation in soft magnetic materials with a sinusoidal voltage supply. 2013 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). doi: <http://doi.org/10.1109/atee.2013.6563461>
32. Ionel, D. M., Popescu, M., McGilp, M. I., Miller, T. J. E., Delinger, S. J., Heideman, R. J. (2007). Computation of Core Losses in Electrical Machines Using Improved Models for Laminated Steel. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43 (6), 1554–1564. doi: <http://doi.org/10.1109/tia.2007.908159>
33. Qiu, Y., Zhang, W., Cao, M., Feng, Y., Infield, D. (2015). An Electro-Thermal Analysis of a Variable-Speed Doubly-Fed Induction Generator in a Wind Turbine. *Energies*, 8 (5), 3386–3402. doi: <http://doi.org/10.3390/en8053386>
34. Hodgins, N., Mueller, M. A., Tease, W. K., Staton, D. (2010). Thermal model of an induction generator in oscillating water column wave energy converter. 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010). doi: <http://doi.org/10.1049/cp.2010.0020>
35. Stephen Ejiolor, O., Justin, U., Damian Benneth, N., Uche, O. (2019). Development and thermal modeling of an induction machine. *International Journal of Engineering & Technology*, 8 (4), 500–508. doi: <http://doi.org/10.14419/ijet.v8i4.29727>
36. Badran, O., Sarhan, H., Alomour, B. (2012). Thermal Performance Analysis of Induction Motor. *International Journal of Heat and Technology*, 30 (1), 75–88.
37. Shreiner, R. T., Kostylev, A. V., Krivoviaz, V. K., Shilin, S. I. (2008). Elektromekhanicheskie i teplovye rezhimy asinkhronnykh dvigatelei v sistemakh chastotnogo regulirovaniia. *Ekaterinburg: GOU VPO “RGPPU”*, 361. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21333083>
38. Chenchevoi, V., Romashykhin, I., Romashykhina, Z. I., Al-Mashakbeh, A. S. (2017). Analysis of the special features of the thermal process in an induction generator at high saturation of the magnetic system. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 3, 16–18. doi: <http://doi.org/10.20998/2074-272x.2017.3.02>
39. Tryputen, N., Kuznetsov, V., Kuznetsova, Y. (2019). About the Possibility of Researching the Optimal Automatic Control System on a Physical Model of a Thermal Object. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 1244–1248. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2019.8879830>
40. Aarniovuori, L., Lindh, P., Karkkainen, H., Niemela, M., Pyrhonen, J., Cao, W. (2019). Analytical Evaluation of High-Efficiency Induction Motor Losses. 2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC). San Diego, 1501–1507. doi: <http://doi.org/10.1109/iemdc.2019.8785380>
41. EN 50160-2010 (2010). Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/18a86a7c-c08e-405e-88cb-8a24e5fedde5/en-50160-2010#:~:text=CLC%2FTFC%208X,Voltage%20characteristics%20of%20electricity%20supplied%20by%20public%20electricity%20networks,networks%20under%20normal%20operating%20conditions>
42. GOST 13109–97 Elektricheskaiia energii. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obschego naznacheniiia (1999). Minsk: BelGISS, 31. Available at: http://odz.gov.ua/lean_pro/standardization/files/elektromagnitnaja_sovmestimost_2014_03_11_1.pdf
43. GOST 30804.4.7-2013. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Obschee rukovodstvo po sredstvam izmerenii i izmereniyam garmonik i intergarmonik dlia sistem elektrosnabzheniia i podkluchaemykh k nim tekhnicheskikh sredstv (2013). Moscow: Standartinform. Available at: <https://shop.znak.store/gost/oks-33/oks-33-100/oks-33-100-10/gost-30804472013-iec-61000472009-sovmestimost-tehnicheskikh-sredstv-elektromagnitnaya-obshee-rukovodstvo-po-sredstvam-izmerenij-i-izmereniyam-garmonik-i-intergarmonik-dlya-sistem-elektrosnabzheniia-i-p>
44. Sistyemy elektricheskoi izoliatsiyi. Otsenka nagrevostoikosti i klasifikatsiya: GOST 8865-93 (1993). Kyiv: Gosstandart Ukrainy, 14.

45. Adler, Iu. P., Markova, E. V., Granovskii, Iu. V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy*. Moscow: Nauka, 279.
46. Borovikov, V. (2003). *STATISTICA. Iskustvo analiza dannykh na kompiutere: Dlia professionalov*. Saint Petersburg: Piter, 688.
47. Chenchevoi, V., Zacheva, I., Chornyi, O., Chencheva, O., Yatsiuk, R. (2020). Electric Power Quality Induction Generator with Parametric Asymmetry. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 504–508. doi: <http://doi.org/10.1109/khpi-week51551.2020.9250097>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238700

ENHANCEMENT OF ENERGY TRANSFER EFFICIENCY FOR PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS BY COOLING THE PANEL SURFACES (p. 83–89)

Hasan Shakir Majdi

Al-Mustaqbal University College, Babil, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6752-4835>

Mahmoud A. Mashkour

University of Technology, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4877-3427>

Laith Jafer Habeeb

University of Technology, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-4432>

Ahmad H. Sabry

Universiti Tenaga Nasional, Kajang, Selangor, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2736-5582>

The thermal coefficient of a solar photovoltaic (PV) panel is a value that is provided with its specification sheet and tells us precisely the drop in panel performance with rising temperature. In desert climates, the PV panel temperatures are known to reach above 70 degrees centigrade. Exploring effective methods of increasing energy transfer efficiency is the issue that attracts researchers nowadays, which also contributes to reducing the cost of using solar photovoltaic (PV) systems with storage batteries. Temperature handling of solar PV modules is one of the techniques that improve the performance of such systems by cooling the bottom surface of the PV panels. This study initially reviews the effective methods of cooling the solar modules to select a proper, cost-effective, and easy to implement one. An active fan-based cooling method is considered in this research to make ventilation underneath the solar module. A portion of the output power at a prespecified high level of battery state-of-charge (SOC) is used to feed the fans. The developed comparator circuit is used to control the power ON/OFF of the fans. A Matlab-based simulation is employed to demonstrate the power rate improvements and that consumed by the fans. The results of simulations show that the presented approach can achieve significant improvements in the efficiency of PV systems that have storage batteries. The proposed method is demonstrated and evaluated for a 1.62 kW PV system. It is found from a simultaneous practical experiment on two identical PV panels of 180 W over a full day that the energy with the cooling system was 823.4 Wh, while that without cooling was 676 Wh. The adopted approach can play a role in enhancing energy sustainability.

Keywords: temperature effects on PV, cooling techniques, solar photovoltaic PV, thermal simulation, passive air cooling.

References

1. Wilson, G. M., Al-Jassim, M., Metzger, W. K., Glunz, S. W., Verlinden, P., Xiong, G. et. al. (2020). The 2020 photovoltaic technologies roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53 (49), 493001. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab9c6a>
2. Sabry, A. H., Hasan, W. Z. W., Kadir, M. A., Radzi, M. A. M., Shafie, S. (2017). Photovoltaic-Powered Smart Home System with Direct Current-Environment. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 14 (9), 4158–4173. doi: <https://doi.org/10.1166/jctn.2017.6882>
3. Hansen, C., Unruh, D., Zimanyi, G. T. (2020). TRIDENS: TRansport In DEfected Nanoparticle Solids Simulator for Nanoparticle Solar Cells. 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). doi: <https://doi.org/10.1109/pvsc45281.2020.9300972>
4. Lan, C. W., Yang, Y. M., Yu, A., Wu, Y. C., Hsu, B., Hsu, W. C., Yang, A. (2015). Recent Progress of Crystal Growth Technology for Multi-Crystalline Silicon Solar Ingot. *Solid State Phenomena*, 242, 21–29. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.242.21>
5. Ju, X., Xu, C., Hu, Y., Han, X., Wei, G., Du, X. (2017). A review on the development of photovoltaic/concentrated solar power (PV-CSP) hybrid systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 161, 305–327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.12.004>
6. Bhatnagar, Y., McComb, B., Tang, J., Subramani, M., Wang, W. D., Zhang, H. et. al. (2010). Textured AZO on silicon oxy-nitride barrier films for enhanced light trapping in micromorph tandem junction solar cells. 2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/pvsc.2010.5614547>
7. Pardo García, N., Zubi, G., Pasaoglu, G., Dufo-López, R. (2017). Photovoltaic thermal hybrid solar collector and district heating configurations for a Central European multi-family house. *Energy Conversion and Management*, 148, 915–924. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.065>
8. Anand, B., Shankar, R., Murugavelh, S., Rivera, W., Midhun Prasad, K., Nagarajan, R. (2021). A review on solar photovoltaic thermal integrated desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110787. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110787>
9. Gürlich, D., Dalibard, A., Eicker, U. (2017). Photovoltaic-thermal hybrid collector performance for direct trigeneration in a European building retrofit case study. *Energy and Buildings*, 152, 701–717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.081>
10. Conti, P., Schito, E., Testi, D. (2019). Cost-Benefit Analysis of Hybrid Photovoltaic/Thermal Collectors in a Nearly Zero-Energy Building. *Energies*, 12 (8), 1582. doi: <https://doi.org/10.3390/en12081582>
11. Sarafraz, M., Safaei, M., Leon, A., Tlili, I., Alkanhal, T., Tian, Z. et. al. (2019). Experimental Investigation on Thermal Performance of a PV/T-PCM (Photovoltaic/Thermal) System Cooling with a PCM and Nanofluid. *Energies*, 12(13), 2572. doi: <https://doi.org/10.3390/en12132572>
12. Wang, Y., Rao, Z., Liu, J., Liao, S. (2020). An optimized control strategy for integrated solar and air-source heat pump water heating system with cascade storage tanks. *Energy and Buildings*, 210, 109766. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109766>
13. Delač, B., Pavković, B., Lenić, K. (2018). Design, monitoring and dynamic model development of a solar heating and cooling system. *Applied Thermal Engineering*, 142, 489–501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.052>
14. Sun, W., Yang, Q., Fang, H., Zhang, Y., Guan, D., Lu, W. (2013). Application of heating system with active heat storage-release and heat pump in solar greenhouse. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. doi: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.021>
15. Lu, H., Ma, X., Ma, M., Zhu, S. (2021). Energy price prediction using data-driven models: A decade review. *Computer Science Review*, 39, 100356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100356>
16. Sahay, A., Sethi, V. K., Tiwari, A. C., Pandey, M. (2015). A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS). *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews, 42, 306–312. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.009>
17. Alonso García, M. C., Balenzategui, J. L. (2004). Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations. *Renewable Energy*, 29 (12), 1997–2010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.03.010>
 18. Tang, X., Quan, Z., Zhao, Y. (2010). Experimental Investigation of Solar Panel Cooling by a Novel Micro Heat Pipe Array. *Energy and Power Engineering*, 02 (03), 171–174. doi: <https://doi.org/10.4236/epe.2010.23025>
 19. Valadez, T. N., Norton, J. R., Neary, M. C. (2015). Reaction of Cp*(Cl)M(Diene) (M = Ti, Hf) with Isonitriles. *Journal of the American Chemical Society*, 137 (32), 10152–10155. doi: <https://doi.org/10.1021/jacs.5b06654>
 20. Khan, M., Ko, B., Alois Nyari, E., Park, S., Kim, H.-J. (2017). Performance Evaluation of Photovoltaic Solar System with Different Cooling Methods and a Bi-Reflector PV System (BRPVS): An Experimental Study and Comparative Analysis. *Energies*, 10 (6), 826. doi: <https://doi.org/10.3390/en10060826>
 21. Flow Simulation Improves Photovoltaic Solar Panel Performance. Whitepaper by Schuco Using Flowmetrics (2008). Schuco.
 22. Dubey, S., Tiwari, G. N. (2008). Thermal modeling of a combined system of photovoltaic thermal (PV/T) solar water heater. *Solar Energy*, 82 (7), 602–612. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.005>
 23. Tonui, J. K., Tripanagnostopoulos, Y. (2007). Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Renewable Energy*, 32 (4), 623–637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.03.006>
 24. Sabry, A. H., Hasan, W. Z. W., Kadir, M. A., Radzi, M. A. M., Shafie, S. (2018). Wireless Monitoring Prototype for Photovoltaic Parameters. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11 (1), 9. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i1.pp9-17>
 25. Ibrahim, M., Zinsser, B., El-Sherif, H., Hamouda, E., Georghiou, G. E., Schubert, M., Werner, J. H. (2009). Advanced Photovoltaic Test Park in Egypt for Investigating the Performance of Different Module and Cell Technologies. Conference: 24 Symposium Photovoltaische Solarenergie.
 26. Rajae, F., Rad, M. A. V., Kasaeian, A., Mahian, O., Yan, W.-M. (2020). Experimental analysis of a photovoltaic/thermoelectric generator using cobalt oxide nanofluid and phase change material heat sink. *Energy Conversion and Management*, 212, 112780. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112780>
 27. Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M. A. M., Sachit, F. A. (2020). Theoretical study and indoor experimental validation of performance of the new photovoltaic thermal solar collector (PVT) based water system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 18, 100595. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100595>
 28. PV Array. Implement PV array modules. MathWorks. Available at: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/pvarray.html>
 29. Gow, J. A., Manning, C. D. (1999). Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies. *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, 146 (2), 193. doi: <https://doi.org/10.1049/ip-epa:19990116>
 30. Waluyo, Sawitri, K., Hamlar, F. (2020). Comparative computations on supplied and lost energy utilizing numerical integrations. *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)*, 68 (2), 32–40.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239147

ПРОГНОЗУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЇХ НЕПОВНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ (с. 6–15)

В. Я. Грудз, Я. В. Грудз, М. М. Якимів, М. М. Якимів, П. А. Ягода

Тривала експлуатація газотранспортної системи в умовах неповного завантаження передбачає часті зміни обсягів транспортування газу, що викликає необхідність в оперативному прогнозуванні режимів роботи системи.

При прогнозуванні режимів роботи газотранспортної системи основним критерієм оптимальності вважається максимум обсягу перекачування газу. Адаже в цьому випадку досягається найбільший прибуток газотранспортного підприємства за умови повного забезпечення споживачів енергоносієм.

В умовах неповного завантаження газотранспортної системи, викликаних дефіцитом постачання газу, критерії оптимальності суттєво змінюються. По-перше, обладнання експлуатується в області режимів, далеких від номінальних, що призводить до зростання енерговитрат. По-друге, зміни продуктивності викликають коливання тиску на виході компресорних станцій з значними амплітудами.

На основі математичного моделювання нестационарних процесів встановлено амплітуду і частоту коливання тиску на виході компресорних станцій, що може спричинити перевантаження трубопроводу. Для запобігання цьому пропонується знижувати початковий тиск по відношенню до максимального. Отримана розрахункова залежність, яка пов'язує амплітуду коливань тиску з характеристиками газопроводу і нестационарного процесу.

Зниження енерговитрат на транспорт пов'язано з виключенням з експлуатації окремих компресорних станцій (КС). Математичне моделювання дозволило встановити закономірності зниження продуктивності газотранспортної системи і тривалості нестационарного процесу в залежності від розміщення компресорної станції на трасі. З збільшенням номера виключеної КС ступінь зниження продуктивності і тривалість нестационарності зменшуються.

Встановлені закономірності і запропоновані рішення дозволять підвищити надійність експлуатації газотранспортної системи за рахунок запобігання перевантаження трубопроводу і скоротити затрати на транспорт газу шляхом вибору номера відключених станцій при відомому зниженні продуктивності.

Ключові слова: газотранспортна система, компресорна станція, лінійна ділянка, неповне завантаження, нестационарний процес.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238649

АНАЛІЗ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ЗМІШАНОЇ КОНВЕКЦІЇ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ КАНАЛІ, ЧАСТКОВО НАГРІТОМУ ЗНИЗУ (с. 16–22)

Mahmoud A. Mashkour

Явище теплової конвекції було досліджено чисельно (математично) для каналу, розташованого горизонтально і частково нагрітого при рівномірному тепловому потоці з примусовою і вільною тепловою конвекцією. Досліджуваний горизонтальний канал з впускним отвором для рідини і оболонкою піддавався впливу джерела тепла знизу, в той час як на верхній стороні каналу підтримувалася постійна температура, рівна температурі рідини на виході. У каналі передбачається нестационарний, ламінарний, нестисливий і змішаний конвективний потік. Тому поле потоку оцінюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які включають наближення Буссінеска. При цьому температурне поле розраховується з використанням стандартної енергетичної моделі, де Re , Pr , Ri – число Рейнольдса, число Прандтля і число Річардсона відповідно. Число Рейнольдса (Re) варіювалося під час випробувань від 1 до 50 (1, 10, 25 і 50) для кожного конкретного випадку, число Річардсона (Ri) змінювалося від 1 до 25 (1, 5, 10, 15, 20, і 25). Середнє число Нуссельта (Nu_{av}) збільшується експоненціально зі збільшенням числа Рейнольдса для кожного числа Річардсона, локальне число Нуссельта (Nu_l) зростає в точці нагріву. Потім поступово стабілізується до досягнення кінцевої точки каналу, в той час як локальне число Нуссельта збільшується зі зменшенням числа Рейнольдса. Крім того, лінії течії і ізотерми у випадку дуже низького значення числа Рейнольдса вказують на дуже низьку конвективну теплопередачу при всіх значеннях числа Річардсона. Більш того, поблизу джерела тепла збільшення швидкості потоку рідини збільшує конвективну теплопередачу, що пояснює поведінку числа Нуссельта з числом Рейнольдса, що вказує на те, що максимальне значення числа Nu дорівнює 6, 12, 27 і 31 при значеннях числа Re 1, 10, 25 і 50 відповідно.

Ключові слова: змішана конвекція, канал, рівномірний тепловий потік, число Річардсона, відкрита порожнина.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238203

СИНТЕЗ СХЕМНО-ЦИКЛОВИХ РІШЕНЬ АБСОРБЦІЙНИХ ВОДОАМІАЧНИХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРІВ З РОЗШИРЕНОЮ ЗОНОЮ ДЕГАЗАЦІЇ (с. 23–33)

Б. В. Косой, Л. І. Морозюк, С. О. Псарьов, А. К. Куколев

Пошук нових і вдосконалення існуючих технічних рішень енергоперетворювальних систем для конкретних споживачів вимагає обґрунтованого вибору найбільш доцільних рішень для даних об'єктів.

Термотрансформатори, що працюють за зворотними і змішаними термодинамічними циклами, у комплексі з енергетичними установками з відновлювальною та нетрадиційною первинною енергією (паливом) відносять до інтересів малої енергетики (системам тригенерації), що узгоджується з концепцією розподіленого виробництва енергії.

Виробництво холоду в системах тригенерації забезпечують тепловикористальні термотрансформатори.

Представлено метод синтезу схемно-циклового рішення абсорбційних водоаміачних термотрансформаторів з використанням відновлювальних джерел тепла з низьким температурним потенціалом 90–250 °С.

«Методом циклів» здійснено термодинамічний аналіз циклу понижувального абсорбційного термотрансформатора з розширенням зони дегазації при підвищенні температури джерела, що гріє, обґрунтовано технологічні схеми для відповідних циклів.

Встановлено вплив зміни зони дегазації на енергетичну ефективність машини. Запропоновано схемно-циклове рішення термохімічного компресора термотрансформатора зі зворотним подаванням розчинів у генератор і абсорбер при «перевищенні температур» як способу підвищення енергетичної ефективності циклу.

На конкретному прикладі виконано порівняльний аналіз ступеня термодинамічної досконалості розглянутих циклів.

Термодинамічний аналіз показав, що практична реалізація схемно-циклового рішення «з перевищенням температур» здатна забезпечити умови енергозбереження в системах тригенерації малої енергетики.

Ключові слова: термодинамічний аналіз, «метод циклів», абсорбційний водоаміачний термотрансформатор, зона дегазації, перевищення температур.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237873

РОЗРОБКА ПАРОВОГО ЕЛЕКТРООБІГРІВАЧА НИЗЬКОГО ТИСКУ (с. 34–44)

Ali Mekhtiyev, Iossif Breido, Rustam Buzyakov, Yelena Neshina, Aliya Alkina

Дослідження присвячене вирішенню питання створення нових електронагрівальних приладів, які можна використовувати в автономних системах тепlopостачання. Вирішення питань здійснювалося за допомогою розробки власного парового електрообігрівача низького тиску. Робота спрямована на підвищення ефективності систем тепlopостачання будівель і споруд в сучасних тенденціях загальносвітового розвитку енергозбереження, яке не може бути реалізовано в повній мірі без впровадження високотехнологічного та низькоенергоємного електрообладнання. В результаті проведення теоретичних досліджень теплової трубки з електричним нагрівачем розроблена конструкція вакуумного електричного нагрівального елемента. Паровий електрообігрівач низького тиску може бути використаний в системах тепlopостачання автономних споживачів. Транспортування теплової енергії супроводжується значними втратами, так як теплоносію доводиться долати значні відстані. У деяких випадках підключення об'єкта до теплоцентралі неможливо в силу технічних проблем або значних матеріальних витрат на монтаж трубопроводів. В результаті досліджень встановлено залежність нагрівання теплової трубки при різному обсязі теплоносія та масі самої трубки. При досягненні певної маси температура поверхонь нагріву може досягти 70 °С, що вважається допустимим. Отримані дані експериментів дозволили розробити електрообігрівач нового покоління з принципово новою конструкцією нагрівального елемента. Поєднує в собі ефективність електричної спіралі та комфортне тепло традиційного радіатора опалення. Даний обігрівач є вибухо- та пожежобезпечним і може бути інтегрований в систему «Розумний будинок».

Ключові слова: радіатор опалення, електрообігрівач, енергозбереження, система тепlopостачання, тепловий прилад, автономність, енергоефективність, електроенергія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.236825

ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГУНА ДЛЯ РОБОТИ З НЕСИМЕТРИЧНИМИ ОБМОТКАМИ СТАТОРА (с. 45–58)

С. О. Гулак, Б. Г. Любарський, С. Ю. Сапронова, В. П. Ткаченко, Є. С. Рябов, М. Л. Глебова

Проведений аналіз умов експлуатації асинхронних тягових двигунів у складі тягових електроприводів електровозів показав, що їх живлення здійснюється від автономних інверторів напруги з несиметричною несинусоїдальною напругою. Встановлено, що в процесі експлуатації в асинхронному двигуні можуть виникнути дефекти, які викликають несиметричні режими статора двигуна. Запропоновано модель асинхронного двигуна з врахуванням зміни величин взаємних індуктивностей фаз та повної індуктивності кола намагнічування від зміни геометричних розмірів обмотки, викликаній тим чи іншим дефектом. Запропоновано алгоритм врахування насичення магнітопроводу електродвигуна.

Такий підхід до моделювання асинхронного двигуна є важливим тому, що при ушкодженні однієї з обмоток статора відбувається зміна її геометрії. Це призводить до зміни взаємних індуктивностей фаз і повної індуктивності кола намагнічування. Існуючі підходи до моделювання асинхронного двигуна не дозволяють в повній мірі врахувати ці зміни.

В результаті моделювання отримані пускові характеристики для неушкодженого і ушкодженого двигуна. Порівняння результатів моделювання для неушкодженого двигуна з паспортними даними показали, що похибка визначення контрольованих параметрів не перевищила 5 %. Отримані результати моделювання для ушкодженого двигуна показали, що характер зміни контрольованих параметрів не суперечать результатам, наведеним в роботах інших авторів. Розбіжність у визначенні ступеню змін контрольованих параметрів не перевищила 10 %. Це свідчить про високу достовірність результатів моделювання.

Запропонована модель асинхронного електродвигуна може бути застосована для дослідження електромагнітних процесів, що відбуваються в електродвигуні під час його експлуатації в складі тягового приводу електровозів.

Ключові слова: асинхронний тяговий двигун, тяговий привод електровозу, несиметрія обмоток, насичення магнітопроводу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238538

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОВАЛЬНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА З ПОВІНЦЕВИМ ОПИСОМ БАГАТОСТУПЕНЕВОГО КОМПРЕСОРА В ДВОВИМІРНІЙ ПОСТАНОВЦІ (с. 59–66)

Л. Г. Бойко, В. А. Даценко, О. Є. Дьомін, Н. В. Піжанкова

Проектування і доведення сучасних газотурбінних двигунів в значній мірі покладається на використання методів чисельних досліджень.

Розроблено метод розрахунку термогазодинамічних параметрів і характеристик турбовального газотурбінного двигуна. Особливістю даного методу є двовимірне повінцеве описання компресора в системі двигуна. В основу методу розрахунку покладено нелінійну математичну модель, що дозволяє описати сталі процеси, що відбуваються в окремих вузлах і в двигуні в цілому. Для побудови математичної моделі обраний модульний принцип, який передбачає створення системи взаємопов'язаних і узгоджених між собою моделей вузлів і їх елементів.

Використовуваний підхід до моделювання двовимірної течії в компресорі дозволяє оцінити значну кількість параметрів, що характеризують його роботу.

За допомогою представленого методу можна оцінити вплив зміни геометричних параметрів по висоті лопатки компресора на характеристики двигуна. Врахувати вплив змінного по режимам відбору повітря або перепуску в різних перетинах по тракту компресора, визначити вплив вхідної радіальної нерівномірності на параметри компресора і двигуна в цілому.

В якості апробації представленого методу виконано розрахунок термогазодинамічних параметрів і дросельної характеристики однокаскадного турбовального газотурбінного двигуна з 12-ти ступеневим осьовим компресором. Зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними показали задовільну збіжність. Так, середньоквадратичне відхилення результатів розрахунку від експериментальних даних становить 0,45 % для характеристики компресора, 0,4 % для потужності і 0,15 % для питомої витрати палива.

Розробка і вдосконалення методів розрахунку параметрів і характеристик газотурбінних двигунів дозволяє підвищити якість проектування і конкурентноздатність сучасних авіаційних двигунів.

Ключові слова: газотурбінний двигун, дросельна характеристика, осьовий компресор, повінцеве двовимірне моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239146

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ПАРАМЕТРИЧНОЮ НЕСИМЕТРІЄЮ (с. 67–82)

В. В. Ченчевой, В. Г. Кузнецов, В. В. Кузнецов, Ю. В. Зачепа, О. О. Ченчева, О. П. Чорний, М. А. Ковзель, В. Л. Коваленко, М. О. Баб'як, С. А. Левченко

Представлені дослідження системи «асинхронний генератор-асинхронний двигун» з параметричною несиметрією на математичній моделі для визначення якості генерованої електроенергії в навантажувальних режимах роботи. Розроблено математичну модель системи «асинхронний генератор-асинхронний двигун» з урахуванням втрат в сталі і параметричної несиметрії. Виконано аналіз перехідних характеристик асинхронного генератора при підключенні двигуна навантаження при симетричних і несиметричних режимах роботи. Представлені результати зміни основних характеристик асинхронного двигуна при різному ступені параметричної несиметрії в генераторі. Якість генерованої електроенергії аналізувалася на основі розрахунків коефіцієнтів несиметрії для кожного з режимів роботи. Оцінка теплового стану в сталих режимах виконана з використанням еквівалентної теплової схеми заміщення. Досліджено теплові перехідні процеси при пуску асинхронного двигуна від автономного джерела енергії на базі асинхронного генератора. На тепловій математичній моделі проведено дослідження впливу несиметрії вихідної напруги на нагрів підключеного асинхронного двигуна. Показано, що несиметрія вихідної напруги асинхронного генератора досягає 3–10 % і викликає перегрів обмоток понад допустимих величин. Розроблено регресійну модель для досліджень умов роботи асинхронного двигуна при живленні від асинхронного генератора з несиметрією обмоток статора. Використання отриманих рівнянь дозволить визначати найбільш раціональне поєднання чинників, що впливають на нагрів статорних обмоток асинхронних машин, при яких вони не будуть перегріватися більше гранично допустимих значень температури відповідних класів ізоляції.

Ключові слова: асинхронний генератор, асинхронний двигун, математична модель, годограф, тепла модель, регресійний аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238700

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕНЕРГІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ПАНЕЛЕЙ (с. 83–89)

Hasan Shakir Majdi, Mahmoud A. Mashkour, Laith Jaafer Habeeb, and Ahmad H. Sabry

Тепловий коефіцієнт сонячної фотоелектричної панелі – це величина, яка вказана в її специфікації і говорить про зниження продуктивності панелі при підвищенні температури. Відомо, що в пустельному кліматі температура фотоелектричних панелей досягає більше 70 градусів Цельсія. Пошук дієвих методів підвищення ефективності передачі енергії є питанням, яке привертає увагу дослідників, що також сприяє зниженню витрат на використання сонячних фотоелектричних систем з акумуляторами.

Регулювання температури сонячних фотоелектричних модулів є одним з методів підвищення продуктивності таких систем за рахунок охолодження нижньої поверхні фотоелектричних панелей. В даному дослідженні спочатку розглядаються ефективні методи охолодження сонячних модулів для вибору відповідного, економічного і простого в реалізації способу. Вивчається метод активного охолодження за допомогою вентиляторів для забезпечення вентиляції під сонячним модулем. Для живлення вентиляторів використовується частина вихідної потужності при заданому високому рівні заряду батареї. Управління вмиканням/вимиканням живлення вентиляторів здійснюється за допомогою розробленого компаратора. Для демонстрації підвищення потужності і потужності, споживаної вентиляторами використовується моделювання на основі Matlab. Результати моделювання показують, що представлений підхід дозволяє домогтися значного підвищення ефективності фотоелектричних систем, що мають акумулятори. Запропонований метод продемонстрований і оцінений для фотоелектричної системи потужністю 1,62 кВт. В результаті одночасного практичного експерименту на двох однакових фотоелектричних панелях потужністю 180 Вт протягом цілого дня було встановлено, що енергія з системою охолодження становила 823,4 Вт-год, в той час як без охолодження – 676 Вт-год. Використання прийнятого підходу може сприяти підвищенню енергетичної стійкості.

Ключові слова: вплив температури на фотоелектричну систему, методи охолодження, фотоелектрична сонячна енергія, теплове моделювання, пасивне повітряне охолодження.