

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299192

CONSTRUCTION OF A RECURRENT NEURAL NETWORK-BASED ELECTRICAL LOAD FORECASTING MODEL FOR A 110 KV SUBSTATION: A CASE STUDY IN THE WESTERN REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN (p. 6–15)

Yerlan Kenessov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3428-6433>

Karmel Tokhtibakiev

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6157-0037>

Almaz Saukhimov

KazNIPI Energoprom JSC, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-9200>

Daniil Vassilyev

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8512-7941>

Alexandr Gunin

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-3709>

Azamat Ilyasov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3988-525X>

This paper presents an approach for using a long short-term memory (LSTM)-based recurrent neural network with various configurations to construct a forecasting model for electrical load prediction of a 110 kV substation.

The issues of unbalances arising in energy management systems due to discrepancies between generated and consumed energy can lead to power outages and blackouts. With the introduction of the most accurate forecasts, the task of maintaining electrical reliability for grid operators can be greatly simplified.

Through an investigation into 81 different parameter combinations, the research revealed the optimal setup for an LSTM model in the task of electrical load forecasting. This configuration comprised 15 neurons, a batch size of 16, and employed the Adamax optimization algorithm. Applying this specific setup yielded a mean squared error (*MSE*) of 5.584 MW² and an *R*² value of 0.99. High *R*² values and low *MSE* values indicate that the LSTM model accurately captures changes in electricity consumption with minimal deviation between predicted and actual consumption values. Selection of appropriate parameters significantly enhances the performance of the predictive model and resulted in a reduction of the *MSE* error from 12.706 to 5.584 MW². The optimized configuration of the LSTM model, tailored through extensive experimentation, enhances its predictive capabilities.

The proposed LSTM model holds practical utility for integrating into systems for monitoring and forecasting mode reliability of electrical networks, particularly in the Western energy hub of the Republic of Kazakhstan. Its accuracy and reliability make

it valuable for energy resource management and infrastructure planning.

Keywords: short-term load forecasting, recurrent neural networks, long short-term memory-based load forecasting.

References

- Ilyasov, A. Z., Saukhimov, A. A., Didorenko, Y. V., Landman, A. K., Janzakov, Y. B. (2022). Creation of a automation generation control system in the unified power system of Kazakhstan. *Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications*, 1, 6–17. https://doi.org/10.51775/2790-0886_2022_56_1_6
- O rabote balansiruyushchego rynka elektricheskoy energii. *Kazhstanskaya kompaniya po upravleniyu elektricheskimi setyami*. Available at: <https://www.kegoc.kz/ru/electric-power/etn/>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. (2008). *Time Series Analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118619193>
- Tarmanini, C., Sarma, N., Gezezin, C., Ozgonenel, O. (2023). Short term load forecasting based on ARIMA and ANN approaches. *Energy Reports*, 9, 550–557. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.01.060>
- Huang, S.-J., Shih, K.-R. (2003). Short-term load forecasting via ARMA model identification including non-gaussian process considerations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 18 (2), 673–679. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2003.811010>
- Sayed, H. A., William, A., Said, A. M. (2023). Smart Electricity Meter Load Prediction in Dubai Using MLR, ANN, RF, and ARIMA. *Electronics*, 12 (2), 389. <https://doi.org/10.3390/electronics12020389>
- Moghran, I., Rahman, S. (1989). Analysis and evaluation of five short-term load forecasting techniques. *IEEE Transactions on Power Systems*, 4 (4), 1484–1491. <https://doi.org/10.1109/59.41700>
- Barakat, E. H., Qayyum, M. A., Hamed, M. N., Al Rashed, S. A. (1990). Short-term peak demand forecasting in fast developing utility with inherit dynamic load characteristics. I. Application of classical time-series methods. II. Improved modelling of system dynamic load characteristics. *IEEE Transactions on Power Systems*, 5 (3), 813–824. <https://doi.org/10.1109/59.65910>
- Wazirali, R., Yaghoubi, E., Abujazar, M. S. S., Ahmad, R., Vakili, A. H. (2023). State-of-the-art review on energy and load forecasting in microgrids using artificial neural networks, machine learning, and deep learning techniques. *Electric Power Systems Research*, 225, 109792. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109792>
- Cai, W., Wen, X., Li, C., Shao, J., Xu, J. (2023). Predicting the energy consumption in buildings using the optimized support vector regression model. *Energy*, 273, 127188. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127188>
- Yusuf, L. O. M., Handoko, S., Setiawan, I. (2023). Forecasting Short-Term Electrical Loads Using Support Vector Regression with Gaussian Kernel Functions. *Advances in Physics Research*, 131–142. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-228-6_16
- Choi, W., Lee, S. (2023). Performance evaluation of deep learning architectures for load and temperature forecasting under dataset size constraints and seasonality. *Energy and Buildings*, 288, 113027. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113027>
- Aseeri, A. O. (2023). Effective RNN-Based Forecasting Methodology Design for Improving Short-Term Power Load Forecasts: Application to Large-Scale Power-Grid Time Series. *Journal of Computational Science*, 68, 101984. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101984>
- Jayashankara, M., Shah, P., Sharma, A., Chanak, P., Singh, S. K. (2023). A Novel Approach for Short-Term Energy Forecasting in

- Smart Buildings. *IEEE Sensors Journal*, 23 (5), 5307–5314. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3237876>
15. Singh, S., Tripathi, M. M. (2022). Short-Term Electricity Demand Forecast Using Deep RNN and Stacked LSTM. *Advances in Manufacturing Technology and Management*, 578–588. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9523-0_64
 16. Haque, A., Rahman, S. (2022). Short-term electrical load forecasting through heuristic configuration of regularized deep neural network. *Applied Soft Computing*, 122, 108877. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108877>
 17. Alhמוד, L., Abu Khurma, R., Al-Zoubi, A. M., Aljarah, I. (2021). A Real-Time Electrical Load Forecasting in Jordan Using an Enhanced Evolutionary Feedforward Neural Network. *Sensors*, 21 (18), 6240. <https://doi.org/10.3390/s21186240>
 18. Meng, Y., Yun, S., Zhao, Z., Guo, J., Li, X., Ye, D. et al. (2023). Short-term electricity load forecasting based on a novel data preprocessing system and data reconstruction strategy. *Journal of Building Engineering*, 77, 107432. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107432>
 19. Jalali, S. M. J., Ahmadian, S., Khosravi, A., Shafie-khah, M., Nahavandi, S., Catalao, J. P. S. (2021). A Novel Evolutionary-Based Deep Convolutional Neural Network Model for Intelligent Load Forecasting. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17 (12), 8243–8253. <https://doi.org/10.1109/tii.2021.3065718>
 20. Yin, L., Xie, J. (2021). Multi-temporal-spatial-scale temporal convolution network for short-term load forecasting of power systems. *Applied Energy*, 283, 116328. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116328>
 21. Tang, X., Chen, H., Xiang, W., Yang, J., Zou, M. (2022). Short-Term Load Forecasting Using Channel and Temporal Attention Based Temporal Convolutional Network. *Electric Power Systems Research*, 205, 107761. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2021.107761>
 22. Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1997). Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9 (8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
 23. Hochreiter, S., Schmidhuber, J. (1996). LSTM can solve hard long time lag problems. In *Advances in neural information processing systems*. Vol. 9. MIT Press, 473–479. Available at: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/1996/file/a4d2f0d-23dce84ce983ff9157f8b7f88-Paper.pdf
 24. Kingma, D. P., Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.6980>
 25. Zou, F., Shen, L., Jie, Z., Zhang, W., Liu, W. (2019). A Sufficient Condition for Convergences of Adam and RMSProp. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2019.01138>
 26. Caicedo-Vivas, J. S., Alfonso-Morales, W. (2023). Short-Term Load Forecasting Using an LSTM Neural Network for a Grid Operator. *Energies*, 16 (23), 7878. <https://doi.org/10.3390/en16237878>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301882

DESIGN OF PROACTIVE MANAGEMENT SYSTEM FOR RESIDENTIAL BUILDINGS BY USING SMART EQUIPMENT (p. 16–25)

Mykola Savytskyi

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4515-2457>

Svitlana Shekhorkina

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7799-2250>

Maryna Bordun

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8539-2423>

Maryna Babenko

Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0775-0168>

Svitlana Tsyhankova

Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9837-3109>

Vitalii Spyrydonenkov

Dnipro ZBK LLC, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3328-8357>

Oleksandr Savytskyi

Private Construction and Installation Enterprise “STROITEL-P”, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7032-295X>

Roman Rabenseifer

Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3399-3398>

This study's object is an energy efficiency of residential sector. The work is aimed at solving the task to improve the energy efficiency of the housing sector by devising technical solutions for monitoring and managing energy consumption and microclimate parameters of buildings. The proposed proactive management system for residential buildings consists of multi-sensors measuring CO₂, temperature and humidity, smart meters of heat and electricity consumption, and smart plugs. The equipment is combined into single system through an integration controller with remote user access through an interactive web interface. A feature of the technical solution is the ability to collect, process, visualize, and archive data on the consumption of energy, as well as on the key parameters of the microclimate of residential premises. The advantages of the system are its flexibility due to the possibility of integrating additional devices during operation, as well as the use of standard communication protocols, which enables the interchangeability of component elements. The implementation and testing were carried out under the conditions of a real pilot site. The use of the system in practice confirmed the efficiency and stability of the operation, making it possible to obtain data on the parameters of energy consumption and microclimate and devising recommendations for reducing energy consumption at the pilot site. It was established that the microclimate meets the requirements of the standards (air temperature is about 22 °C while relative humidity does not exceed 60 %). Decrease in energy consumption can be achieved by reducing the temperature of the heat carrier in the absence of residents, as well as by considering the influence of weather conditions. During periods of residents activity, an excess of the permissible level of CO₂ was recorded, therefore, automatic ventilation systems should be provided in the apartments.

Keywords: energy efficiency, energy management, residential building, smart equipment, internet of things, energy demand, occupants' well-being.

References

1. Shaqour, A., Hagishima, A. (2022). Systematic Review on Deep Reinforcement Learning-Based Energy Management for Different Building Types. *Energies*, 15 (22), 8663. <https://doi.org/10.3390/en15228663>
2. Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending

- Regulation (EU) 2023/955 (recast) (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>
3. Bimenyimana, S., Ishimwe, A., Norensé Osarumwense Asemota, G., Messa Kemunto, C., Li, L. (2018). Web-Based Design and Implementation of Smart Home Appliances Control System. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 168, 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/168/1/012017>
 4. Limpraptono, F. Y., Nurcahyo, E., Ashari, M. I., Yandri, E., Jani, Y. (2021). Design of Power Monitoring and Electrical Control Systems to Support Energy Conservation. Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: A. Physical and Computational Sciences, 58 (S), 1–7. [https://doi.org/10.53560/ppasa\(58-sp1\)726](https://doi.org/10.53560/ppasa(58-sp1)726)
 5. Paolillo, A., Carni, D. L., Kermani, M., Martirano, L., Aiello, A. (2019). An innovative Home and Building Automation design tool for Nanogrids Applications. 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). <https://doi.org/10.1109/eeeic.2019.8783878>
 6. Kermani, M., Adelmanesh, B., Shirdare, E., Sima, C. A., Carni, D. L., Martirano, L. (2021). Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications. Renewable Energy, 171, 1115–1127. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.008>
 7. Van Cutsem, O., Ho Dac, D., Boudou, P., Kayal, M. (2020). Cooperative energy management of a community of smart-buildings: A Blockchain approach. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 117, 105643. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105643>
 8. Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., Stavrakakis, G., Kalaitzakis, K. (2009). Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings. Advances in Building Energy Research, 3 (1), 121–146. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0305>
 9. Mpelogianni, V., Groumpos, P. P. (2015). Using Fuzzy Control Methods for Increasing the Energy Efficiency of Buildings. International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research, 3 (4), 1–22. <https://doi.org/10.4018/ijmstr.2015100101>
 10. Mpelogianni, V., Giannousakis, K., Kontouras, E., Groumpos, P. P., Tspianitis, D. (2019). Proactive Building Energy Management Methods based on Fuzzy Logic and Expert Intelligence. IFAC-PapersOnLine, 52 (25), 519–522. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.597>
 11. Gupta, A., Saini, R. P., Sharma, M. P. (2011). Modelling of hybrid energy system – Part I: Problem formulation and model development. Renewable Energy, 36 (2), 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.035>
 12. Brooks, A., Lu, E., Reicher, D., Spirakis, C., Wehl, B. (2010). Demand Dispatch. IEEE Power and Energy Magazine, 8 (3), 20–29. <https://doi.org/10.1109/mpe.2010.936349>
 13. Papaioannou, I., Dimara, A., Korkas, C., Michailidis, I., Papaioannou, A., Anagnostopoulos, C.-N. et al. (2024). An Applied Framework for Smarter Buildings Exploiting a Self-Adapted Advantage Weighted Actor-Critic. Energies, 17 (3), 616. <https://doi.org/10.3390/en17030616>
 14. Alanne, K., Sierla, S. (2022). An overview of machine learning applications for smart buildings. Sustainable Cities and Society, 76, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103445>
 15. EN 15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
 16. DBN V.2.2-15:2019. Zhytlovi budynky. Osnovni polozhennia. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. Available at: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_2_15_2015_zhitlovi_budinki_osnovni_polozhennja/1-1-0-1184
 17. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiya ta enerhoefektyvnist budivel. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037
 18. DBN V.2.5-67:2013. Opalennia, ventyliatsiya ta kondytsionuvannia. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50154
 19. Precept Project | Less Energy - Smarter Buildings. Available at: <https://www.precept-project.eu/>
 20. WebHMI. Available at: <http://webhmi.com.ua/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300485

DETERMINING THE INFLUENCE OF MOUNTING ANGLE ON THE AVERAGE ANNUAL EFFICIENCY OF FIXED SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES (p. 26–37)

Gennadii Golub

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Nataliya Tsyvenkova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1703-4306>

Volodymyr Nadykto

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-8297>

Oleh Marus

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1521-2885>

Oksana Yaremenko

The Institute of Renewable energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5440-4682>

Ivan Omarov

The Institute of Renewable energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9449-853X>

Anna Holubenko

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5018-5312>

Olena Sukmaniuk

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2485-488X>

Oleksandr Medvedskyi

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7458-5337>

The object of this study is photovoltaic modules with different options for the angle of their installation to the horizon at different geographical latitudes. The scientific problem to solve was determining the dependence of the average annual efficiency of solar photovoltaic modules on the mounting angle of photovoltaic modules and the value of geographical latitude. It has been proven that the efficiency of installation of solar photovoltaic modules can be increased by reducing the angle of their inclination to the horizon depending on the value of the geographical latitude at which they are installed. The average annual efficiency of photovoltaic modules with different mounting angles to the horizon at different geographical latitudes was determined as the annual weighted

average value of the cosine of the angle of incidence of solar rays on the plane of the photovoltaic module. The maximum of the average annual efficiency of photovoltaic modules corresponds to a smaller value of the angle of their installation to the horizon than the value of the geographical latitude. So, with a latitude value of 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, and 60°, the mounting angle of photovoltaic modules to the horizon will be 9.5°, 18.8°, 28°, 37°, 45.8°, and 54°, respectively. A dependence was derived that allows determining the mounting angle of photovoltaic modules to the horizon dependent on the value of the geographical latitude at which they are installed. A mathematical expression was also constructed that makes it possible to determine the average annual efficiency of photovoltaic modules depending on the angle of their installation to the horizon for different values of geographic latitude.

The results could be used in calculating the average annual efficiency of photovoltaic modules based on the adjusted values of the angle of their installation to the horizon at different geographical latitudes.

Keywords: photovoltaic module, angle of incidence of solar rays, efficiency of module installation, geographical latitude, efficiency of photovoltaic modules.

References

- Dib, M., Nejmi, A., Ramzi, M. (2020). New auxiliary services system in a transmission substation in the presence of a renewable energy source PV. *Materials Today: Proceedings*, 27, 3151–3156. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.820>
- Satpathy, R. K., Pamuru, V. (2020). *Solar PV Power: Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems*. Academic Press, 520.
- Umar, S., Waqas, A., Tanveer, W., Shahzad, N., Janjua, A. K., Dehghan, M. et al. (2023). A building integrated solar PV surface-cleaning setup to optimize the electricity output of PV modules in a polluted atmosphere. *Renewable Energy*, 216, 119122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119122>
- Lu, Y., Li, G. (2023). Potential application of electrical performance enhancement methods in PV/T module. *Energy*, 281, 128253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128253>
- Jha, V. (2023). Generalized modelling of PV module and different PV array configurations under partial shading condition. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103021. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103021>
- Barbosa de Melo, K., Kitayama da Silva, M., Lucas de Souza Silva, J., Costa, T. S., Villalva, M. G. (2022). Study of energy improvement with the insertion of bifacial modules and solar trackers in photovoltaic installations in Brazil. *Renewable Energy Focus*, 41, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.02.005>
- Dhimish, M., Ahmad, A., Tyrrell, A. M. (2022). Inequalities in photovoltaics modules reliability: From packaging to PV installation site. *Renewable Energy*, 192, 805–814. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.156>
- Peters, I. M., Hauch, J. A., Brabec, C. J. (2022). The role of innovation for economy and sustainability of photovoltaic modules. *IScience*, 25 (10), 105208. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105208>
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Wald, L. (2021). *Fundamentals of Solar Radiation*. CRC Press, 270. <https://doi.org/10.1201/9781003155454>
- Grygiel, P., Tarłowski, J., Prześniak-Welenc, M., Łapiński, M., Łubiński, J., Mielewczyk-Gryń, A. et al. (2021). Prototype design and development of low-load-roof photovoltaic modules for applications in on-grid systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 233, 111384. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111384>
- Winter, C.-J., Sizmann, R. L., Vant-Hull, L. L. (Eds.) (1991). *Solar Power Plants*. Springer Berlin Heidelberg, 425. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61245-9>
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12 (3), 333–346. [https://doi.org/10.1016/0038-092x\(69\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0038-092x(69)90047-4)
- Liu, R., Liu, Z., Xiong, W., Zhang, L., Zhao, C., Yin, Y. (2024). Performance simulation and optimization of building facade photovoltaic systems under different urban building layouts. *Energy*, 288, 129708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129708>
- Ruan, T., Wang, F., Topel, M., Laumert, B., Wang, W. (2024). A new optimal PV installation angle model in high-latitude cold regions based on historical weather big data. *Applied Energy*, 359, 122690. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122690>
- Vasilakopoulou, K., Ulpiani, G., Khan, A., Synnefa, A., Santamouris, M. (2023). Cool roofs boost the energy production of photovoltaics: Investigating the impact of roof albedo on the energy performance of mono-facial and bifacial photovoltaic modules. *Solar Energy*, 265, 111948. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111948>
- Barbón, A., Ghodbane, M., Bayón, L., Said, Z. (2022). A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132774. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132774>
- N'Tsoukpoe, K. E. (2022). Effect of orientation and tilt angles of solar collectors on their performance: Analysis of the relevance of general recommendations in the West and Central African context. *Scientific African*, 15, e01069. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01069>
- Jin, Z., Xu, K., Zhang, Y., Xiao, X., Zhou, J., Long, E. (2017). Installation Optimization on the Tilt and Azimuth Angles of the Solar Heating Collectors for High Altitude Towns in Western Sichuan. *Procedia Engineering*, 205, 2995–3002. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.225>
- Pan, D., Bai, Y., Chang, M., Wang, X., Wang, W. (2022). The technical and economic potential of urban rooftop photovoltaic systems for power generation in Guangzhou, China. *Energy and Buildings*, 277, 112591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112591>
- Shu, N., Kameda, N., Kishida, Y., Sonoda, H. (2006). Experimental and Theoretical Study on the Optimal Tilt Angle of Photovoltaic Panels. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 5 (2), 399–405. <https://doi.org/10.3130/jaabe.5.399>
- Buzra, U., Mitrushi, D., Serdari, E., Halili, D., Muda, V. (2022). Fixed and adjusted optimal tilt angle of solar panels in three cities in Albania. *Journal of Energy Systems*, 6 (2), 153–164. <https://doi.org/10.30521/jes.952260>
- Liu, B. Y. H., Jordan, R. C. (1963). A rational procedure for predicting the long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors: with design data for the U.S., its outlying possessions and Canada. Citeseer.
- Danandeh, M. A., Mousavi G., S. M. (2018). Solar irradiance estimation models and optimum tilt angle approaches: A comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.004>
- Hafez, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., Ismail, I. M. (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 147–168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.131>
- Santos-Martin, D., Lemon, S. (2015). SoL – A PV generation model for grid integration analysis in distribution networks. *Solar Energy*, 120, 549–564. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.052>
- Jacobson, M. Z., Jadhav, V. (2018). World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Solar Energy*, 169, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.030>
- Breyer, C., Schmid, J. (2010). Population Density and Area weighted Solar Irradiation: global Overview on Solar Resource Conditions for

- fixed tilted, 1-axis and 2-axes PV Systems. In 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Valencia, 4692–4709. <https://doi.org/10.4229/25thEUPVSEC2010-4BV.1.91>
29. Nicolás-Martín, C., Santos-Martín, D., Chinchilla-Sánchez, M., Lemon, S. (2020). A global annual optimum tilt angle model for photovoltaic generation to use in the absence of local meteorological data. *Renewable Energy*, 161, 722–735. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.098>
 30. Golub, G., Tsyvenkova, N., Yaremenko, O., Marus, O., Omarov, I., Holubenko, A. (2023). Determining the efficiency of installing fixed solar photovoltaic modules and modules with different tracking options. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (124)), 15–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286464>
 31. Nfaoui, M., El-Hami, K. (2018). Extracting the maximum energy from solar panels. *Energy Reports*, 4, 536–545. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.05.002>
 32. Khorasanizadeh, H., Mohammadi, K., Mostafaeipour, A. (2014). Establishing a diffuse solar radiation model for determining the optimum tilt angle of solar surfaces in Tabass, Iran. *Energy Conversion and Management*, 78, 805–814. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.048>
 33. Rowlands, I. H., Kemery, B. P., Beausoleil-Morrison, I. (2011). Optimal solar-PV tilt angle and azimuth: An Ontario (Canada) case-study. *Energy Policy*, 39 (3), 1397–1409. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.012>
 34. Prunier, Y., Chuet, D., Nicolay, S., Hamon, G., Darnon, M. (2023). Optimization of photovoltaic panel tilt angle for short periods of time or multiple reorientations. *Energy Conversion and Management*: X, 20, 100417. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100417>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301538

IMPROVEMENT OF SOLAR CONCENTRATOR STRUCTURE (p. 38–45)

Tetyana Baydyk

National Autonomous University of Mexico (UNAM),
Mexico, Mexico

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3095-2032>

Masuma Mammadova

Institute of Information Technology, Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2205-1023>

Graciela Velasco Herrera

National Autonomous University of Mexico (UNAM),
Mexico, Mexico

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9934-7589>

Ernst Kussul

National Autonomous University of Mexico (UNAM),
Mexico, Mexico

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2849-2532>

Green energy includes solar, wind, geothermal and other types of energy sources generation. The object of this research is solar concentrators. The problem to be solved is related to the development of the structure frame, especially for solar concentrators with flat triangular or square mirrors that approximate a parabolic shape surface. The essence of the investigation is developing and producing several prototypes of solar concentrators that have a low cost of materials but the devices were assembled by hand and therefore the manufacturing cost is sufficiently high. Therefore, it is important to reduce the cost through automation of the solar concentrator production process. To obtain better conditions for future automation, we need to reduce the number of metal structural elements of the solar concentrator. In this case, the automation problem is simpler for its realization. The results obtained are related to the

improved solar concentrator structure that can be technologically simpler than the previous one and lighter in weight. The development of improved solar concentrator design and structure can help reduce the cost of assembly and accelerate the solar concentrator assembly process. In the case of mass production, they can be used in practice. The proposed solar concentrators can be used for different applications, for example, green buildings in rural areas, or chemical reactors to accelerate the chemical process of organic waste processing. Another application is to use solar concentrators in combination with agricultural fields. These solar concentrators can be used with small-scale thermal energy storage (TES). Using TES, it is possible to make power plants for green buildings. Small solar power plants can support all the energy demands of residential houses.

Keywords: flat facet parabolic solar concentrator, solar energy, thermal energy storage (TES).

References

1. Market Overview. Available at: <https://www.solarflux.co/markets/>
2. Kussul, E., Baydyk, T., Mammadova, M., Rodriguez Mendoza, J. L. (2022). Solar concentrator applications in agriculture. *Energy facilities: management and design and technological innovations*, 177–207. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-63-3.ch5>
3. Suncatcher Energy. Available at: <https://suncatcherenergy.com/>
4. Solar Power for Homes, Businesses & Farms. Available at: <https://suncatchersolar.com/>
5. Kousksou, T., Bruel, P., Jamil, A., El Rhafiki, T., Zeraouli, Y. (2014). Energy storage: Applications and challenges. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 120, 59–80. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.08.015>
6. Kussul, E., Baydyk, T., Curtidor, A., Herrera, G. V. (2023). Modeling a system with solar concentrators and thermal energy storage. *Problems of Information Society*, 14 (2), 15–23. <https://doi.org/10.25045/jpis.v14.i2.02>
7. Harada, K., Yabe, K., Takami, H., Goto, A., Sato, Y., Hayashi, Y. (2023). Two-step approach for quasi-optimization of energy storage and transportation at renewable energy site. *Renewable Energy*, 211, 846–858. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.04.030>
8. Gil, G. O., Chowdhury, J. I., Balta-Ozkan, N., Hu, Y., Varga, L., Hart, P. (2021). Optimising renewable energy integration in new housing developments with low carbon technologies. *Renewable Energy*, 169, 527–540. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.059>
9. Erdiwansyah, Mahidin, Husin, H., Nasaruddin, Zaki, M., Muhibuddin. (2021). A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 6 (1). <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00181-3>
10. Heard, B. P., Brook, B. W., Wigley, T. M. L., Bradshaw, C. J. A. (2017). Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1122–1133. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.114>
11. Sebestyén, V. (2021). Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental impact networks of renewable energy power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111626. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111626>
12. Sahoo, S. K. (2016). Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.049>
13. Pranesh, V., Velraj, R., Kumaresan, V. (2022). Experimental investigations on a sensible heat thermal energy storage system towards the design of cascaded latent heat storage system. *International Journal of Green Energy*, 20 (1), 63–76. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.2023879>

14. Tiwari, G. N., Tiwari, A., Shyam. (2016). Solar Concentrator. Handbook of Solar Energy, 247–291. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0807-8_6
15. Solarflux FOCUS Parabolic Dish Concentrator Converts 72% Of Solar Energy Into Usable Heat. Available at: <https://cleantechnica.com/2021/08/05/solarflux-focus-parabolic-dish-concentrator-converts-72-of-solar-energy-into-usable-heat/>
16. Baydyk, T., Kussul, E., Bruce, N. (2014). Solar chillers for air conditioning systems. Renewable Energies & Power Quality Journal (RE&PQJ), (12), 223–227.
17. The Australian and New Zealand Solar Energy Society. Available at: <http://www.anzsos.org>
18. Johnston, G. (1998). Focal region measurements of the 20 m² tiled dish at the Australian National University. Solar Energy, 63 (2), 117–124. [https://doi.org/10.1016/s0038-092x\(98\)00041-3](https://doi.org/10.1016/s0038-092x(98)00041-3)
19. Kussul, E., Baidyk, T., Makeyev, O. et al. (2007). Development of Micro Mirror Solar Concentrator. The 2-nd IASME/WSEAS International Conference on Energy and Environment (EE'07). Portoroz (Portotose), 294–299. Available at: <https://www.wseas.org/multi-media/books/2007/energy-and-environment-2007.pdf>
20. Kussul, E., Makeyev, O., Baidyk, T., Blesa, J. S., Bruce, N., Lara-Rosano, F. (2011). The Problem of Automation of Solar Concentrator Assembly and Adjustment. International Journal of Advanced Robotic Systems, 8 (4), 46. <https://doi.org/10.5772/45685>
21. Kussul, E., Baydyk, T., Mammadova, M., Rodriguez, J. L. (2022). Development of a model of combination of solar concentrators and agricultural fields. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (8 (120)), 16–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269106>
22. Temirlan, E. (2022). Design and study of solar spiral receivers using computer simulation. Kazakhstan, 101.
23. Solar Stirling Engine Efficiency Records Broken by Ripasso Energy. Available at: <https://www.greenoptimistic.com/solar-stirling-engine-ripasso/#:~:text=They%20have%20designed%20a%20Solar,the%20solar%20energy%20into%20electricity>
24. Is this the world's most efficient solar system? Available at: <https://inhabitat.com/this-solar-power-system-converts-twice-as-much-of-the-suns-energy-as-existing-technology/>
25. FOCUS Overview. Available at: <https://www.solarflux.co/product/>
26. ZED Solar Limited. Available at: <https://zedsolar.com/>
27. Solar Invictus 53E. Parabolic Tracking Solar Concentrator for Use with a Stirling Engine. Available at: <https://www.aedesign.com.pk/energySolarInvictus53E.html>
28. El Disco Stirling EuroDish de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Available at: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4801/fichero/3.+Cap%C3%ADtulo+1.pdf>
29. EuroDish. Available at: <https://www.psa.es/es/instalaciones/discos/eurodish.php>
30. Mammadova, M., Baydyk, T., Kussul, E. (2022). Solar concentrators in combination with agricultural fields: Azerbaijan and Mexico. 10. Eur. Conf. Ren. Energy Sys. Istanbul, 342–348.
31. Baydyk, T., Mammadova, M., Kussul, E., Herrera, G., Curtidor, A. (2022). Assessment of the impact of the combination of crops with solar concentrators on their productivity. Problems of Information Society, 13 (1), 11–18. <https://doi.org/10.25045/jpis.v13.i1.02>
32. Hamed, A. M. (2003). Desorption characteristics of desiccant bed for solar dehumidification/humidification air conditioning systems. Renewable Energy, 28 (13), 2099–2111. [https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(03\)00075-2](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(03)00075-2)
33. Solar energy dehumidification experiment on the Citicorp Center building: final report. MIT Energy Laboratory. Available at: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/31243>
34. Solar constant. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_constant

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302872

INDIRECT TEMPERATURE PROTECTION OF AN ASYNCHRONOUS GENERATOR BY STATOR WINDING RESISTANCE MEASUREMENT WITH SUPERIMPOSITION OF HIGH-FREQUENCY PULSE SIGNALS (p. 46–54)

Gulim Nurmaganbetova

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Sultanbek Issenov

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Vladimir Kaverin

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Gennady Em

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2639-0492>

Gibrat Asainov

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1330-5909>

Zhanara Nurmaganbetova

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0990-6212>

Yuliya Bulatbayeva

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>

Ruslan Kassym

Academy of Logistics and Transport,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

The article deals with the indirect methods for calculating the temperature of asynchronous generators with the introduction of a pulse component in the power supply circuit of the stator windings of asynchronous generators with squirrel-cage rotor. The relevance of this issue is determined by the need to improve asynchronous energy converters to increase their reliability and safety.

The object of the study is an asynchronous generator with squirrel-cage rotor, which consume 40 % of the total electricity generated, and are the most affordable. One of the dangerous modes of asynchronous generators is their overheating as a result of increased currents and temperatures.

The thermal protection of the stator winding of asynchronous generators relies primarily on measuring or determining the winding temperature.

An indirect method for determining temperature based on measuring the resistance of the stator of an asynchronous generator with squirrel-cage rotor is proposed. The method is based on superimposing pulse signals of small amplitude and high frequency of 600 Hz on an alternating sinusoidal voltage with a frequency of 50 Hz. A simulation model for a 3 kW asynchronous generator has been developed. There were given the simulation results. The estimated values of the active resistances of the stator can be used to indirectly determine

the temperature of the windings in thermal protection devices of asynchronous generators, as well as for control, monitoring and diagnostics of the technical condition. The research results confirm the possibility of indirect temperature determination and the creation of a thermal protection system for asynchronous energy converters based on the use of estimation methods.

Keywords: asynchronous generator, indirect thermal protection, simulation model, stator resistance, constant current components.

References

- Huaao, X. (2012). Pat. CN102487191A. Motor overheating protection relay. Application filed: 05.12.2010. Priority: 06.12.2010; Publication: 06.06.2012.
- Fish, M. W., Alexander, D. F. (1949). Pat. US2463935A. Thermal motor protector. Application filed: 19.07.1945; Priority: 09.07.1945; Publication: 08.03.1949.
- Geravandi, M., Moradi CheshmehBeigi, H. (2023). Stator Windings Resistance Estimation Methods of In-Service Induction Motors-A Review. 2023 31st International Conference on Electrical Engineering (ICEE). Tehran, 356–361. <https://doi.org/10.1109/icee59167.2023.10334685>
- Hassan, A. Y., Elzalik, M. (2022). Signal Injection Based Sensorless Online Monitoring of Induction Motor Temperature. 2022 23rd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). <https://doi.org/10.1109/mecon55441.2022.10021694>
- Singh, G., Saleh, A., Amos, J., Sundaram, K., Kapat, J. (2018). IC6A1A6 vs. IC3A1 Squirrel Cage Induction Generator Cooling Configuration Challenges and Advantages for Wind Turbine Application. ASME 2018 Power Conference collocated with the ASME 2018 12th International Conference on Energy Sustainability and the ASME 2018 Nuclear Forum. <https://doi.org/10.1115/power2018-7159>
- Singh, G. (2020). Wind Turbine Generator Overheating Solution. [Doctoral Dissertation; College of Engineering and Computer Science]. Available at: <https://stars.library.ucf.edu/etd2020/133>
- Shipurkar, U., Ma, K., Polinder, H., Blaabjerg, F., Ferreira, J. A. (2015). A review of failure mechanisms in wind turbine generator systems. 2015 17th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe). <https://doi.org/10.1109/epe.2015.7311669>
- Danikas, M. G., Sarathi, R. (2014). Electrical machine insulation: Traditional insulating materials, nanocomposite polymers and the question of electrical trees. *Funktechnikplus# Journal*, 5.
- Jeong, Y.-S., Lee, J.-Y. (2011). Parameter Identification of an Induction Motor Drive with Magnetic Saturation for Electric Vehicle. *Journal of Power Electronics*, 11 (4), 418–423. <https://doi.org/10.6113/jpe.2011.11.4418>
- Kopylov, I. P. (2019). *Proektirovanie elektricheskikh mashin*. Moscow: Iurait, 828.
- Nurmaganbetova, G., Issenov, S., Kaverin, V., Issenov, Z. (2023). Development of a virtual hardware temperature observer for frequency-controlled asynchronous electric motors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 68–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280357>
- Breido, I. V., Semykina, I. Yu., Nurmaganbetova, G. S. (2018). Method of indirect overheating protection for electric drives of mining installations. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 329 (2), 65–71. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85043512914&origin=reultslist&sort=plf-f&src=s&sid=251776237e9a5415cb8d392ab523e260&ot=b&sd=b&s=FIRSTAUTH%28breido%29&sl=234&sessionSearchId=251776237e9a5415cb8d392ab523e260&relpos=14>
- Ishchenko, O. Iu., Remenev, V. Z. (2016). Universalnyi metod kontrolya prevysheniia temperatury elektrovigatelia. *Elektroenergetika i informatcionnye tekhnologii*, 9, 39–42.
- Fesenko, O. V., Tereshin, V. N., Ratnikov, A. I., Chernov, V. A., Frolov, Yu. A. (1999). Pat. No. RU2130224C1. *Ustroistvo temperaturnoi zashchity asinkhronnykh elektrovigateli*. MPK7: H02H7/085, H02H6, H02H5/04. declared: 18.10.1995; published: 10.05.1999.
- Chandra, A., Singh, G. K., Pant, V. (2021). Protection of AC microgrid integrated with renewable energy sources – A research review and future trends. *Electric Power Systems Research*, 193, 107036. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107036>
- Zakladnyi, O. (2019). Algorithms of protection of electric motors by means of modern systems of diagnostic of their states. *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*, 2, 75–84. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2019.190027>
- Kosmodamianskii, A. S. (2005). *Avtomaticheskoe regulirovanie temperatury obmotok tiagovykh elektricheskikh mashin lokomotivov*. Moscow: Marshrut, 256.
- Pugachev, A. A. (2014). Identifikatsiia soprotivleniia i temperatury obmotki rotora asinkhronnogo dvigatelia. *Avtomatizirovannyi elektroprivod i promyshlennaia elektronika*. Novokuznetsk: Izd-vo SibGIU, 192–198.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302837

EFFECT DETECTION OF USING A MODIFIED REDLICH-KWONG-AUNGIER EQUATION OF STATE ON THE CALCULATION OF CARBON DIOXIDE FLOW IN A CENTRIFUGAL COMPRESSOR (p. 54–65)

Hanna Vorobiova

Private Entrepreneur, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4181-8269>

Dmytro Dolmatov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7268-1509>

Kseniia Fesenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3979-1789>

Iurii Sysoiev

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5006-8546>

Oleh Dehtiarov

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

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7252-4399>

Maryna Ivashchenko

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9202-6448>

Supercritical CO₂ (S-CO₂) cycles have found applications in power generation and can achieve high efficiency in a wide range of temperatures and pressures. The Redlich-Kwong-Aungier real gas equation of state is used to describe the thermodynamic properties of the CO₂ working fluid. The main problem in its application lies in modeling the phase transition between different states and the region near the critical point of the working fluid.

The object of the study is the working process in a centrifugal compressor located in the compression loop with the CO₂ working fluid. The proposed mathematical model of the modified Redlich-Kwong-Aungier equation of state allows for a first-order phase transition from the liquid to the supercritical region even near the critical point. A scaling factor was added to the modified equation

of state, significantly reducing the error in pressure determination in a wide range of temperatures compared to the original equation of state. The proposed mathematical model can be applied in the pure liquid region, limited to the temperature range from 220 K to 300 K.

The mathematical model was used to solve the 3D gasdynamic problem, specifically to determine the thermodynamic and kinematic properties of the flow in a centrifugal compressor in a wide range of operating modes. A comparison of the calculation results with experimental data from the Sandia National Laboratories (USA) report was conducted. A satisfactory agreement of the results at the design point of the compressor characteristic was obtained (less than 5 % discrepancy).

Due to the simplicity of the equation of state and the small number (seven) of empirical coefficients, the obtained mathematical model can be used for practical CFD tasks without significant computational time costs.

Keywords: centrifugal compressor, CO₂ pure liquid region, modified Redlich-Kwong-Aungier equation of state, fluid pressure.

References

- Dostal, V., Driscoll, M. J., Hejzlar, P. (2004). A Supercritical Carbon Dioxide Cycle for Next Generation Nuclear Reactors. MIT-ANT-TR-100. Available at: <https://web.mit.edu/22.33/www/dostal.pdf>
- Wright, S., Conboy, T., Radel, R., Rochau, G. (2011). Modeling and experimental results for condensing supercritical CO₂ power cycles. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/1030354>
- Yu, B., Yang, J., Wang, D., Shi, J., Chen, J. (2019). An updated review of recent advances on modified technologies in transcritical CO₂ refrigeration cycle. *Energy*, 189, 116147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116147>
- Allison, T. C., McClung, A. (2019). Limiting Inlet Conditions for Phase Change Avoidance in Supercritical CO₂ Compressors. Volume 9: Oil and Gas Applications; Supercritical CO₂ Power Cycles; Wind Energy. <https://doi.org/10.1115/gt2019-90409>
- Brinckman, K. W., Hosangadi, A., Liu, Z., Weathers, T. (2019). Numerical Simulation of Non-Equilibrium Condensation in Supercritical CO₂ Compressors. Volume 9: Oil and Gas Applications; Supercritical CO₂ Power Cycles; Wind Energy. <https://doi.org/10.1115/gt2019-90497>
- Mortzheim, J., Hofer, D., Priebe, S., McClung, A., Moore, J. J., Cich, S. (2021). Challenges With Measuring Supercritical CO₂ Compressor Performance When Approaching the Liquid-Vapor Dome. Volume 10: Supercritical CO₂. <https://doi.org/10.1115/gt2021-59527>
- Redlich, Otto., Kwong, J. N. S. (1949). On the Thermodynamics of Solutions. V. An Equation of State. Fugacities of Gaseous Solutions. *Chemical Reviews*, 44 (1), 233–244. <https://doi.org/10.1021/cr60137a013>
- Karaefe, R. E., Post, P., Sembritzky, M., Schramm, A., di Mare, F., Kunick, M., Gampe, U. (2020). Numerical Investigation of a Centrifugal Compressor for Supercritical CO₂ Cycles. Volume 11: Structures and Dynamics: Structural Mechanics, Vibration, and Damping; Supercritical CO₂. <https://doi.org/10.1115/gt2020-15194>
- Krishna, A. B., Jin, K., Ayyaswamy, P. S., Catton, I., Fisher, T. S. (2022). Modeling of Supercritical CO₂ Shell-and-Tube Heat Exchangers Under Extreme Conditions. Part I: Correlation Development. *Journal of Heat Transfer*, 144 (5). <https://doi.org/10.1115/1.4053510>
- Zheng, S., Wei, M., Song, P., Hu, C., Tian, R. (2020). Thermodynamics and flow unsteadiness analysis of trans-critical CO₂ in a scroll compressor for mobile heat pump air-conditioning system. *Applied Thermal Engineering*, 175, 115368. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115368>
- Soave, G. (1972). Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state. *Chemical Engineering Science*, 27 (6), 1197–1203. [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(72\)80096-4](https://doi.org/10.1016/0009-2509(72)80096-4)
- Peng, D.-Y., Robinson, D. B. (1976). A New Two-Constant Equation of State. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 15 (1), 59–64. <https://doi.org/10.1021/i160057a011>
- Vorobieva, H. S. (2021). Modification of the Redlich-Kwong-Aungier Equation of State to Determine the Degree of Dryness in the CO₂ Two-phase Region. *Journal of Mechanical Engineering*, 24 (4), 17–27. <https://doi.org/10.15407/pmach2021.04.017>
- Aungier, R. H. (1995). A Fast, Accurate Real Gas Equation of State for Fluid Dynamic Analysis Applications. *Journal of Fluids Engineering*, 117 (2), 277–281. <https://doi.org/10.1115/1.2817141>
- SoftInWay. Available at: <https://www.softinway.com/>
- Wright, S., Radel, R., Vernon, M., Pickard, P., Rochau, G. (2010). Operation and analysis of a supercritical CO₂ Brayton cycle. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/984129>
- The National Institute of Standards and Technology (NIST). Available at: <https://www.nist.gov/>
- Kislov, O., Ambrozhevich, M., Shevchenko, M. (2021). Development of a method to improve the calculation accuracy of specific fuel consumption for performance modeling of air-breathing engines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (110)), 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229515>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302892

THE DETERMINATION OF THE FEATURES OF THE PROCESS OF MIXTURE FORMATION OF HYDROGEN BURNER (p. 66–72)

Kateryna Romanova

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9738-3383>

Ivan Mitchenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6361-9471>

The use of hydrogen fuel as an alternative source of individual heat supply is a rather promising direction in the development of thermal energy. However, due to the physical properties of hydrogen and the peculiarities of its combustion, several problems arise for the practical use of hydrogen heat generators. Such problems include ensuring flare stability and large emissions of thermal nitrogen oxides (NO_x). For stable operation of the hydrogen burner, safe operation, and reduction of nitrogen oxide emissions when burning hydrogen, first, it is necessary to ensure high-quality pre-mixing with air.

This work presents the first stage of research into the operation of a hydrogen burner for heat production in the Flow Simulation module of the SolidWorks software environment. For volume flow rates of air and hydrogen corresponding to capacities of 1, 1.5 and 2 kW and air excess coefficient $\alpha=1.6$. The given design makes it possible to ensure uniform mixture formation (the volume fraction of hydrogen is approximately 18.5 % at the outlet cross-section of the burner and the speed at the outlet of the burner is 5.4, 8.1, and 10.8 m/s, respectively. The burner is a nozzle with a short pre-mixing chamber. First, hydrogen is supplied for mixing into the air flow through symmetrically located holes. After that, a vortex is created, which ensures high-quality mixing of gases with a short length of the burner, as well as a uniform distribution of velocity at the exit.

The obtained results allow to proceed to the next stage – the study of hydrogen combustion processes in the combustion chamber of the contact heat generator, which would ensure the formation of a stable flame and low NO_x emissions. In addition, this design can be

used in the development of hydrogen burners for heating boilers to meet the needs of private homes and small businesses.

Keywords: hydrogen fuel, hydrogen burner, burner consumption, mixture formation, heat production, nitrogen oxides.

References

1. Pro skhvalennia Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 373-r. 21.11.2023. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text>
2. Skorokhod, B., Solonin, Y. (Ed.) (2015). Hydrogen in alternative energy and the latest technologies. Kyiv: «KIM», 294.
3. Varlamov, G. B., Mitchenko, I. O., Jianguo, J., Weijie, Z., Zongyan, W. (2023). Modern technologies for increasing the energy and environmental efficiency of energy production. *Power engineering: Economics, Technique, Ecology*, 3. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2022.271992>
4. Alekseev, V. A., Christensen, M., Konnov, A. A. (2015). The effect of temperature on the adiabatic burning velocities of diluted hydrogen flames: A kinetic study using an updated mechanism. *Combustion and Flame*, 162 (5), 1884–1898. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2014.12.009>
5. Pareja, J., Burbano, H. J., Ogami, Y. (2010). Measurements of the laminar burning velocity of hydrogen-air premixed flames. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (4), 1812–1818. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.12.031>
6. Ravi, S., Petersen, E. L. (2012). Laminar flame speed correlations for pure-hydrogen and high-hydrogen content syngas blends with various diluents. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (24), 19177–19189. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.09.086>
7. Berger, L., Kleinheinz, K., Attili, A., Pitsch, H. (2019). Characteristic patterns of thermodiffusively unstable premixed lean hydrogen flames. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37 (2), 1879–1886. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.06.072>
8. Syred, N., Abdulsada, M., Griffiths, A., O'Doherty, T., Bowen, P. (2012). The effect of hydrogen containing fuel blends upon flashback in swirl burners. *Applied Energy*, 89 (1), 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.057>
9. Dutka, M., Ditaranto, M., Løvås, T. (2016). NO_x emissions and turbulent flow field in a partially premixed bluff body burner with CH₄ and H₂ fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (28), 12397–12410. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.154>
10. Aniello, A., Poinot, T., Selle, L., Schuller, T. (2022). Hydrogen substitution of natural-gas in premixed burners and implications for blow-off and flashback limits. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (77), 33067–33081. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.066>
11. Skottene, M., Rian, K. E. (2007). A study of NO_x formation in hydrogen flames. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32 (15), 3572–3585. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2007.02.038>
12. Durocher, A., Meulemans, M., Versailles, P., Bourque, G., Berthorson, J. M. (2021). Back to basics – NO concentration measurements in atmospheric lean-to-rich, low-temperature, premixed hydrogen–air flames diluted with argon. *Proceedings of the Combustion Institute*, 38 (2), 2093–2100. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.124>
13. Purohit, A. L., Nalbandyan, A., Malte, P. C., Novoselov, I. V. (2021). NNH mechanism in low-NO_x hydrogen combustion: Experimental and numerical analysis of formation pathways. *Fuel*, 292, 120186. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120186>
14. Schmidt, N., Müller, M., Preuster, P., Zigan, L., Wasserscheid, P., Will, S. (2023). Development and characterization of a low-NO_x partially premixed hydrogen burner using numerical simulation and flame diagnostics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48 (41), 15709–15721. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.012>
15. Haynes, W. M., Lide, D. R., Bruno, T. J. (Eds.) (2016). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315380476>

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299192

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ РЕКУРЕНТНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДСТАНЦІЇ 110 КВ: НА ПРИКЛАДІ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ РЕСПУБЛІКИ КАЗАХСТАН (с. 6–15)

Kenessov Yerlan, Karmel Tokhtibakiev, Almaz Saukhimov, Daniil Vassilyev, Alexandr Gunin, Azamat Ilyasov

У роботі представлений підхід до використання рекурентної нейронної мережі на основі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) з різними конфігураціями побудови моделі прогнозування електричного навантаження підстанції 110 кВ.

Проблеми дисбалансу, що виникає в системах енергоменеджменту через невідповідність виробленої і споживаної енергії, можуть призводити до перебоїв у подачі електроенергії. Із впровадженням найбільш точних прогнозів завдання підтримки надійності електропостачання для мережевих операторів може бути значно спрощено.

Завдяки вивченню 81 різних комбінацій параметрів було виявлено оптимальну конфігурацію моделі LSTM для задачі прогнозування електричного навантаження. Дана конфігурація включала 15 нейронів, розмір пакету 16, з використанням алгоритму оптимізації Adamax. В результаті застосування цієї конкретної конфігурації значення середньоквадратичної похибки (MSE) становило $5,584 \text{ MW}^2$ та значення $R^2 - 0,99$. Високі значення R^2 і низькі значення MSE вказують на те, що модель LSTM точно фіксує зміни в споживанні електроенергії з мінімальним відхиленням між прогнозованими і фактичними значеннями споживання. Вибір відповідних параметрів дозволяє значно підвищити продуктивність прогнозувальної моделі та знизити значення похибки MSE з $12,706$ до $5,584 \text{ MW}^2$. Оптимізована конфігурація моделі LSTM, розроблена в результаті комплексних експериментів, дозволяє розширити її можливості прогнозування.

Запропонована модель LSTM має практичну цінність для впровадження в системи моніторингу та прогнозування режимної надійності електричних мереж, зокрема в Західному енергетичному вузлі Республіки Казахстан. Її точність та надійність роблять її цінною для управління енергоресурсами та планування інфраструктури.

Ключові слова: короткострокове прогнозування навантаження, рекурентні нейронні мережі, прогнозування навантаження на основі довгої короткострокової пам'яті.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301882

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОАКТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ СМАРТ-ОБЛАДНАННЯ (с. 16–25)

М. В. Савицький, С. Є. Шехоркіна, М. В. Бордун, Маруна Vabenko, С.Г. Циганкова, В. А. Спиридоненков, О. М. Савицький, Roman Rabenseifer

Об'єкт дослідження – енергоефективність житлового сектору. Робота спрямована на вирішення проблеми підвищення енергоефективності житлового сектору шляхом розробки технічних рішень з моніторингу та управління енергоспоживанням та параметрами мікроклімату будівель. Запропонована проактивна система менеджменту житлових будівель складається з мультисенсорів CO_2 , температури та вологості, смарт-лічильників споживання теплової та електроенергії та смарт-розеток. Обладнання об'єднується в одну систему через інтеграційний контролер із віддаленим доступом користувача через інтерактивний веб-інтерфейс. Особливістю технічного рішення є можливість збору, обробки, візуалізації та архівування даних щодо споживання енергії та одночасно про ключові параметри мікроклімату житлових приміщень. Перевагами системи є можливість інтеграції додаткових приладів в процесі експлуатації та використання стандартних протоколів роботи, що забезпечує взаємозамінність складових елементів. Реалізація та тестування виконані в умовах реального пілотного об'єкта. Використання системи на практиці підтвердило працездатність та стабільність роботи, дозволило отримати дані про параметри енергоспоживання та мікроклімату та запропонувати рекомендації для зниження витрат енергії. Встановлено, що мікроклімат відповідає вимогам стандартів (температура повітря близько $22 \text{ }^\circ\text{C}$ та відносна вологість не перевищує 60%). Зниження витрат енергії може бути досягнуто шляхом зменшення температури теплоносія при відсутності мешканців та врахування погодних умов. В періоди активної діяльності мешканців зафіксовано перевищення допустимого рівня CO_2 , тому слід передбачити автоматичні системи вентиляції.

Ключові слова: енергоефективність, енергоменеджмент, житлова будівля, смарт-обладнання, інтернет речей, енергоспоживання, комфорт мешканців.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300485

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КУТА ВСТАНОВЛЕННЯ НА СЕРЕДНЬОРІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ НЕРУХОМИХ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ (с. 26–37)

Г. А. Голуб, Н. М. Цивенкова, В. Т. Надикто, О. А. Марус, О. А. Яременко, І. С. Омаров, А. А. Голубенко, О. М. Сукманюк, О. В. Медведський

Об'єктом дослідження є фотоелектричні модулі із різними варіантами кута їх встановлення до горизонту на різних географічних широтах. Вирішувалася наукова задача встановлення залежності середньорічної ефективності сонячних фотоелектричних модулів

від кута встановлення фотоелектричних модулів та значення географічної широти. Доведено, що ефективність установки сонячних фотоелектричних модулів можна підвищити шляхом зменшення кута їх нахилу до горизонту залежно від значення географічної широти, на якій вони встановлені. Визначена середньорічна ефективність фотоелектричних модулів із різними кутами встановлення до горизонту на різних географічних широтах, як величина річного середньозваженого значення косинуса кута падіння сонячних променів на площину фотоелектричного модуля. Максимум середньорічної ефективності фотоелектричних модулів відповідає меншому значенню кута їх встановлення до горизонту ніж значення географічної широти. Так, при значенні географічної широти 10°, 20°, 30°, 40°, 50° і 60° кут встановлення фотоелектричних модулів до горизонту відповідно становитиме 9,5°, 18,8°, 28°, 37°, 45,8° та 54°. Отримано залежність, яка дозволяє визначити кут встановлення фотоелектричних модулів до горизонту від значення географічної широти на якій вони встановлені. Також отримано математичний вираз, який дозволяє визначити середньорічну ефективність фотоелектричних модулів залежно від кута їх встановлення до горизонту для різних значень географічної широти.

Результати можуть бути використані при розрахунках середньорічної ефективності фотоелектричних модулів виходячи з корисованих значень кута їх встановлення до горизонту на різних географічних широтах.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, кут падіння сонячних променів, ефективність установки модулів, географічна широта, ефективність фотоелектричних модулів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301538

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СОНЯЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА (с. 38–45)

Tetyana Baydyk, Masuma Mammadova, Graciela Velasco, Ernst Kussul

Зелена енергетика включає виробництво сонячної, вітрової, геотермальної та інших видів енергії. Об'єктом дослідження є сонячні концентратори. Розв'язувана задача пов'язана з розробкою каркаса конструкції, зокрема для сонячних концентраторів з плоскими трикутними або квадратними дзеркалами, що наближаються до поверхні параболічної форми. Суть дослідження полягає у розробці та виготовленні кількох прототипів сонячних концентраторів, що відрізняються низькою вартістю матеріалів, але при цьому пристрої збираються вручну, і тому вартість виготовлення досить висока. Отже, важливо знизити витрати за рахунок автоматизації процесу виробництва сонячних концентраторів. Для отримання кращих умов для майбутньої автоматизації необхідно скоротити кількість металевих конструктивних елементів сонячного концентратора. У цьому випадку завдання автоматизації спрощується для її реалізації. Отримані результати пов'язані з удосконаленою конструкцією сонячного концентратора, що може бути технологічно простішою за попередню і легшою за вагою. Розробка удосконаленою дизайну та конструкції сонячного концентратора може допомогти знизити вартість збірки та прискорити процес збирання сонячних концентраторів. У разі масового виробництва вони можуть бути використані на практиці. Запропоновані сонячні концентратори можна використовувати для різних цілей, наприклад, для зелених будівель у сільській місцевості або хімічних реакторів для прискорення хімічного процесу переробки органічних відходів. Ще одним застосуванням є використання сонячних концентраторів у поєднанні з сільськогосподарськими полями. Ці сонячні концентратори можуть використовуватися з малагабаритними накопичувачами теплової енергії (НТЕ). За допомогою НТЕ можна створювати електростанції для зелених будівель. Невеликі сонячні електростанції можуть задовольнити всі енергетичні потреби житлових будинків.

Ключові слова: плоскогранный параболічний сонячний концентратор, сонячна енергія, накопичувач теплової енергії (НТЕ).

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302872

НЕПРЯМИЙ ТЕМПЕРАТУРНИЙ ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ШЛЯХОМ ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ОБМОТКИ СТАТОРА З НАКЛАДЕННЯМ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ (с. 46–53)

Gulim Nurmaganbetova, Sultanbek Issenov, Vladimir Kaverin, Gennady Em, Gibrat Asainov, Zhanara Nurmaganbetova, Yuliya Bulatbayeva, Ruslan Kasym

У статті розглянуто непрямі методи температурного розрахунку асинхронних генераторів із введенням імпульсної складової в ланцюг живлення обмоток статора асинхронних генераторів з короткозамкненим ротором. Актуальність даного питання визначається необхідністю вдосконалення асинхронних перетворювачів енергії з метою підвищення їх надійності та безпеки.

Об'єктом дослідження є асинхронні генератори з короткозамкненим ротором, які споживають 40 % загальної виробленої електроенергії та є найбільш доступними за ціною. Одним з небезпечних режимів роботи асинхронних генераторів є їх перегрів в результаті підвищення струмів і температури.

Тепловий захист обмотки статора асинхронних генераторів базується в основному на вимірюванні або визначенні температури обмотки.

Запропоновано непрямий метод визначення температури на основі вимірювання опору статора асинхронного генератора з короткозамкненим ротором. Метод заснований на накладенні імпульсних сигналів малої амплітуди і високої частоти 600 Гц на змінну синусоїдну напругу частотою 50 Гц. Розроблено імітаційну модель асинхронного генератора потужністю 3 кВт. Наведено результати моделювання. Розрахункові значення активних опорів статора можуть бути використані для опосередкованого визначення температури обмоток в пристроях теплового захисту асинхронних генераторів, а також для контролю, моніторингу та діагностики технічного стану. Результати досліджень підтверджують можливість непрямого визначення температури та створення системи теплового захисту асинхронних перетворювачів енергії на основі використання методів оцінки.

Ключові слова: асинхронний генератор, непрямий тепловий захист, імітаційна модель, опір статора, постійні складові струму.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302837**ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО РІВНЯННЯ СТАНУ РЕДЛІХА-КВОНГА-АНГ'Є НА РОЗРАХУНОК ТЕЧІЇ РІДКОГО ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ВІДЦЕНТРОВОМУ КОМПРЕСОРИ (с. 54–65)****Г. С. Воробйова, Д. А. Долматов, К. В. Фесенко, Ю. О. Сисоєв, О. Д. Дегтярьов, М. Ю. Іващенко**

Надкритичні цикли CO₂ (S-CO₂) знайшли застосування в енергетиці і можуть досягати високої ефективності у широкому діапазоні температур і тисків. Рівняння стану реального газу Редліха-Квонга-Анг'є використовується для опису термодинамічних параметрів робочої рідини CO₂. Найбільшою проблемою при його використанні є моделювання фазового переходу між різними станами та областю критичної точки робочої рідини.

Об'єктом дослідження є робочий процес в відцентровому компресорі, розташованому в контурі стиснення з робочою рідиною CO₂. Запропонована математична модель модифікованого рівняння стану Редліха-Квонга-Анг'є дозволяє виконувати фазовий перехід першого роду з рідкої до надкритичної області навіть поблизу критичної точки. В модифіковане рівняння стану додано масштабну поправку, що дозволило значно зменшити похибку у визначенні тиску в широкому діапазоні температур порівняно із вихідним рівнянням стану. Запропонована математична модель може застосовуватись в області чистої рідини, обмеженої діапазоном температур від 220 К до 300 К.

Математична модель використана для вирішення аеродинамічної задачі у 3D просторі, зокрема для визначення термодинамічних та кінематичних властивостей потоку у відцентровому компресорі в широкому діапазоні режимів роботи. Проведено співставлення результатів дослідження з експериментом зі звіту Sandia National Laboratories (США). Отримано задовільний збіг результатів у робочій точці характеристики компресора (менше 5 % розбіжності).

Завдяки простоті форми рівняння стану та невеликій кількості (сім) емпіричних коефіцієнтів, отримана математична модель може використовуватись для практичних задач обчислювальної гідродинаміки без значних витрат обчислювального часу.

Ключові слова: відцентровий компресор, область чистої рідини CO₂, модифіковане рівняння стану Редліха-Квонга-Анг'є, тиск рідини.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302892**ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ СУМІШОУТВОРЕННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛЬНИКА (с. 66–72)****К. О. Романова, І. О. Мігченко**

Використання водневого палива в якості альтернативного джерела індивідуального теплопостачання є досить перспективним напрямком розвитку теплової енергетики. Проте, через фізичні властивості водню та особливостями його горіння виникає ряд проблем для практичного застосування водневих теплогенераторів. До таких проблем належать забезпечення стабільності факелу та великі викиди термічних оксидів азоту (NO_x). Для стабільної роботи водневого пальника, безпечної експлуатації та зниження викидів оксидів азоту при спалювання водню в першу чергу необхідно забезпечити якісне попереднє змішування з повітрям.

В даній роботі наведено перший етап дослідження роботи водневого пальника для виробництва теплоти в модулі Flow Simulation програмного середовища SolidWork. Для об'ємних витрат повітря та водню, що відповідають потужностям 1, 1,5 та 2 кВт та коефіцієнту надлишку повітря $\alpha=1,6$. Наведена конструкція дає можливість забезпечити рівномірне сумішоутворення (об'ємна частка водню складає приблизно 18,5 % по вихідному перерізу пальника та швидкість на виході з пальника відповідно 5,4, 8,1, 10,8 м/с. Пальник представляє собою сопло з короткою камерою попереднього змішування. Спочатку водень подається для змішування в повітряний потік через симетрично розташовані отвори. Після чого створюється завихрення, що забезпечують якісне змішування газів при малій довжині пальника, а також рівномірний розподіл швидкості на виході.

Отримані результати дозволяють перейти до наступного етапу – дослідження процесів горіння водню в топковій камері контактного теплогенератора, які б забезпечували формування стійкого факелу та низькі викиди NO_x. Крім того, така конструкція може бути використана при розробці водневих пальників опалювальних котлів для забезпечення потреб приватних будинків та малих підприємств.

Ключові слова: водневе паливо, водневий пальник, витратні показники пальника, сумішоутворення, виробництво тепла, оксиди азоту.