

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332548

DESIGN OF A COMPLEX DUAL-AXIS SOLAR TRACKER WITH AN INTEGRATED SOLAR PV MONITORING SYSTEM (p. 1–13)**Vitalii Fedenko**Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8907-683X>**Bogdan Dzundza**Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6657-5347>**Myroslav Pavlyuk**Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-2918>**Omelian Poplavskiy**Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-0855>

The object of this study is two-axis tracker systems for tracking the position of the Sun and monitoring the parameters of photovoltaic panels. The task addressed is the optimization of photovoltaic panel positioning to improve their efficiency and maximize electricity generation, specifically selecting the optimal tracking algorithm while accounting for implementation cost and payback period under variable climatic conditions.

The essence of the results is the design and deployment of a system that controls panel tilt and azimuth angles according to the chosen tracking algorithm, while performing online monitoring of key photovoltaic converter operating parameters and meteorological data. By accurately calculating the Sun's trajectory and employing dual-axis tracking, the number of unnecessary movements is reduced, which lowers the tracker's energy consumption and drive wear, thereby improving system reliability and reducing operational costs.

These findings are associated with the use of dual-axis algorithms with precise solar-position calculations, as well as by the implementation of a web interface and an integrated database for collecting statistical data on tracking performance. The system provides real-time data collection and analysis, allowing the tracking algorithm to be changed and its effectiveness to be evaluated for a specific location or climatic zone. The user-friendly web interface enables users to access information in the form of plots and sensor readings.

In practice, the designed system can be used for long-term monitoring of tracking efficiency, to analyze return on investment, as well as plan operational expenditures. Experimental studies showed that the dual-axis tracker with a precise solar-position calculation algorithm increases energy generation efficiency on a spring sunny day in the western region of Ukraine by more than 25%.

Keywords: dual-axis solar tracker, online monitoring system, web interface, solar cell, clean energy.

References

- Dambhare, M. V., Butay, B., Moharil, S. V. (2021). Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends. *Journal of Physics: Conference Series*, 1913 (1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1913/1/012053>
- Ruvinskii, M. A., Kostyuk, O. B., Dzundza, B. S., Yaremiy, I. P., Mokhnatskyi, M. L., Yavorsky, Ya. S. (2017). Kinetic Phenomena and Thermoelectric Properties of Polycrystalline Thin Films Based on PbSnAgTe Compounds. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 9 (5), 05004-1-05004-05006. [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(5\).05004](https://doi.org/10.21272/jnep.9(5).05004)
- Kostyuk, O. B., Dzundza, B. S., Yavorsky, Ya. S., Dashevsky, Z. M. (2021). Development of Thermal Detector Based on Flexible Film Thermoelectric Module. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22 (1), 45–52. <https://doi.org/10.15330/pssc.22.1.45-52>
- Dashevsky, Z., Mamykin, S., Dzundza, B., Auslender, M., Shneck, R. Z. (2023). A Review of Nanocrystalline Film Thermoelectrics on Lead Chalcogenide Semiconductors: Progress and Application. *Energies*, 16 (9), 3774. <https://doi.org/10.3390/en16093774>
- Izam, N. S. M. N., Itam, Z., Sing, W. L., Syamsir, A. (2022). Sustainable Development Perspectives of Solar Energy Technologies with Focus on Solar Photovoltaic – A Review. *Energies*, 15 (8), 2790. <https://doi.org/10.3390/en15082790>
- Renewable capacity statistics 2025 (2025). IRENA. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf
- Champion Photovoltaic Module Efficiency Chart. NREL. Available at: <https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency>
- Barrios-Sánchez, J. M., Tlapanco-Ríos, E. I. (2025). Dual-Axis Solar Tracking System for Enhanced Photovoltaic Efficiency in Tropical Climates. *Sustainability*, 17 (3), 1117. <https://doi.org/10.3390/su17031117>
- Shang, H., Shen, W. (2023). Design and Implementation of a Dual-Axis Solar Tracking System. *Energies*, 16 (17), 6330. <https://doi.org/10.3390/en16176330>
- Hammoumi, A. E., Motahhir, S., Ghizal, A. E., Chalh, A., Derouich, A. (2018). A simple and low-cost active dual-axis solar tracker. *Energy Science & Engineering*, 6 (5), 607–620. <https://doi.org/10.1002/ese3.236>
- Jamroen, C., Fongkerd, C., Krongpha, W., Komkum, P., Pirayawaraporn, A., Chindakham, N. (2021). A novel UV sensor-based dual-axis solar tracking system: Implementation and performance analysis. *Applied Energy*, 299, 117295. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117295>
- Pratama, A. Y., Fauzy, A., Effendi, H. (2019). Performance Enhancement of Solar Panel Using Dual Axis Solar Tracker. 2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 444–447. <https://doi.org/10.1109/iceei47359.2019.8988902>
- Amadi, H. N., Gutierrez, S. (2019). Design and Performance Evaluation of a Dual-Axis Solar Tracking System for Rural Applications. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3 (1). <https://doi.org/10.24018/ejece.2019.3.1.52>
- Holota, V. I., Kogut, I., Druzhinin, A., Khoverko, Y. (2013). High Sensitive Active MOS Photo Detector on the Local 3D SOI-Structure. *Advanced Materials Research*, 854, 45–47. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.854.45>
- Kogut, I. T., Holota, V. I., Druzhinin, A., Dovhij, V. V. (2016). The Device-Technological Simulation of Local 3D SOI-Structures. *Journal of Nano Research*, 39, 228–234. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jnanor.39.228>
- Sunrise/Sunset calculations. NOAA. Available at: <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF>
- Sun Angle Calculator. Available at: <https://www.omnicalculator.com/physics/sun-angle>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329837

DETERMINING THE INFLUENCE OF DESIGN FEATURES IN AGRIVOLTAICS SYSTEMS ON TRACKING EFFICIENCY (p. 14–22)**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
Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1703-4306>**Ivan Rogovskii**National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>**Viacheslav Chuba**Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-0520>**Volodymyr Nadykto**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological
University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-8297>**Ivan Omarov**Institute of Renewable Energy of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9449-853X>**Yaroslav Yarosh**Institute of Renewable Energy of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6590-7058>**Ivan Chuba**MSDLab OU, Koima, Pärnu maakond, Estonia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3237-3458>

The object of this study is agrivoltaics systems. The task addressed relates to determining the tracking efficiency of agrivoltaics systems. The subject of the study is the dependence of the tracking efficiency of agrivoltaics systems on their design features and the dependence of the area coverage efficiency of photovoltaic panels on the distance between the arrays in an agrivoltaics system during the highest solar activity.

It was established that the tracking efficiency of an agrivoltaics system with a horizontal axis of rotation and the orientation of the axis of rotation "East-West" is 34.75%, and for an agrivoltaics system with an orientation "North-South" – 52.89%. The tracking efficiency of an agrivoltaics system with an orientation "North-South" and the axis of rotation set at an angle of latitude (50°) is 67.95%. At the same time, with the rotation axis set in such a way that the photovoltaic modules track the flow of sunlight also in the vertical plane, this value is 69.5%. The length of the day during the operation of the agrivoltaics system varies from 12 hours on March 21 and September 21 to 16 hours on June 21. This combination of the time of switching on and off the agrivoltaics system and the length of the day leads to the fact that the angle of inclination of the photovoltaic modules relative to the plane of their axis of rotation is 45°.

The obtained value of the angle of inclination of the photovoltaic modules relative to the plane of the axis of rotation in the agrivoltaics system has made it possible to determine the distance between agrivoltaics arrays, which was 3.79 m. If one takes into account the specified distance between the agrivoltaics arrays, the efficiency of

covering the area with photovoltaic modules during the highest solar activity will be 52.8%.

The research results could be used as a basis for designing agrivoltaics system structures at different latitudes as well as assessing their economic efficiency.

Keywords: agrivoltaics, photovoltaic module, angle of incidence of solar rays, tracking, photovoltaics.

References

1. Pourasl, H. H., Barenji, R. V., Khojastehnezhad, V. M. (2023). Solar energy status in the world: A comprehensive review. *Energy Reports*, 10, 3474–3493. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.10.022>
2. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. Available at: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
3. Córdoba Hernández, R., Camerin, F. (2024). The application of ecosystem assessments in land use planning: A case study for supporting decisions toward ecosystem protection. *Futures*, 161, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2024.103399>
4. Anusuya, K., Vijayakumar, K., Leenus Jesu Martin, M., Manikandan, S. (2024). Agrophotovoltaics: enhancing solar land use efficiency for energy food water nexus. *Renewable Energy Focus*, 50, 100600. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100600>
5. Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I., Högy, P. (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41 (5). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00714-y>
6. Zahrawi, A. A., Aly, A. M. (2024). A Review of Agrivoltaic Systems: Addressing Challenges and Enhancing Sustainability. *Sustainability*, 16 (18), 8271. <https://doi.org/10.3390/su16188271>
7. Gomez-Casanovas, N., Mwebaze, P., Khanna, M., Branham, B., Time, A., DeLucia, E. H. et al. (2023). Knowns, uncertainties, and challenges in agrivoltaics to sustainably intensify energy and food production. *Cell Reports Physical Science*, 4 (8), 101518. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2023.101518>
8. Okonkwo, P. C., Nwokolo, S. C., Udo, S. O., Obiwulu, A. U., Onnoghen, U. N., Alarifi, S. S. et al. (2025). Solar PV systems under weather extremes: Case studies, classification, vulnerability assessment, and adaptation pathways. *Energy Reports*, 13, 929–959. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.12.067>
9. Trommsdorff, M., Hopf, M., Hörnle, O., Berwind, M., Schindele, S., Wydra, K. (2023). Can synergies in agriculture through an integration of solar energy reduce the cost of agrivoltaics? An economic analysis in apple farming. *Applied Energy*, 350, 121619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121619>
10. Zhang, F., Li, M., Zhang, W., Liu, W., Ali Abaker Omer, A., Zhang, Z. et al. (2023). Large-scale and cost-efficient agrivoltaics system by spectral separation. *IScience*, 26 (11), 108129. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.108129>
11. Kumpanalaisatit, M., Setthapun, W., Sintuya, H., Pattiya, A., Jansri, S. N. (2022). Current status of agrivoltaic systems and their benefits to energy, food, environment, economy, and society. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 952–963. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.013>
12. Reasoner, M., Ghosh, A. (2022). Agrivoltaic Engineering and Layout Optimization Approaches in the Transition to Renewable Energy Technologies: A Review. *Challenges*, 13 (2), 43. <https://doi.org/10.3390/challe13020043>
13. Majewski, P., Al-shammari, W., Dudley, M., Jit, J., Lee, S.-H., Myoung-Kug, K., Sung-Jim, K. (2021). Recycling of solar PV panels- product stewardship and regulatory approaches. *Energy Policy*, 149, 112062. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112062>
14. Keil, J., Liu, Y., Kortshagen, U., Ferry, V. E. (2021). Bilayer Luminescent Solar Concentrators with Enhanced Absorption and Efficiency

- for Agrivoltaic Applications. *ACS Applied Energy Materials*, 4 (12), 14102–14110. <https://doi.org/10.1021/acsam.1c02860>
15. Osterthun, N., Neugebohrn, N., Gehrke, K., Vehse, M., Agert, C. (2021). Spectral engineering of ultrathin germanium solar cells for combined photovoltaic and photosynthesis. *Optics Express*, 29 (2), 938. <https://doi.org/10.1364/oe.412101>
 16. Dinesh, H., Pearce, J. M. (2016). The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024>
 17. Gautam, S., Das, D. B., Saxena, A. K. (2024). Economic indicators evaluation to study the feasibility of a solar agriculture farm: A case study. *Solar Compass*, 10, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2024.100074>
 18. Bolinger, M., Bolinger, G. (2022). Land Requirements for Utility-Scale PV: An Empirical Update on Power and Energy Density. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12 (2), 589–594. <https://doi.org/10.1109/jphotov.2021.3136805>
 19. Imran, H., Riaz, M. H. (2021). Investigating the potential of east/west vertical bifacial photovoltaic farm for agrivoltaic systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13 (3). <https://doi.org/10.1063/5.0054085>
 20. Riaz, M. H., Imran, H., Younas, R., Butt, N. Z. (2021). The optimization of vertical bifacial photovoltaic farms for efficient agrivoltaic systems. *Solar Energy*, 230, 1004–1012. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.051>
 21. Akbar, A., Mahmood, F. ibne, Alam, H., Aziz, F., Bashir, K., Zafar Butt, N. (2024). Field Assessment of Vertical Bifacial Agrivoltaics with Vegetable Production: A Case Study in Lahore, Pakistan. *Renewable Energy*, 227, 120513. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120513>
 22. Kallioğlu, M. A., Avcı, A. S., Sharma, A., Khargotra, R., Singh, T. (2024). Solar collector tilt angle optimization for agrivoltaic systems. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54, 103998. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.103998>
 23. Varo-Martínez, M., Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J. C., Ruiz-Jiménez, R., López-Luque, R. (2024). Methodology for the estimation of cultivable space in photovoltaic installations with dual-axis trackers for their reconversion to agrivoltaic plants. *Applied Energy*, 361, 122952. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122952>
 24. Berrian, D., Chhapiya, G., Linder, J. (2025). Performance of land productivity with single-axis trackers and shade-intolerant crops in agrivoltaic systems. *Applied Energy*, 384, 125471. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125471>
 25. Alam, H., Butt, N. Z. (2024). How does module tracking for agrivoltaics differ from standard photovoltaics? Food, energy, and techno-economic implications. *Renewable Energy*, 235, 121151. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121151>
 26. Hussain, S. N., Ghosh, A. (2024). Evaluating tracking bifacial solar PV based agrivoltaics system across the UK. *Solar Energy*, 284, 113102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.113102>
 27. Willockx, B., Lavaert, C., Cappelle, J. (2023). Performance evaluation of vertical bifacial and single-axis tracked agrivoltaic systems on arable land. *Renewable Energy*, 217, 119181. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119181>
 28. 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>
 29. Golub, G., Tsyvenkova, N., Nadykto, V., Marus, O., Yaremenko, O., Omarov, I. et al. (2024). Determining the influence of mounting angle on the average annual efficiency of fixed solar photovoltaic modules. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (128)), 26–37. LOCKSS. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300485>
 30. Golub, G., Blažauskas, E., Tsyvenkova, N., Šarauskis, E., Jasinskas, A., Kukharets, S. et al. (2025). Determination of the Installation Efficiency of Vertical Stationary Photovoltaic Modules with a Double-Sided "East-West"-Oriented Solar Panel. *Applied Sciences*, 15 (3), 1635. <https://doi.org/10.3390/app15031635>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327063

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF BOILER COMBUSTION EFFICIENCY AND EMISSIONS USING GENETIC ALGORITHM AND RECURRENT NEURAL NETWORK IN 660-MW COAL-FIRED POWER PLANT (p. 23–33)

Mohamad Arwan Efendy

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0544-6558>

Ahmad Syihan Auzani

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5068-192X>

Sholahudin

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8529-3292>

Indonesia has demonstrated a firm commitment to achieving Net Zero Emissions (NZE) by 2060. The implementation of diverse strategies, such as the application of biomass co-firing technology in coal-based steam power plants, demonstrates this commitment. This study focuses on the 660 MW supercritical coal-fired boiler as the object of investigation. The key problem addressed in this research is the unstable combustion performance due to the dynamic and nonlinear interactions among operational variables under biomass co-firing conditions. These fluctuations can negatively impact boiler efficiency, CO₂ emissions, and the plant's capability factor. The study proposes a dynamic multi-objective optimization framework using a Recurrent Neural Network (RNN), Response Surface Methodology (RSM), and a Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA) to enhance performance reliability and support Indonesia's transition to cleaner energy sources.

The findings indicate that the RNN model exhibited superior prediction accuracy compared to the RSM, with a Root Mean Square Error (RMSE) value of 0.1523% for boiler efficiency, 1.6993% for CO₂ emissions, and 0.5284% for the capability factor. The MOGA optimization exhibited an enhancement in boiler efficiency from 86.6793% to 87.32%, a reduction in CO₂ emissions from 114.213 mg/Nm³ to 53.972 mg/Nm³, and an augmentation in the capability factor from 87.9% to 89.32%. Furthermore, coal consumption is reduced to 51,524 tons per hour, which can generate operational cost savings of IDR 1.34 billion per day.

The RNN and MOGA-based approaches have been demonstrated to be more effective than RSM for optimizing boiler combustion. This method is important for developing a strategy to improve the efficiency of the combustion process in boilers in coal-fired power plants. It will also help support the transition to clean energy and achieve the NZE 2060 target.

Keywords: boiler efficiency, co-firing, artificial neural network, genetic algorithm, net zero emission.

References

1. World Energy Outlook 2023. IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
2. Demirbaş, A. (2003). Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Conversion and Management*, 44 (9), 1465–1479. [https://doi.org/10.1016/s0196-8904\(02\)00144-9](https://doi.org/10.1016/s0196-8904(02)00144-9)
3. Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T., Björklund, A. (2007). Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste

- incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy*, 35 (2), 1346–1362. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.005>
4. Gil, M. V., Rubiera, F. (2019). Coal and biomass cofiring. *New Trends in Coal Conversion*, 117–140. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102201-6.00005-4>
 5. Nawaz, Z., Ali, U. (2020). Techno-economic evaluation of different operating scenarios for indigenous and imported coal blends and biomass co-firing on supercritical coal fired power plant performance. *Energy*, 212, 118721. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118721>
 6. Damstedt, B., Pederson, J. M., Hansen, D., Knighton, T., Jones, J., Christensen, C. et al. (2007). Biomass cofiring impacts on flame structure and emissions. *Proceedings of the Combustion Institute*, 31 (2), 2813–2820. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2006.07.155>
 7. De, S., Assadi, M. (2009). Impact of cofiring biomass with coal in power plants – A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, 33 (2), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.07.005>
 8. Roni, M. S., Chowdhury, S., Mamun, S., Marufuzzaman, M., Lein, W., Johnson, S. (2017). Biomass co-firing technology with policies, challenges, and opportunities: A global review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1089–1101. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.023>
 9. Śladowski, Ł., Wojdan, K., Świrski, K., Janda, T., Nabagło, D., Chachula, J. (2017). Optimization of combustion process in coal-fired power plant with utilization of acoustic system for in-furnace temperature measurement. *Applied Thermal Engineering*, 123, 711–720. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.078>
 10. Yao, Z., Romero, C., Baltrusaitis, J. (2023). Combustion optimization of a coal-fired power plant boiler using artificial intelligence neural networks. *Fuel*, 344, 128145. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128145>
 11. Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., Catalão, J. P. S. (2016). Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.053>
 12. Setiawan, A. A. R., Sofyan Munawar, S., Ishizaki, R., Putra, A. S., Ariesca, R., Sidiq, A. N. et al. (2024). Optimizing biomass supply for cofiring at power plants to minimize environmental impact: A case of oil palm empty fruit bunches in West Java. *Fuel*, 367, 131359. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131359>
 13. Wang, H., Yan, Y., Li, Z., Cao, Z., Fu, Y., Zhou, Z., Zhao, D. (2025). Carbon mitigation potential and economic benefits of biomass co-firing in coal-fired power plants: A case study in Nanjing, China. *Energy*, 314, 134262. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134262>
 14. Bhuiyan, A. A., Blicblau, A. S., Islam, A. K. M. S., Naser, J. (2018). A review on thermo-chemical characteristics of coal/biomass co-firing in industrial furnace. *Journal of the Energy Institute*, 91 (1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2016.10.006>
 15. Tokarski, S., Głód, K., Ściążko, M., Zuwała, J. (2015). Comparative assessment of the energy effects of biomass combustion and co-firing in selected technologies. *Energy*, 92, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.044>
 16. Xu, W., Huang, Y., Song, S. (2024). On-line combustion optimization framework for coal-fired boiler combining improved cultural algorithm, deep learning, multi-objective evolutionary algorithm with improved case-based reasoning technology. *Fuel*, 358, 130225. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130225>
 17. Muhammad Ashraf, W., Moeen Uddin, G., Muhammad Arafat, S., Afghan, S., Hassan Kamal, A., Asim, M. et al. (2020). Optimization of a 660 MWe Supercritical Power Plant Performance – A Case of Industry 4.0 in the Data-Driven Operational Management Part 1. *Thermal Efficiency. Energies*, 13 (21), 5592. <https://doi.org/10.3390/en13215592>
 18. Box, G. E. P., Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 13 (1), 1–38. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1951.tb00067.x>
 19. Montgomery, D. (2019). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley, 688.
 20. Jensen, W. A. (2017). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments* 4th edition. *Journal of Quality Technology*, 49 (2), 186–188. <https://doi.org/10.1080/00224065.2017.11917988>
 21. Skovgaard, L. T. (2000). *Applied regression analysis*. 3rd edn. N. R. Draper and H. Smith, Wiley, New York, 1998. No. of pages: xvii+706. Price: £45. ISBN 0-471-17082-8. *Statistics in Medicine*, 19 (22), 3136–3139. [https://doi.org/10.1002/1097-0258\(20001130\)19:22<3136::aid-sim607>3.3.co;2-h](https://doi.org/10.1002/1097-0258(20001130)19:22<3136::aid-sim607>3.3.co;2-h)
 22. Antony, J. (2014). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2012-0-03558-2>
 23. Galintin, O., Rasit, N., Hamzah, S. (2020). Production and Characterization of Eco Enzyme Produced from Fruit and Vegetable Wastes and its Influence on the Aquaculture Sludge. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11 (3), 10205–10214. <https://doi.org/10.33263/briac113.1020510214>
 24. Garg, S., Shariff, A. M., Shaikh, M. S., Lal, B., Suleman, H., Faiqa, N. (2017). Experimental data, thermodynamic and neural network modeling of CO₂ solubility in aqueous sodium salt of L-phenylalanine. *Journal of CO₂ Utilization*, 19, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.03.011>
 25. Ji, Y., Kang, Z., Liu, X. (2021). The data filtering based multiple-stage Levenberg-Marquardt algorithm for Hammerstein nonlinear systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 31 (15), 7007–7025. <https://doi.org/10.1002/rnc.5675>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332187
NORMALIZATION OF NON-SINUSOIDALITY INDICATORS OF MAGNETOELECTRIC GENERATOR UNDER AN AUTONOMOUS MODE OF OPERATION (p. 34–41)

Teimuraz Katsadze

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-0046>

Volodymyr Chyzhevskiy

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1224-1798>

Mykhailo Kovalenko

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

Vadim Chumack

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>

Naina Buslova

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1333-9973>

The object of this study is a magnetoelectric generator with an excitation system based on permanent magnets and an additional magnetic system in the form of ferromagnetic shunts.

This paper considers the task of non-sinusoidal voltage in a local electrical network with a magnetoelectric generator. This phenomenon negatively affects the operation of consumers and reduces the energy efficiency of the system. The work investigates the causes of harmonic distortion and proposes a method for reducing their impact.

This helps ensure stable and high-quality operation of consumers in the electrical network.

The generated voltage was studied in terms of non-sinusoidality for a magnetoelectric generator at different load levels in isolated operation. The non-compliance of the generated voltage with the requirements of the current standard in terms of the relative voltage of individual harmonics and the total harmonic distortion factor (THD_T) was established. The dependences of the relative voltage of harmonics on the generator load level in the range from idle to nominal load were determined. The parameters of single-frequency resonant filters were calculated, which enable the normalization of the generated voltage according to the non-sinusoidality indicators under the conditions of isolated operation of the generator with a rated load.

A feature of the results is the design of adaptive voltage non-sinusoidality filters that take into account the specificity of operation of the magnetoelectric generator in the local network.

Analysis of the generator output voltage revealed that under an isolated operation mode, it is necessary to install filters of the 3rd, 5th, 9th, 21st, and 23rd harmonics in the entire generator load range. The absence of harmonic resonance phenomena is shown if filters with fixed parameters are used in the generator load range from idle to rated load.

Keywords: magnetoelectric generator, harmonic voltage, harmonic distortion factor, quality of electric energy.

References

- Ostroverkhov, M., Chumack, V., Falchenko, M., Kovalenko, M. (2022). Development of control algorithms for magnetoelectric generator with axial magnetic flux and double stator based on mathematical modeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (120)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267265>
- Kawambwa, S., Mnyanghwalu, D. (2024). Revenue loss reduction in the electrical distribution networks using distributed generators: A case of Tanzania electrical distribution network. *Journal of ICT Systems*, 2 (2), 67–80. <https://doi.org/10.56279/jicts.v2i2.119>
- He, Y., Li, Y., Liu, J., Xiang, X., Sheng, F., Zhu, X. et al. (2025). A Two-Stage Fault Reconfiguration Strategy for Distribution Networks with High Penetration of Distributed Generators. *Electronics*, 14 (9), 1872. <https://doi.org/10.3390/electronics14091872>
- Fadi, O., Abbou, A., Gaizen, S. (2023). Optimized MPPT for Aero-generator System built on Autonomous Squirrel Cage Generators Using Feed-Forward Neural Network. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13 (3). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i3.14002.g8785>
- Martinez-Bolanos, J. R., Manito, A. R. A., Almeida, M. P., Almeida, J. C., Torres, P. F., Pinho, J. T., Zilles, R. (2025). Improved dynamic model of small stand-alone diesel generators to assess the stability of autonomous microgrids. *AIP Advances*, 15 (2). <https://doi.org/10.1063/5.0232151>
- Sebastián, R. (2022). Modeling, Simulation and Control of Wind Diesel Power Systems. *Energies*, 15 (5), 1712. <https://doi.org/10.3390/en15051712>
- Conti, S., Rizzo, S. A. (2017). An open source tool for reliability evaluation of distribution systems with renewable generators. *Energy Systems*, 10 (2), 385–414. <https://doi.org/10.1007/s12667-017-0264-6>
- Lu, J., Zhao, R., Fang, Y., Gao, Y., Gan, K., Chen, Y. (2025). Fault Equivalence and Calculation Method for Distribution Networks Considering the Influence of Inverters on the Grid Side and the Distribution Network Side. *Energies*, 18 (8), 2111. <https://doi.org/10.3390/en18082111>
- Jaradat, T., Khatib, T. (2024). Optimal sizing of battery energy storage system in electrical power distribution network. *Energy Exploration & Exploitation*. <https://doi.org/10.1177/01445987241300183>
- Souli, A. (2025). Analysis of Transient Overvoltage in Electrical Networks using Elaborate Code and PSCAD. *Electrotehnica, Automatica*, 73 (1), 70–77. <https://doi.org/10.46904/eea.25.73.1.1108007>
- Lyu, S., Han, H., Li, J., Yuan, X., Wang, W. (2024). Voltage regulation in distribution networks by electrical vehicles with online parameter estimation. *Frontiers in Energy Research*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1506211>
- Kryshchuk, R. S. (2024). Application of phase current loops for modeling the harmonic magnetic field of a magnetoelectric generator. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2024 (5), 30–35. <https://doi.org/10.15407/techned2024.05.030>
- Li, H., Chen, Z., Polinder, H. (2009). Optimization of Multibrid Permanent-Magnet Wind Generator Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 24 (1), 82–92. <https://doi.org/10.1109/tec.2008.2005279>
- Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. (2020). Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (103)), 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193495>
- Bhende, C. N., Mishra, S., Malla, S. G. (2011). Permanent Magnet Synchronous Generator-Based Standalone Wind Energy Supply System. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2 (4), 361–373. <https://doi.org/10.1109/tste.2011.2159253>
- Chumack, V., Katsadze, T., Bazenov, V., Kovalenko, M., Geraskin, O. (2025). Determining the impact of a magnetoelectric generator on the operation of a local distribution network. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (133)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.322917>
- De La Rosa, F. C. (2015). *Harmonics, Power Systems, and Smart Grids*. CRC Press: Boca Raton, 278. <https://doi.org/10.1201/9781315215174>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327179

OPTIMIZATION OF LOAD DISTRIBUTION AND FUEL CONSUMPTION FOR DIESEL GENERATOR 1000 kW FOR REMOTE AREA USING BIODIESEL B35 POWER STATION (p. 42–59)

Dhimas Adi Purbandono

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3977-8054>

Muhammad Arif Budiyo

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8118-7521>

Firman Ramdan

PLN Indonesia Power UBP Mahakam,

Kota Samarinda, East Kalimantan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9642-9396>

Muhamad Iqbal Felani

PT PLN (Persero) Pusat Penelitian dan Pengembangan

Ketenagalistrikan, South Jakarta,

Jakarta Special Capital Region, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8180-0340>

This study focuses on the operational optimization of a 1000 kW high-speed diesel generator (Mitsubishi S16R) located at PLTD Muara Wahau, a remote power station in East Kalimantan, Indonesia. The generator operates with Biodiesel B35, a national renewable fuel standard containing 35% biodiesel and 65% petroleum diesel. While B35 offers environmental benefits, its lower heating value and distinct combustion characteristics result in an 18% reduction in generator output and increased specific fuel consumption (SFC), posing challenges to performance and fuel efficiency in isolated areas. To address these issues, a hybrid modeling and optimization framework is proposed, combining response surface methodology (RSM), artificial neural networks (ANN), and multi-objective genetic algorithm (MOGA).

A multi-criteria decision-making approach using TOPSIS is applied to evaluate alternative operating scenarios. The study investigates two modes: base load ($\cos \varphi = 0.96$, load = 698 kW) and load share ($\cos \varphi = 0.97$, load = 829 kW). The RSM model in base load mode achieves a fuel consumption of 0.21 l/kWh and efficiency of 42.78%, while the ANN-MOGA model in load share mode records 0.24 l/kWh and 39.42% efficiency. The results demonstrate that parameter optimization can significantly improve the performance of B35-fueled generators. The integrated methodology provides a practical solution for enhancing operational efficiency and sustainability in remote, off-grid power systems, with potential for broader application in similar decentralized energy contexts.

Keywords: diesel generator, biodiesel B35, remote power systems, efficiency, renewable energy.

References

- Bakirtas, T., Akpolat, A. G. (2018). The relationship between energy consumption, urbanization, and economic growth in new emerging-market countries. *Energy*, 147, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.011>
- Terms. Terms and conditions. IEA. Available at: <https://www.iea.org/terms>
- Nirbito, W., Budiyo, M. A., Muliadi, R. (2020). Performance Analysis of Combined Cycle with Air Breathing Derivative Gas Turbine, Heat Recovery Steam Generator, and Steam Turbine as LNG Tanker Main Engine Propulsion System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (9), 726. <https://doi.org/10.3390/jmse8090726>
- Budiyo, M. A., Pamitran, A. S., Wibowo, H. T., Murtado, F. N. (2020). Study on the Performance Analysis of Dual Fuel Engines on the Medium Speed Diesel Engine. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (1), 163–174. <https://doi.org/10.37934/arfmts.68.1.163174>
- Muzhaffar, M. H., Budiyo, M. A. (2024). Exploring Eco-Friendly Paths: A Comparative Study of Emissions in Medium Speed Diesel Engines Utilizing Alternative Fuels through Simulation Analysis. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 124 (2), 235–247. <https://doi.org/10.37934/arfmts.124.2.235247>
- Wirawan, S. S., Solikhah, M. D., Setiaprada, H., Sugiyono, A. (2024). Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 113911. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113911>
- Dubey, A., Prasad, R. S., Kumar Singh, J., Nayyar, A. (2022). Optimization of diesel engine performance and emissions with biodiesel-diesel blends and EGR using response surface methodology (RSM). *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100509. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100509>
- Raja, A., Srivastava, A. P., Dwivedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*. New Age International, 470.
- Pitchaiah, S., Juchelková, D., Sathyamurthy, R., Atabani, A. E. (2023). Prediction and performance optimisation of a DI CI engine fuelled diesel-Bael biodiesel blends with DMC additive using RSM and ANN: Energy and exergy analysis. *Energy Conversion and Management*, 292, 117386. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117386>
- Li, J., Zhong, W., Zhang, J., Zhao, Z., Hu, J. (2023). The combustion and emission improvements for diesel-biodiesel hybrid engines based on response surface methodology. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1201815>
- Khoobakht, G., Najafi, G., Karimi, M., Akram, A. (2016). Optimization of operating factors and blended levels of diesel, biodiesel and ethanol fuels to minimize exhaust emissions of diesel engine using response surface methodology. *Applied Thermal Engineering*, 99, 1006–1017. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.143>
- Khoobakht, G., Akram, A., Karimi, M., Najafi, G. (2016). Exergy and Energy Analysis of Combustion of Blended Levels of Biodiesel, Ethanol and Diesel Fuel in a DI Diesel Engine. *Applied Thermal Engineering*, 99, 720–729. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.022>
- Liu, K., Deng, B., Shen, Q., Yang, J., Li, Y. (2022). Optimization based on genetic algorithms on energy conservation potential of a high speed SI engine fueled with butanol-gasoline blends. *Energy Reports*, 8, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.289>
- Mustayen, A. G. M. B., Rasul, M. G., Wang, X., Negnevitsky, M., Hamilton, J. M. (2022). Remote areas and islands power generation: A review on diesel engine performance and emission improvement techniques. *Energy Conversion and Management*, 260, 115614. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115614>
- Nhieu, N.-L., Dang, T. D. (2024). Harnessing Vietnam's coastal potential: Prioritizing marine energy technologies with an objectively weighting decision-making approach. *Renewable Energy*, 230, 120881. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120881>
- Eputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (2023). No. 170.K.HK.02.DJM.2023. Available at: <https://migas.esdm.go.id/cms/uploads/regulasi/regulasi-kkkl/2023/170.K.HK.02.DJM.2023.pdf>
- Belke, A., Dobnik, F., Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33 (5), 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.005>
- Jeremiah Barasa Kabeyi, M., Akanni Olanrewaju, O. (2020). Performance Analysis Of Diesel Engine Power Plants For Grid Electricity Supply. *SAIIE31 Proceedings*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/348575084>
- Soto, D. (2018). Modeling and measurement of specific fuel consumption in diesel microgrids in Papua, Indonesia. *Energy for Sustainable Development*, 45, 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.06.013>
- Baughn, J. W., Bagheri, N. (1985). The Effect of Thermal Matching on the Thermodynamic Performance of Gas Turbine and IC Engine Cogeneration Systems. Volume 4: Manufacturing Materials and Metallurgy; Ceramics; Structures and Dynamics; Controls, Diagnostics and Instrumentation; Process Industries; Technology Resources; General. <https://doi.org/10.1115/85-igt-106>
- Gunst, R. F., Myers, R. H., Montgomery, D. C. (1996). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. *Technometrics*, 38 (3), 285. <https://doi.org/10.2307/1270613>
- Manojkumar, N., Muthukumar, C., Sharmila, G. (2022). A comprehensive review on the application of response surface methodology for optimization of biodiesel production using different oil sources. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 34 (3), 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.09.012>
- Chen, W.-H., Carrera Uribe, M., Kwon, E. E., Lin, K.-Y. A., Park, Y.-K., Ding, L., Saw, L. H. (2022). A comprehensive review of thermoelectric generation optimization by statistical approach: Taguchi method, analysis of variance (ANOVA), and response surface methodology (RSM). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112917. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112917>
- Dongare, A. D., Kharde, R. R., Kachare, A. D. (2008). Introduction to Artificial Neural Network. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2 (1). Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=04d0b6952a4f0c7203577afc9476c2fcab2cba06>
- Viera-Martin, E., Gómez-Aguilar, J. F., Solís-Pérez, J. E., Hernández-Pérez, J. A., Escobar-Jiménez, R. F. (2022). Artificial neural networks: a practical review of applications involving fractional calculus. *The European Physical Journal Special Topics*, 231 (10), 2059–2095. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-022-00455-3>
- Yunus, R. B., Zainuddin, N., Daud, H., Kannan, R., Yahaya, M. M., Al-Yaari, A. (2024). An improved accelerated 3-term conjugate gradient

- algorithm with second-order Hessian approximation for nonlinear least-squares optimization. *Journal of Mathematics and Computer Science*, 36 (03), 263–274. <https://doi.org/10.22436/jmcs.036.03.02>
27. Huang, X., Cao, H., Jia, B. (2023). Optimization of Levenberg Marquardt Algorithm Applied to Nonlinear Systems. *Processes*, 11 (6), 1794. <https://doi.org/10.3390/pr11061794>
 28. Kayri, M. (2016). Predictive Abilities of Bayesian Regularization and Levenberg-Marquardt Algorithms in Artificial Neural Networks: A Comparative Empirical Study on Social Data. *Mathematical and Computational Applications*, 21 (2), 20. <https://doi.org/10.3390/mca21020020>
 29. Gao, Y., Shi, L., Yao, P. (2000). Study on multi-objective genetic algorithm. *Proceedings of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation (Cat. No.00EX393)*, 1, 646–650. <https://doi.org/10.1109/wcica.2000.860052>
 30. Lambora, A., Gupta, K., Chopra, K. (2019). Genetic Algorithm – A Literature Review. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), 380–384. <https://doi.org/10.1109/comitcon.2019.8862255>
 31. Murata, T., Ishibuchi, H., Tanaka, H. (1996). Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 30 (4), 957–968. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00045-9](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00045-9)
 32. Hajabdollahi, F., Rafsanjani, H. H., Hajabdollahi, Z., Hamidi, Y. (2012). Multi-objective optimization of pin fin to determine the optimal fin geometry using genetic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (1), 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.05.048>
 33. Wang, P., Zhu, Z., Huang, S. (2014). The use of improved TOPSIS method based on experimental design and Chebyshev regression in solving MCDM problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28 (1), 229–243. <https://doi.org/10.1007/s10845-014-0973-9>
 34. Bezerra, M. A., Santelli, R. E., Oliveira, E. P., Villar, L. S., Escalera, L. A. (2008). Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. *Talanta*, 76 (5), 965–977. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>
 35. Bhattacharya, S. (2021). Central Composite Design for Response Surface Methodology and Its Application in Pharmacy. *Response Surface Methodology in Engineering Science*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95835>
 36. Bharadwaz, A., Dhar, S., Jayasuriya, A. C. (2023). Full factorial design of experiment-based and response surface methodology approach for evaluating variation in uniaxial compressive mechanical properties, and biocompatibility of photocurable PEGDMA-based scaffolds. *Biomedical Materials*, 18 (2), 025019. <https://doi.org/10.1088/1748-605x/abc7bd>
 37. Sahoo, P. (2011). Optimization of Turning Parameters for Surface Roughness Using RSM and GA. *Advances in Production Engineering & Management*, 6, 197–208. Available at: https://apem-journal.org/Archives/2011/APEM6-3_197-208.pdf
 38. Kanani, H., Shams, M., Hasheminasab, M., Bozorgnezhad, A. (2015). Model development and optimization of operating conditions to maximize PEMFC performance by response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 93, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.093>
 39. Ali, P. J. M., Faraj, R. H. (2014). Data Normalization and Standardization: A Technical Report. *Machine Learning Technical Reports*, 1 (1). <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.28948.04489>
 40. Singla, P., Duhan, M., Saroha, S. (2022). Different normalization techniques as data preprocessing for one step ahead forecasting of solar global horizontal irradiance. *Artificial Intelligence for Renewable Energy Systems*, 209–230. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90396-7.00004-3>
 41. Khan, H., Hussain, S., Hussain, S. F., Gul, S., Ahmad, A., Ullah, S. (2021). Multivariate modeling and optimization of Cr(VI) adsorption onto carbonaceous material via response surface models assisted with multiple regression analysis and particle swarm embedded neural network. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101952. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101952>
 42. Madhwaran, M., Louzazni, M. (2022). Analysis of Artificial Neural Network: Architecture, Types, and Forecasting Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022, 1–23. <https://doi.org/10.1155/2022/5416722>
 43. Selvakumar, S., Ravikumar, R. (2018). A Novel Approach for Optimization to Verify RSM Model by Using Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA). *Materials Today: Proceedings*, 5 (5), 11386–11394. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.02.106>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332548

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНІ СИСТЕМИ ДВОВІСНОГО СОНЯЧНОГО ТРЕКІНГУ ТА МОНІТОРИНГУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (с. 6–13)**В. Я. Феденько, Б. С. Дзундза, М. Ф. Павлюк, О. П. Поплавський**

Об'єктом дослідження є двоосові трекерні системи відстеження положення Сонця та моніторингу параметрів фотоелектричних панелей. Проблемою, що вирішувалася, є оптимізація позиціонування фотоелектричних панелей для підвищення їхньої ефективності та максимізації виробництва електроенергії, зокрема вибір оптимального алгоритму трекінгу з урахуванням вартості реалізації та терміну окупності в умовах змінних кліматичних факторів. Суть отриманих результатів полягає в розробці та впровадженні системи керування кутами нахилу та азимуту панелей згідно з обраним алгоритмом трекінгу та здійсненні онлайн-моніторингу ключових параметрів роботи фотоелектричного перетворювача і метеоданих. Завдяки точному розрахунку траєкторії Сонця та двоосовому відстеженню зменшено кількість зайвих рухів, що сприяє зниженню енергоспоживання трекера та зменшенню зношування приводу, підвищуючи надійність системи та знижуючи експлуатаційні витрати. Ці результати пояснюються застосуванням двоосових алгоритмів із точним розрахунком положення Сонця, а також реалізацією web-інтерфейсу та інтегрованої бази даних для накопичення статистичних даних про ефективність трекінгу. Система забезпечує збір і аналіз інформації в режимі реального часу та дозволяє змінювати алгоритм трекінгу і проводити дослідження його ефективності для певної локації чи кліматичної зони. Зручний web-інтерфейс дозволяє користувачам отримувати дані у вигляді графіків і та значень з сенсорів. На практиці розроблену систему можна використовувати для довгострокового моніторингу ефективності трекінгу, аналізу окупності інвестицій і планування експлуатаційних витрат. Експериментальні дослідження показали, що двоосова трекерна система з алгоритмом точного розрахунку положення Сонця підвищує ефективність виробництва електроенергії у весняний сонячний день у західному регіоні України на понад 25%.

Ключові слова: двоосовий сонячний трекер, система online моніторингу, web-інтерфейс, фотоелектричні перетворювачі, чиста енергія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329837

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ АГРОВОЛЬТАЇКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРЕКІНГУ (с. 14–22)**Г. А. Голуб, Н. М. Цивенкова, І. Л. Роговський, В. В. Чуба, В. Т. Надикто, І. С. Омаров, Я. Д. Ярош, Ivan Chuba**

Об'єктом дослідження є системи агровольтаїки. Вирішувалася проблема визначення ефективності трекінгу систем агровольтаїки. Предметом дослідження є залежність ефективності трекінгу систем агровольтаїки від їх конструктивних особливостей та залежність ефективності покриття площі фотоелектричними панелями від відстані між масивами системи агровольтаїки під час найбільшої сонячної активності.

Встановлено, що значення ефективності трекінгу системи агровольтаїки із горизонтальною віссю обертання та орієнтацією осі обертання «Схід-Захід» становить 34,75%, а для системи агровольтаїки із орієнтацією «Північ-Південь» – 52,89%. Значення ефективності трекінгу системи агровольтаїки із орієнтацією «Північ-Південь» та віссю обертання встановленою під кутом широти (50°) становить 67,95%. У той же час, при осі обертання встановленою таким чином, щоб фотоелектричні модулі відслідковували потік сонячних променів також у вертикальній площині це значення становить 69,5%. Протяжність дня під час роботи системи агровольтаїки змінюється від 12 годин 21 березня та 21 вересня до 16 годин 21 червня. Така комбінація часу увімкнення-вимкнення системи агровольтаїки в роботу та протяжності дня призводить до того, що кут нахилу фотоелектричних модулів відносно площини їх осі обертання становить 45°. Отримане значення кута нахилу фотоелектричних модулів відносно площини осі обертання в системі агровольтаїки дозволило визначити відстань між масивами агровольтаїки, яка становила 3,79 м. Якщо прийняти до уваги зазначену відстань між масивами агровольтаїки, то ефективність покриття площі фотоелектричними модулями під час найвищої сонячної активності становитиме 52,8%.

Результати досліджень можуть бути покладені в основу розробки конструкцій системи агровольтаїки на різних широтах та оцінки їх економічної ефективності.

Ключові слова: агровольтаїка, фотоелектричний модуль, кут падіння сонячних променів, трекінг, фотовольтаїка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327063

БАГАТОЦІЛЬОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРЯННЯ ТА ВИКИДІВ КОТЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ТА РЕКУРЕНТНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ НА ВУГІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 660 МВт (с. 23–33)**Mohamad Arwan Efendy, Ahmad Syihan Auzani, Sholahudin**

Індонезія продемонструвала тверде зобов'язання досягти нульових викидів до 2060 року. Впровадження різноманітних стратегій, таких як застосування технології спільного спалювання біомаси на вугільних теплоелектростанціях, демонструє це зобов'язання. Це дослідження зосереджено на надкритичному вугільному котлі потужністю 660 МВт як об'єкті дослідження. Ключовою проблемою, що розглядається в цьому дослідженні, є нестабільна продуктивність горіння через динамічну та нелінійну взаємодію між експлуатаційними змінними в умовах спільного спалювання біомаси. Ці коливання можуть негативно вплинути на ефективність котла, викиди CO₂ та коефіцієнт потужності електростанції. У дослідженні пропонується динамічна багатоцільова структура оптимізації з використанням рекурентної нейронної мережі (РНМ), методології поверхні відгуку (МПВ) та багатоцільового генетичного

алгоритму (БГА) для підвищення надійності продуктивності та підтримки переходу Індонезії до чистіших джерел енергії. Результати дослідження показують, що модель РНМ продемонструвала вищу точність прогнозування порівняно з МПВ, зі значенням середньоквадратичної помилки 0,1523% для ефективності котла, 1,6993% для викидів CO_2 та 0,5284% для коефіцієнта потужності. Оптимізація БГА продемонструвала підвищення ефективності котла з 86,6793% до 87,32%, зменшення викидів CO_2 зі 114,213 мг/нм³ до 53,972 мг/нм³ та збільшення коефіцієнта потужності з 87,9% до 89,32%. Крім того, споживання вугілля зменшилося до 51524 тон на годину, що може забезпечити економію експлуатаційних витрат у розмірі 1,34 мільярда індонезійських рупій на день.

Підходи на основі РНМ та БГА виявилися ефективнішими, ніж МПВ, для оптимізації горіння в котлах. Цей метод важливий для розробки стратегії підвищення ефективності процесу горіння в котлах вугільних електростанцій. Це також допоможе підтримати перехід до чистої енергії та досягти цілі нульових викидів до 2060 року.

Ключові слова: ефективність котла, спільне спалювання, штучна нейронна мережа, генетичний алгоритм, нульові викиди.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332187

НОРМАЛІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ НЕСИНУСОЇДНОСТІ НАПРУГИ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ (с. 34–41)

Т. Л. Кацадзе, В. В. Чижевський, М. А. Коваленко, В. В. Чумак, Н. В. Буслова

Об'єктом дослідження є магнітоелектричний генератор із системою збудження на основі постійних магнітів та додатковою магнітною системою у вигляді феромагнітних шунтів.

В роботі вирішується проблема несинусоїдності напруги в локальній електричній мережі з магнітоелектричним генератором. Це явище негативно впливає на роботу споживачів та знижує енергоефективність системи. В роботі досліджені причини виникнення гармонічних спотворень та запропоновано метод зниження їх впливу. Це сприяє забезпеченню стабільної та якісної роботи споживачів в електромережі.

Проведено дослідження генерованої напруги за показниками несинусоїдності для магнітоелектричного генератора за різних рівнів завантаження в умовах ізолюваної роботи. Встановлено невідповідність генерованої напруги вимогам чинного стандарту за показниками відносної напруги окремих гармонік та сумарного коефіцієнту гармонічних спотворень за напругою (THD_U). Визначено залежності відносної напруги гармонік від рівня завантаження генератора в діапазоні від холостого ходу до номінального завантаження. Розраховано параметри одночастотних резонансних фільтрів, які забезпечують нормалізацію генерованої напруги за показниками несинусоїдності в умовах ізолюваної роботи генератора з номінальним завантаженням.

Особливістю отриманих результатів є розробка адаптивних фільтрів несинусоїдності напруги, які враховують специфіку роботи магнітоелектричного генератора в локальній мережі.

Аналіз вихідної напруги генератора показав, що в ізолюваному режимі роботи в усьому діапазоні навантаження генератора необхідно встановлювати фільтри 3-ї, 5-ї, 9-ї, 21-ї та 23-ї гармонік. Показано відсутність гармонічних резонансних явищ за умови застосування фільтрів з фіксованими параметрами в діапазоні завантажень генератора від холостого ходу до номінального завантаження.

Ключові слова: магнітоелектричний генератор, напруга гармонік, коефіцієнт гармонічних спотворень, якість електричної енергії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327179

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВИТРАТИ ПАЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ПОТУЖНІСТЮ 1000 кВт ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО РЕГІОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОДИЗЕЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В35 (с. 42–59)

Dhimas Adi Purbandono, Muhammad Arif Budiyanto, Firman Ramdan, Muhamad Iqbal Felani

Це дослідження зосереджено на оптимізації роботи високошвидкісного дизельного генератора потужністю 1000 кВт (Mitsubishi S16R), розташованого на PLTD Muara Wahau, віддаленій електростанції у Східному Калімантані, Індонезія. Генератор працює на біодизелі В35, національному стандарті відновлюваного палива, що містить 35% біодизеля та 65% дизельного палива на основі нафтопродуктів. Хоча В35 пропонує екологічні переваги, його нижча теплотворна здатність та відмінні характеристики згоряння призводять до зниження потужності генератора на 18% та збільшення питомої витрати палива (SFC), що створює проблеми для продуктивності та паливної ефективності в ізолюваних районах. Для вирішення цих проблем запропоновано гібридну систему моделювання та оптимізації, що поєднує методологію поверхні відгуку, штучні нейронні мережі та багатоцільовий генетичний алгоритм. Для оцінки альтернативних сценаріїв роботи застосовується багатокритеріальний підхід до прийняття рішень з використанням TOPSIS. В роботі досліджуються два режими: базове навантаження ($\cos \varphi = 0,96$, навантаження = 698 кВт) та розподіл навантаження ($\cos \varphi = 0,97$, навантаження = 829 кВт). Модель поверхні відгуку у режимі базового навантаження досягає споживання палива 0,21 л/кВт-год та ефективності 42,78%, тоді як модель ANN-MOGA у режимі розподілу навантаження фіксує 0,24 л/кВт-год та ефективність 39,42%. Результати показують, що оптимізація параметрів може значно покращити продуктивність генераторів, що працюють на біодизелі В35. Інтегрована методологія пропонує практичне рішення для підвищення експлуатаційної ефективності та сталого розвитку у віддалених, автономних енергетичних системах, з потенціалом для ширшого застосування в аналогічних децентралізованих енергетичних контекстах.

Ключові слова: дизельний генератор, біодизель В35, дистанційні енергетичні системи, ефективність, відновлювана енергія.