

## ABSTRACT AND REFERENCES

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280053**  
**IMPROVING A MODEL OF THE HYBRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH A STORAGE BATTERY FOR LOCAL OBJECT'S SELF-CONSUMPTION INVOLVING THE SETTING OF POWER CONSUMED FROM THE GRID (p. 6–16)**

**Olexandr Shavolkin**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3914-0812>

**Iryna Shvedchikova**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>

**Victoria Lishchuk**

NPC «Ukrenergo», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-8118-0673>

**Yevhen Stanovskyi**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6693-5181>

The object of research is energy processes in a hybrid photovoltaic system with a storage battery for the needs of a local object involving the setting of power consumed from the network. The task addressed was to build a mathematical model of energy processes with the function of determining control parameters providing for the possibility of changing control scenarios. The mathematical model of the storage battery has been improved, taking into account the charge modes and discharge currents in terms of accuracy of reproduction of the manufacturer's specification not worse than 3 %. A structure of the model was proposed with separation of module, which defines control parameters, as well as the schedule of power setting for selected scenarios. A variable is introduced into the model description, which determines the specified power value and ensures the construction of  $SoC(t)$  schedule. An additional mode to increase the energy use of the photovoltaic battery and restrictions on the measured value of load power were taken into account. Modeling with a change in time scale was proposed: first, control parameters are determined, followed by modeling in the daily cycle. This eliminates the need for preliminary calculations before modeling and provides the ability to verify the determination of system parameters with subsequent adjustment. A procedure for determining control parameters with power setting and adjusting the model under different control scenarios has been devised. When using archival generation data for the location of the facility, this makes it possible at the design stage to choose an option for implementing the power supply system with the desired indicators. For specific uses, it has been shown that underestimating the power of a photovoltaic battery by only 9 % increases energy costs by 1.72–1.39 times. Overstating power by 16.7 % impairs usage by 13.7 % while reducing costs by 1.4 % to 2.5 %.

**Keywords:** modular structure,  $SoC(t)$  schedule, power setting, control scenarios, daily simulation cycle.

#### References

- Shavelkin, A. A., Gerlici, J., Shvedchikova, I. O., Kravchenko, K., Kruhliak, H. V. (2021). Management of power consumption in a photovoltaic system with a storage battery connected to the network with multi-zone electricity pricing to supply the local facility own needs. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2, 36–42. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2021.2.06>
- Ali, A. O., Hamed, A. M., Abdelsalam, M. M., Sabry, M. N., Elmarghany, M. R. (2022). Energy management of photovoltaic-battery system connected with the grid. *Journal of Energy Storage*, 55, 105865. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105865>
- Shavolkin, O., Shvedchikova, I., Romanchenko, J., Marchenko, R., Yakymets, S. (2022). Installed Power of the Grid-Tied Photovoltaic System with Battery for Self-Consumption of the Local Object. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). doi: <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005628>
- Photovoltaic geographical information system. Available at: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#SA](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA)
- Shavolkin, O., Shvedchikova, I., Gerlici, J., Kravchenko, K., Pribilinec, F. (2022). Use of Hybrid Photovoltaic Systems with a Storage Battery for the Remote Objects of Railway Transport Infrastructure. *Energies*, 15 (13), 4883. doi: <https://doi.org/10.3390/en15134883>
- Iyengar, S., Sharma, N., Irwin, D., Shenoy, P., Ramamritham, K. (2014). SolarCast – an open web service for predicting solar power generation in smart homes. *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings*. doi: <https://doi.org/10.1145/2674061.2675020>
- Mehrabani, A., Shobeiry, S. M., Rahimi, M. A., Neghab, A. P. (2023). Multi-Objective Optimization of Microgrid in the Presence of Distributed Energy Resources and Demand Response Programs. 2023 10<sup>th</sup> Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG). doi: <https://doi.org/10.1109/icredg58341.2023.10092013>
- Shavolkin, O. O., Stanovskyi, Ye. Yu. (2022). Hybrid photovoltaic system with storage battery for a local object with setting the value of power consumption from the grid. *Journal of Electrical and Power Engineering*, 2 (27), 35–42. doi: <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2022-2-35-42>
- Ouédraogo, S., Faggianelli, G. A., Notton, G., Duchaud, J. L., Voyant, C. (2022). Impact of electricity tariffs and energy management strategies on PV/Battery microgrid performances. *Renewable Energy*, 199, 816–825. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.042>
- Zarate-Perez, E., Sebastián, R. (2022). Autonomy evaluation model for a photovoltaic residential microgrid with a battery storage system. *Energy Reports*, 8, 653–664. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.085>
- Barelli, L., Bidini, G., Bonucci, F., Castellini, L., Castellini, S., Ottaviano, A. et al. (2018). Dynamic Analysis of a Hybrid Energy Storage System (H-ESS) Coupled to a Photovoltaic (PV) Plant. *Energies*, 11 (2), 396. doi: <https://doi.org/10.3390/en11020396>
- Shavolkin, O., Shvedchikova, I. (2020). Improvement of the multifunctional converter of the photoelectric system with a storage battery for a local object with connection to a grid. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek51551.2020.9250096>
- 24-hour Simulation of a Vehicle-to-Grid (V2G) System. Available at: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/24-hour-simulation-of-a-vehicle-to-grid-v2g-system.html>
- Simplified Model of a Small Scale Micro-Grid. Available at: <https://www.mathworks.com/help/sps/ug/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>

15. Singh, M., Singh, O. (2019). Phasor Solution of a Micro-Grid to Accelerate Simulation Speed. Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Advanced Computing and Software Engineering (ICACSE) 2019. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3351025>
16. Kenzhina, M., Kalysh, I., Ukaegbu, I., Nunna, S. K. (2019). Virtual Power Plant in Industry 4.0: The Strategic Planning of Emerging Virtual Power Plant in Kazakhstan. 2019 21st International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). doi: <https://doi.org/10.23919/icact.2019.8701989>
17. Chola, R., Singh, S. B. (2020). A Case Study on 24-h Simulation of V2G System. Advances in Renewable Energy and Sustainable Environment, 131–140. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5313-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5313-4_13)
18. Patnaik, S., Nayak, M., Viswavandya, M. (2022). Strategic integration of battery energy storage and photovoltaic at low voltage level considering multiobjective cost-benefit. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 30 (4), 1600–1620. doi: <https://doi.org/10.55730/1300-0632.3868>
19. Mohamed, T. H., Abdel-Rahim, A. M. (2017). Single area power system voltage and frequency control using V2G scheme. 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON). doi: <https://doi.org/10.1109/mepcon.2017.8301298>
20. Tremblay, O., Dessaint, L.-A., Dekkiche, A.-I. (2007). A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles. 2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/vppc.2007.4544139>
21. Iqbal, M. M., Kumar, S., Lal, C., Kumar, C. (2022). Energy management system for a small-scale microgrid. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s43067-022-00046-1>
22. Sotnyk, I. M., Zavdovyeva, Y. M., Zavdovyev, O. I. (2014). Multi-rate Tariffs in the Management of Electricity Demand. Mechanism of Economic Regulation, 2, 106–115. Available at: [https://mer.fem.sumdu.edu.ua/content/acticles/issue\\_21/IRYNA\\_M\\_SOTNYK\\_YULIA\\_N\\_ZAVDOVYEVA\\_ALEXANDER\\_I\\_ZAVDOVYEVMulti\\_Rate\\_Tariffs\\_in\\_the\\_Management\\_of\\_Electricity\\_Demand.pdf](https://mer.fem.sumdu.edu.ua/content/acticles/issue_21/IRYNA_M_SOTNYK_YULIA_N_ZAVDOVYEVA_ALEXANDER_I_ZAVDOVYEVMulti_Rate_Tariffs_in_the_Management_of_Electricity_Demand.pdf)
23. Ege Lithium Iron Phosphate Battery 12.8V 150Ah. Available at: <https://www.eco-greenenergy.com/product/ege-lithium-iron-phosphate-battery-12-8v-150ah/>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280046**  
**SUBSTANTIATING THE EXPEDIENCY OF USING HYDROGEN FUEL CELLS IN ELECTRICITY GENERATION (p. 17–29)**

**Sergii Boichenko**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2489-4980>

**Oleksandr Danilin**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3207-1156>

**Iryna Shkilniuk**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8808-3570>

**Anna Yakovlieva**

Technical University of Kosice, Kosice, Slovakia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7618-7129>

**Artem Khotian**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1676-0752>

**Maksym Pavlovskiy**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0933-7326>

**Roksolana Lysak**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2776-5623>

**Sergii Shamanskyi**

Kyiv National University of Construction  
 and Architecture, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6215-3438>

**Anatoliy Kryuchkov**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2234-0546>

**Oksana Tarasiuk**

Institute of Circular and Hydrogen Economy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6697-1078>

The object of research is the process of using a hydrogen fuel cell to generate and accumulate electricity. The study highlights the feasibility of using a hydrogen fuel cell to provide electrical load.

The potential of using hydrogen as an alternative energy source was evaluated. SWOT analysis was used as a research method, based on the results of which recommendations were developed. The proposed measures could be taken to increase the use of hydrogen energy as an alternative to traditional energy sources.

The use of hydrogen technologies in an administrative building connected to an existing electrical network was analyzed.

The economic and environmental aspects of the use of hydrogen fuel cells to meet the demand for electrical load were investigated. Six schemes of energy supply of the building and comparing them to select the optimal solution have been developed. In the study, the assessment tool was the Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) software.

The considered schemes were evaluated in accordance with a single generalized indicator. As a result, it was determined that the use of a hydrogen fuel cell could increase the efficiency of the traditional system by 85 %. For renewable energy systems, there was an increase in efficiency of 7 % (for the wind generator) and 10 % (for the photocell).

The practical use of the results will contribute to the efficiency of the process of electricity production by equalizing the stability of energy supply in hybrid systems. The economic and environmental assessment conducted demonstrates the prospects of using a hydrogen fuel cell. This assessment is designed to strengthen consumer confidence in the use of hydrogen fuel cells and hydrogen in general.

**Keywords:** hydrogen fuel cell, hydrogen potential, green hydrogen, hydrogen economy, SWOT analysis.

#### References

1. Shraiber, O. A., Dubrovskiy, V. V., Teslenko, O. I. (2021). Current state and prospects of hydrogen energy development in the world. Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 32 (71 (5)), 199–209. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30>

2. Vodneva stratehiya Ukrainy: proekt (2021). Kyiv, 91. Available at: <https://hydrogen.ua/images/about/Vodneva-Strategia-Cover.pdf>
3. Su, Z., Ding, S., Gan, Z., Yang, X. (2016). Analysis of a photovoltaic-electrolyser direct-coupling system with a V-trough concentrator. *Energy Conversion and Management*, 108, 400–410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.10.078>
4. Ganeshan, I. S., Manikandan, V. V. S., Ram Sundhar, V., Sajiv, R., Shanthi, C., Kottayil, S. K., Ramachandran, T. (2016). Regulated hydrogen production using solar powered electrolyser. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (24), 10322–10326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.048>
5. Jayalakshmi, N. S. (2019). Study of Hybrid Photovoltaic/Fuel Cell System for Stand-Alone Applications. *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes*, 213–234. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813545-7.00009-x>
6. Touili, S., Alami Merrouni, A., El Hassouani, Y., Amrani, A., Rachidi, S. (2020). Analysis of the yield and production cost of large-scale electrolytic hydrogen from different solar technologies and under several Moroccan climate zones. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (51), 26785–26799. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.118>
7. Melzi, B., Kefif, N., El Haj Assad, M., Delnava, H., Hamid, A. (2021). Modelling and Optimal Design of Hybrid Power System Photovoltaic/Solid Oxide Fuel Cell for a Mediterranean City. *Energy Engineering*, 118 (6), 1767–1781. doi: <https://doi.org/10.32604/ee.2021.017270>
8. Assaf, J., Shabani, B. (2019). A novel hybrid renewable solar energy solution for continuous heat and power supply to standalone-alone applications with ultimate reliability and cost effectiveness. *Renewable Energy*, 138, 509–520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.099>
9. Veremiychuk, Yu. A., Opryshko, V. P., Prytyskach, I. V., Yarmoliuk, O. S. (2020). Optimizatsiya funktsionuvannya intehrovanykh system enerhozabezpechennia spozhyvachiv. Kyiv: Vydavnychiy dim «Kyiv», 186. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36475>
10. Curran-Everett, D. (2013). Explorations in statistics: the analysis of ratios and normalized data. *Advances in Physiology Education*, 37 (3), 213–219. doi: <https://doi.org/10.1152/advan.00053.2013>
11. Tashcheiev, Y. V., Voitko, S. V., Trofymenko, O. O., Riepin, O. O., Kudria, T. S. (2020). Global Trends in the Development of Hydrogen Technologies in Industry. *Business Inform*, 8 (511), 103–114. doi: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>
12. Boichenko S., Kalmykova N. (2020). Benchmarking of efficiency of accumulation and storage of hydrogen as a motor fuel. *Science-Based Technologies*, 48 (4), 496–512. doi: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.48.15093>
13. Boichenko, S., Tarasiuk, O. (2022). World Practices and Prospects of Using Hydrogen As a Motor Fuel. 2022 IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess57819.2022.9969276>
14. Boichenko, S., Shkilniuk, I., Tselishchev, O., Matviyi, I., Tarasiuk, O., Jaworski, A., Wos, P. (2022). Modern technologies of hydrogen generation and accumulation. Analytic overview of theoretical and practical experience. *POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology*, 1. doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2022.259125>
15. Tulchynska, S., Shevchuk, N., Chornii, V. (2018). Using a methodical approach to the evaluation of attractiveness investment resources for electricity distribution companies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 130–135. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/23>
16. Bondarenko, I., Dudar, I., Yavorovska, O., Ziuz, O., Boichenko, S., Kuberskyi, I. et al. (2021). Devising the technology for localizing environmental pollution during fires at spontaneous landfills and testing it in the laboratory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (114)), 40–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248252>
17. Baikalov, Y., Dzhygyrey, I., Bendiuh, V., Proskurnin, O., Berezenko, K., Boichenko, S. et al. (2022). Improvement of quarry and slagheap reclamation technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (118)), 38–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263513>
18. Loria, M., Tselishchev, O., Eliseyev, P., Porkuian, O., Hurin, O., Abramova, A., Boichenko, S. (2022). Principles and stages of creation of automatic control systems with a model of complex technological processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (120)), 20–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.270519>
19. Bendiuh, V., Markina, L., Matsai, N., Kyrpychova, I., Boichenko, S., Priadko, S. et al. (2023). Integrated method for planning waste management based on the material flow analysis and life cycle assessment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (121)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273930>
20. Boris Sresnevsky Central Geophysical Observatory. Available at: <http://cgo-sresnevskiy.kyiv.ua/en/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-dani-po-kyievu>
21. Pro vstanovlennia «zelenykh» taryfiv na elektrychnu enerhiyu, vyroblenu heneruiuchymy ustanovkamy spozhyvachiv, u tomu chysli enerhetychnykh kooperatyviv, vstanovlena potuzhnist yakykh ne perevyschuie 150 kVt. Postanova 30.12.2022 No. 1960. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1960874-22#Text>
22. Iqbal, A., Arif, M. S. B., Ayob, S. M., Siddiqui, K. (2015). Analysis of a solar PV/battery/DG set-based hybrid system for a typical telecom load: a case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 36 (3), 259–276. doi: <https://doi.org/10.1080/14786451.2015.1017497>
23. CATERPILLAR. Available at: <https://www.caterpillar.com/ru/news/media-information/press-reel.html>
24. Ballard: Fuel Cell Solutions. Available at: <https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/backup-power-systems>
25. Heneratory vodniu Proton PEM. Available at: <https://www.elkt.com.ua/products/-proton-pem>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280740

**DEVISING A CALCULATION METHOD FOR DETERMINING THE IMPACT OF DESIGN FEATURES OF SOLAR PANELS ON PERFORMANCE (p. 30–36)**

**Tetiana Hilorme**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9598-6532>

**Liliya Nakashydz**

Noosphere Engineering School, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3990-6718>

**Alexander Tonkoshkur**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-675X>

**Vadim Kolbunov**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0430-1591>

**Igor Gomilko**

Noosphere Engineering School, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-9771>

**Stanislav Mazurik**

Noosphere Engineering School, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5532-6372>

**Oleksandr Ponomarov**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1032-5074>

An actual scientific and practical task related to the sustainable development of the country's energy sector is to forecast parameters and predict the conditions of operation of solar cells and solar batteries in regular and non-regular situations. It is emphasized that this makes it possible to provide solar energy with high efficiency indicators, in particular, the indicator of profitability on invested capital in the construction of solar panels.

The main specific research method is regression analysis – to build a forecast model of the total amount of generated energy of solar panels in ground installations under variable conditions of operation.

An analysis of the distribution of the output data of the model by the number of solar battery modules was carried out using the example of terrestrial solar installations. To obtain empirical data, 31 objects in the Dnipropetrovsk and Zaporizhia oblasts, which have functioning solar batteries with different numbers of modules, were selected. This makes it possible to calculate the weighted average amount of generated energy during operation under variable conditions. 10 intervals of frequency values were separated with the largest range of values within the interval of 10,000–20,000 pieces of solar modules.

A model of the dependence of the total amount of generated energy on the number of solar battery modules and the weighted average amount of generated energy was built based on regression analysis. It was determined that the influencing factor of the model «number of solar modules» has a positive influence on the resulting factor (productivity of solar panels), while the influencing factor «weighted average amount of generated energy» has a negative influence. However, the «number of solar modules» influence factor is more significant. The obtained results give grounds for asserting the possibility of their implementation in the energy sector.

**Keywords:** solar battery, photovoltaic cell, generated energy, hot spot, reliability.

## References

- Abdmouleh, Z., Gastli, A., Ben-Brahim, L., Haouari, M., Al-Emadi, N. A. (2017). Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources. *Renewable Energy*, 113, 266–280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.087>
- Chang, R.-D., Zuo, J., Zhao, Z.-Y., Zillante, G., Gan, X.-L., Soebarto, V. (2017). Evolving theories of sustainability and firms: History, future directions and implications for renewable energy research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 48–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.029>
- Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., Gao, G. (2019). Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, 63, 101470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
- Ibidunni, A. S., Ogunnaike, O. O., Abiodun, A. J. (2017). Extending the knowledge strategy concept: linking organizational knowledge with strategic orientations. *Academy of Strategic Management Journal*, 16 (3). Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/162043788.pdf>
- Che, L., Zhang, X., Shahidehpour, M., Alabdulwahab, A., Abusorrah, A. (2017). Optimal Interconnection Planning of Community Microgrids With Renewable Energy Sources. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8 (3), 1054–1063. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2015.2456834>
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596–609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191>
- Chen, H. H., Lee, A. H. I., Kang, H.-Y. (2017). The fuzzy conceptual model for selecting energy sources. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 12 (4), 297–304. doi: <https://doi.org/10.1080/15567249.2011.652339>
- Karabegović, I., Doleček, V. (2015). Development and implementation of renewable energy sources in the world and European Union. *Contemporary Materials*, 6 (2), 130–148. doi: <https://doi.org/10.7251/comen1502130k>
- Ghimire, L. P., Kim, Y. (2018). An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable Energy*, 129, 446–456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.011>
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Childe, S. J., Shihbin, K. T., Wamba, S. F. (2017). Sustainable supply chain management: framework and further research directions. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1119–1130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.117>
- Dreidy, M., Mokhlis, H., Mekhilef, S. (2017). Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 144–155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.170>
- Nakashydz, L., Hilorme, T., Nakashydz, I. (2020). Substantiating the criteria of choosing project solutions for climate control systems based on renewable energy sources. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (105)), 42–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201527>
- Nakashydz, L., Gabrinets, V., Mitikov, Y., Alekseyenko, S., Liashenko, I. (2021). Determination of features of formation of energy supply systems with the use of renewable energy sources in the transition period. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (113)), 23–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112>
- Zhou, Y., Cao, S., Hensen, J. L. M., Hasan, A. (2020). Heuristic battery-protective strategy for energy management of an interactive renewables–buildings–vehicles energy sharing network with high energy flexibility. *Energy Conversion and Management*, 214, 112891. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112891>
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., Khan, N. (2020). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Storage*, 3 (1). doi: <https://doi.org/10.1002/est2.135>
- Anvari, A. (2019). Application of plasma technology in aerospace vehicles: A review. *Journal of Engineering and Technology Research*, 11 (2), 12–28. doi: <https://doi.org/10.5897/jetr2018.0654>
- Hilorme, T., Perevozova, I., Sakun, A., Reznik, O., Khaustova, Ye. (2020). Accounting model of human capital assessment within the information space of the enterprise. *Academy of Accounting and Financial Studies Journal*, 24 (3). Available at: <https://www.ab-academies.org/articles/Accounting-Model-of-Human-Capital-Assessment-Within-the-Information-1528-2635-24-3-540.pdf>
- Hilorme, T., Nakashydz, L., Mazurik, S., Gabrinets, V., Kolbunov, V., Gomilko, I. (2022). Substantiation for the selection of parameters

for ensuring electrothermal protection of solar batteries in spacecraft power systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (117)), 17–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258480>

19. Tonkoshkur, A., Ivanchenko, A., Nakashyde, L., Lyashkov, A., Gomilko, I. (2021). Application of polymer posistor nanocomposites in systems for protecting photovoltaic components of solar arrays from electrical overloads. Boston. doi: <https://doi.org/10.46299/978-1-63972-054-5>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282206

**CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL AND APPROXIMATE ANALYTICAL SOLUTION TO THE PROBLEM OF ENERGY EXCHANGE IN THE «SUN – PARABOLOID CONCENTRATOR – HEAT RECEIVER» SYSTEM (p. 37–45)**

**Stanislav Masalykin**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2590-6760>

**Lyudmila Knysh**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-4804>

The object of research is the processes of radiation transfer in the «Sun – paraboloid concentrator – heat receiver» system. There are many factors that affect the value of the density of the concentrated heat flux that reaches the surface of the heat sink. The study of the influence of these factors on the overall energy indicators of the system is an important scientific problem that was solved in this work. To solve this problem, a generalized mathematical model of the radiation transfer process in the «Sun – concentrator – heat receiver» system was built, which was adapted for a paraboloid concentrator. The constructed mathematical model was solved by an approximate analytical method, which took into account the integral and discrete parameters of the system, as well as the probability distribution of aberrations of the concentrator surface, its defocusing, and other random influences. The dimensionless density of the heat flux on the surface of the heat sink for a mathematically ideal and real paraboloid concentrator of a fixed geometry was determined. Using the found analytical solution, the results obtained on the basis of the Monte Carlo method were verified. Analytical and numerical results for a mathematically ideal and a real concentrator with minor aberrations and a clear orientation to the Sun agree within the permissible error. For a real concentrator with defocusing, a deviation of numerical data from analytical data was observed. The presence of deviations is associated with a simplification in the interpretation of the analytical probability distribution, in which it is impossible to take into account each influence separately. The obtained analytical results will be useful in the development of real power plants and can be used practically at the stage of checking the adequacy of the system model.

**Keywords:** paraboloid concentrator, mathematical model, analytical solution, error function, verification of results.

**References**

- Masalykin, S. S., Knysh, L. I. (2021). Monte Carlo algorithm for calculation of radiation transfer in the «sun – parabolic concentrator – heat receiver» system. *Problems of Computational Mechanics and Strength of Structures*, 33, 114–125. doi: <https://doi.org/10.15421/4221010>
- Masalykin, S., Knysh, L. (2022). Modeling of the energy losses through tracking error for the solar parabolic dish concentrator. *Vidnovluvana Energetika*, 2 (69), 26–31. doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2\(69\).26-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.2(69).26-31)
- Allouhi, H., Allouhi, A., Buker, M. S., Zafar, S., Jamil, A. (2022). Recent advances, challenges, and prospects in solar dish collectors: Designs, applications, and optimization frameworks. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 241, 111743. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111743>
- Kumar, K. H., Daabo, A. M., Karmakar, M. K., Hirani, H. (2022). Solar parabolic dish collector for concentrated solar thermal systems: a review and recommendations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (22), 32335–32367. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18586-4>
- Yang, S., Wang, J., Lund, P. D., Jiang, C., Liu, D. (2018). Assessing the impact of optical errors in a novel 2-stage dish concentrator using Monte-Carlo ray-tracing simulation. *Renewable Energy*, 123, 603–615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.034>
- Jian, Y., Peng, Y. D., Liu, Y. X. (2022). An optical-mechanical integrated modeling method of solar dish concentrator system for optical performance analysis under service load. *Energy*, 261, 125283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125283>
- Malik, M. Z., Shaikh, P. H., Zhang, S., Lashari, A. A., Leghari, Z. H., Baloch, M. H. et al. (2022). A review on design parameters and specifications of parabolic solar dish Stirling systems and their applications. *Energy Reports*, 8, 4128–4154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyvr.2022.03.031>
- Abbas, S., Yuan, Y., Hassan, A., Zhou, J., Ahmed, A., Yang, L., Bisengimana, E. (2023). Effect of the concentration ratio on the thermal performance of a conical cavity tube receiver for a solar parabolic dish concentrator system. *Applied Thermal Engineering*, 227, 120403. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120403>
- Shuai, Y., Xia, X., Tan, H. (2010). Numerical simulation and experiment research of radiation performance in a dish solar collector system. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 4 (4), 488–495. doi: <https://doi.org/10.1007/s11708-010-0007-z>
- Yan, J., Cheng, Z., Peng, Y. (2018). Effect of Tracking Error of Double-Axis Tracking Device on the Optical Performance of Solar Dish Concentrator. *International Journal of Photoenergy*, 2018, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/9046127>
- Jeter, S. M. (1986). The Distribution of Concentrated Solar Radiation in Paraboloidal Collectors. *Journal of Solar Energy Engineering*, 108 (3), 219–225. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3268096>
- Shuai, Y., Xia, X.-L., Tan, H.-P. (2008). Radiation performance of dish solar concentrator/cavity receiver systems. *Solar Energy*, 82 (1), 13–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.06.005>
- Johnston, G. (1998). Focal region measurements of the 20 m<sup>2</sup> tiled dish at the Australian National University. *Solar Energy*, 63 (2), 117–124. doi: [https://doi.org/10.1016/s0038-092x\(98\)00041-3](https://doi.org/10.1016/s0038-092x(98)00041-3)
- Peatross, J., Ware, M. (2021). *Physics of Light and Optics*. Provo, 340.
- Stoudenets, V., Slavinska, K. (2019). Numerical calculation of parabolic and parabolic through concentrator parameters for the solar power system based on Stirling engine. *Vidnovluvana Energetika*, 1 (56), 36–44. doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.1\(56\).36-44](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.1(56).36-44)
- Vittal, P. R. (2013). *Analytical Geometry: 2D and 3D*. Pearson India, 748.
- Grilikhes, V. A., Matveev, V. M., Poluektov, V. P. (1975). *Solnechnye vysokotemperaturnye istochniki tepla dlya kosmicheskikh apparatov*. Moscow: Mashinostroenie, 248.
- Klenke, A. (2014). *Probability Theory: A Comprehensive Course*. Springer, 638. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5361-0>

19. Cinlar, E. (2011). *Probability and Stochastics*. Springer Science & Business Media, 558.
20. Knysh, L. (2021). Comprehensive mathematical model and efficient numerical analysis of the design parameters of the parabolic trough receiver. *International Journal of Thermal Sciences*, 162, 106777. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106777>
21. Knysh, L. (2022). Thermo-fluid modeling and thermodynamic analysis of low-temperature parabolic trough systems with multi-walled carbon nanotubes/water nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 181, 107770. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107770>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281228

## IMPROVING THE OSCILLATING WIND TURBINE MODEL (p. 46–53)

**Oleksandr Shtanko**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3572-7915>

**Maryna Litvinova**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-2132>

**Iryna Zorina**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6909-651X>

**Svitlana Karpova**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7208-3595>

**Roman Avdiunin**

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0798-8077>

Disadvantages in the structure of the most common rotary wind generators limit their use. This motivates the development of alternative types of wind turbines, the most promising of which are oscillating wind generators.

The object of the study is the structure of an oscillating type wind generator, which provides self-oscillating movement of the blade-wing. The design of the wind generator uses a modified wing shape to provide maximum lift. For this purpose, added elements are the tip and flap, which affect the shape of the wing, its angle of attack, and regulate the direction of the lifting force. The principle of attaching the tip and flap to the wing using spiral springs has been developed. The structure also includes locking magnets that affect the movement of the wing during a turn. The mechanism that drives the self-oscillating mode of operation of the wind turbine was described. This mode occurs under the action of the inertial force of the movement of the wing, the force of elasticity, the repulsive force of the magnets, and the pressure force of the air flow.

A computer simulation of the wind generator was carried out using the Ansys CFX software package. The model of the flow around an absolutely rigid body at small values of the Reynolds number was applied. The resulting dynamics of the horizontal movement of the wing of the wind turbine make it possible to use it for energy generation already at a wind speed of 2 m/s. The low cost of the wing and the automatic regulation of its movement make it possible to install many wings to increase the power of the wind generator. Thus, the

improved wind turbine is low-cost, harmless to birds, has self-regulation of wing movement and can use the low-speed component of the wind, which significantly expands the geography of its operation. It is possible to transfer the proposed technological solutions for the construction of hydroelectric generators.

**Keywords:** oscillating wind generator, self-oscillating mode, blade-wing, angle of attack, low-speed wind component.

## References

1. Roga, S., Bardhan, S., Kumar, Y., Dubey, S. K. (2022). Recent technology and challenges of wind energy generation: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102239>
2. Rehman, S., Alhems, L. M., Alam, Md. M., Wang, L., Toor, Z. (2023). A review of energy extraction from wind and ocean: Technologies, merits, efficiencies, and cost. *Ocean Engineering*, 267, 113192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113192>
3. Hosseini, R., Roohi, R., Ahmadi, G. (2019). Parametric study of a novel oscillatory wind turbine. *Energy Equipment and Systems*, 7 (4), 377–387. doi: <https://doi.org/10.22059/EES.2019.37713>
4. Garzozzi, A., Dunaevich, L., Greenblatt, D. (2020). High-Torque Oscillating Wind Energy Generator. *Journal of Physics: Conference Series*, 1618 (4), 042004. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1618/4/042004>
5. Dehghani, M. (2021). Conceptual Design and Initial Analysis of an Oscillating Wind Turbine. 7th Iran Wind Energy Conference (IWEC2021). doi: <https://doi.org/10.1109/iwec52400.2021.9466989>
6. Hosseini, R. (2019). Deriving Approximate Criteria for Design and Analysis of a Novel Oscillatory Wind Turbine Using Linearization. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 45 (4), 1115–1122. doi: <https://doi.org/10.1007/s40997-019-00339-3>
7. Jiang, W., Wang, Y. L., Zhang, D., Xie, Y. H. (2019). Numerical investigation into power extraction by a fully passive oscillating foil with double generators. *Renewable Energy*, 133, 32–43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.094>
8. Sun, X., Zhang, L., Huang, D., Zheng, Z. (2017). New insights into aerodynamic characteristics of oscillating wings and performance as wind power generator. *International Journal of Energy Research*, 42 (2), 776–789. doi: <https://doi.org/10.1002/er.3865>
9. Fenercioglu, I., Zaloglu, B., Ashraf, M., Young, J., Lai, J., Platzer, M. F. (2015). Flow around an Oscillating Tandem-Wing Power Generator. 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2015-1751>
10. Liu, T., Ramasamy, R. V., Radermacher, R., Liou, W., Salazar, D. M. (2018). Oscillating-wing unit for power generation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 233 (4), 510–529. doi: <https://doi.org/10.1177/0957650918790116>
11. Anderson, J. D. (2016). *Fundamentals of Aerodynamics*. New York: McGraw-Hill Education, 1154. Available at: <https://aviationdose.com/wp-content/uploads/2020/01/Fundamentals-of-aerodynamics-6-Edition.pdf>
12. Wang, S., Zhang, X., He, G., Liu, T. (2015). Evaluation of Lift Formulas Applied to Low-Reynolds-Number Unsteady Flows. *AIAA Journal*, 53 (1), 161–175. <https://doi.org/10.2514/1.j053042>
13. Ansys CFX. Available at: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>
14. Schomburg, W. K., Reinertz, O., Sackmann, J., Schmitz, K. (2020). Equations for the approximate calculation of forces between cuboid

magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 506, 166694. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166694>

15. Politykin, B. M., Shtanko, O. D., Litvinova, M. B., Karpova, S. O. (2017). Energy recovery device for the internal combustion engine. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 82–89. Available at: <http://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1435-2017-eng/contents-3-2017/power-supply-technologies/4005-energy-recovery-device-for-the-internal-combustion-engine>
16. Houghton, E. L., Valentine, D. T. (2017). *Aerodynamics for Engineering Students*. Butterworth-Heinemann. Available at: [https://www.academia.edu/28792229/Aerodynamics\\_for\\_Engineering\\_Students](https://www.academia.edu/28792229/Aerodynamics_for_Engineering_Students)
17. DualWingGenerator. Festo. Power generation with the wingbeating principle. Available at: [https://www.festo.com/PDF\\_Flip/corp/Festo\\_DualWingGenerator/en/files/assets/common/downloads/Festo\\_DualWingGenerator\\_en.pdf](https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_DualWingGenerator/en/files/assets/common/downloads/Festo_DualWingGenerator_en.pdf)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282375**

**DESIGN OF A MULTILINK SYSTEM FOR CALCULATING HIGH-FREQUENCY PROCESSES IN ELECTRIC MACHINES WITH MESH WINDINGS (p. 54–63)**

**Vadim Chumack**

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

**Mykhailo Kovalenko**

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

**Oksana Tymoshchuk**

Institute of Applied System Analysis, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1863-3095>

**Andrii Stulishenko**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9982-9246>

**Yevhen Ihnatiuk**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4675-8728>

This study considers the design of a multi-link high-frequency circuit for calculating defective and defect-free insulation of mesh windings in order to increase the operational reliability of general-purpose electric machines.

The object of research is mesh windings of electric machines.

The problem to be solved: increasing the operational reliability of electric machines with general-purpose mesh windings by analyzing and modeling defects.

The research results make it possible to model defects for the analysis of the state of insulation of electric machines with mesh windings. Special attention in the research was paid to induction motors with a worn-out resource, in particular, 4A80A4 UZ engine. The analysis includes phase-to-body capacitance, winding inductance, eddy current impedance, and winding impedance.

Under the WN mode, a decrease in the impedance of the winding section from 3 % to the short-circuit mode was simulated; accordingly, the resonance frequencies for each case of 3 % were determined –

73990 Hz, short-circuit – 74450 Hz, as well as the corresponding input impedances 8938.7 and 8082.5. The corresponding voltage resonances and current resonances were also determined. Appropriate results were also given for the WG scheme.

The results reported here relate to the design of the scheme and the research on the defects of the mesh winding. This contributes to the analysis of the state of insulation of mesh windings. The numerical data (resonant frequencies and input impedances) allow a better understanding of the behavior of windings in different states and degrees of defects.

Given the research findings, it is possible to better identify and analyze potential defects in mesh windings, which in turn contributes to increasing the reliability of electric machines.

The results of this study could be used in the field of diagnosis, service, and maintenance of electric machines with mesh windings.

**Keywords:** mesh windings, induction motors, defective insulation, frequency characteristics, high-frequency circuit.

**References**

1. Hu, R., Wang, J., Mills, A. R., Chong, E., Sun, Z. (2021). Current-Residual-Based Stator Interturn Fault Detection in Permanent Magnet Machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68 (1), 59–69. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2020.2965500>
2. Hu, R., Wang, J., Mills, A. R., Chong, E., Sun, Z. (2021). High-Frequency Voltage Injection Based Stator Interturn Fault Detection in Permanent Magnet Machines. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36 (1), 785–794. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2020.3005757>
3. Zorig, A., Hedayati Kia, S., Chouder, A., Rabhi, A. (2022). A comparative study for stator winding inter-turn short-circuit fault detection based on harmonic analysis of induction machine signatures. *Mathematics and Computers in Simulation*, 196, 273–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2022.01.019>
4. Naderi, P., Shiri, A. (2017). Rotor/Stator Inter-Turn Short Circuit Fault Detection for Saturable Wound-Rotor Induction Machine by Modified Magnetic Equivalent Circuit Approach. *IEEE Transactions on Magnetics*, 53 (7), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2017.2672924>
5. Babaa, F., Bennis, O. (2021). An accurate inter-turn short circuit faults model dedicated to induction motors. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 11 (1), 9. doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v11i1.pp9-16>
6. Yang, G., Li, S., Hussain, H., Zhang, J., Yang, J. (2023). A Novel SVPWM Fault-Tolerant Strategy for Torque Ripple Reduction of Seven-Phase Induction Machines Under Single-Phase Open-Circuit Fault. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 38 (4), 5217–5229. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2022.3232122>
7. Xu, Z., Hu, C., Yang, F., Kuo, S.-H., Goh, C.-K., Gupta, A., Nadarajan, S. (2017). Data-Driven Inter-Turn Short Circuit Fault Detection in Induction Machines. *IEEE Access*, 5, 25055–25068. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2017.2764474>
8. Akhil Vinayak, B., Anjali Anand, K., Jagadanand, G. (2019). Wavelet-based real-time stator fault detection of inverter-fed induction motor. *IET Electric Power Applications*, 14 (1), 82–90. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2019.0273>
9. Alalibo, B. P., Ji, B., Cao, W. (2022). Short Circuit and Broken Rotor Faults Severity Discrimination in Induction Machines Using Non-invasive Optical Fiber Technology. *Energies*, 15 (2), 577. doi: <https://doi.org/10.3390/en15020577>
10. Cao, W., Alalibo, B. P., Ji, B., Chen, X., Hu, C. (2022). Optical FBG-T Based Fault Detection Technique for EV Induction Ma-

- chines. *Journal of Physics: Conference Series*, 2195 (1), 012045. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2195/1/012045>
11. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267265>
  12. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Kovalenko, M., Kovalenko, I. (2022). Development of the control system for taking off the maximum power of an autonomous wind plant with a synchronous magnetoelectric generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (118)), 67–78. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263432>
  13. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Tymoshchuk, O., Kovalenko, M., Ihnatiuk, Y. (2022). Designing a voltage control system of the magnetoelectric generator with magnetic flux shunting for electric power systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (119)), 16–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265861>



## АНОТАЦІЇ

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280053

**УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ГІБРИДНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З АКУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ПОТРЕБ ЛОКАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ З ЗАВДАННЯМ ПОТУЖНОСТІ, ЩО СПОЖИВАЄТЬСЯ З МЕРЕЖІ (с. 6–16)**

О. О. Шавьолкін, І. О. Шведчикова, В. В. Лішук, Є. Ю. Становський

Об'єктом дослідження є енергетичні процеси в гібридній фотоелектричній системі з акумулятором для потреб локального об'єкту з завданням потужності, що споживається з мережі. Вирішувалось питання розробки математичної моделі енергетичних процесів з функцією визначення параметрів управління за можливістю змінювання сценаріїв управління. Удосконалено математичну модель акумуляторної батареї з урахуванням режимів заряду та струмів розряду за точністю відтворення характеристик виробника не гірше 3 %. Запропоновано структуру моделі з відокремленням модуля, що визначає параметри управління, та графік завдання потужності для обраних сценаріїв. До опису моделі введено змінну, що визначає задане значення потужності та забезпечує формування графіку  $SoC(t)$ . Враховано додатковий режим для підвищення використання енергії фотоелектричної батареї і обмеження за вимірюваним значенням потужності навантаження. Запропоновано моделювання зі зміною масштабу часу: спочатку здійснюється визначення параметрів управління, потім реалізується моделювання в добовому циклі. Це виключає потребу попередніх розрахунків перед моделюванням і забезпечує можливість перевірки визначення параметрів системи з наступним коригуванням. Розроблена техніка визначення параметрів управління з завданням потужності та налаштування моделі за різних сценаріїв управління. За використання архівних даних генерації для локації об'єкту це дозволяє на стадії проектування підібрати варіант реалізації системи електроживлення з потрібними показниками. Для конкретного використання показано, що зниження потужності фотоелектричної батареї всього на 9 % збільшує витрати на електроенергію в 1.72–1.39 разів. Завищення потужності на 16.7 % погіршує використання на 13.7 % за зменшення витрат на 1.4–2.5 %.

**Ключові слова:** модульна структура, графік  $SoC(t)$ , завдання потужності, сценарії управління, добовий цикл моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280046

**ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ ПАЛИВНИХ КОМІРОК ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ (с. 17–29)**

С. В. Бойченко, О. В. Данілін, І. О. Шкільнюк, Anna Yakovlieva, А. А. Хотян, М. В. Павловський, Р. С. Лисак, С. Й. Шаманський, А. І. Крючков, О. В. Тарасюк

Об'єктом дослідження є процес використання водневої паливної комірки для генерування та акумуляції електроенергії. Дослідження висвітлює питання доцільності використання водневої паливної комірки для забезпечення електричного навантаження.

Оцінено потенціал використання водню як альтернативного джерела енергії. В якості методу дослідження застосовано SWOT-аналіз, за результатами якого було розроблено рекомендації. Запропоновані заходи можуть бути прийняті з метою підвищення ступеня використання водневої енергії як альтернативи традиційним джерелам енергії.

Проаналізовано використання водневих технологій у адміністративній будівлі, підключеної до існуючої електричної мережі.

Досліджено економіко-екологічні аспекти застосування водневих паливних комірок для задоволення попиту на електричне навантаження. Розроблено шість схем енергозабезпечення будівлі та порівняно їх для вибору оптимального рішення. У дослідженні інструментом оцінки стало програмне забезпечення Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER).

Розглянуті схеми оцінено у відповідності до єдиного узагальненого показника. У результаті було визначено, що використання водневої паливної комірки дає змогу підвищити ефективність традиційної системи на 85 %. Для систем відновлювальної енергії відзначено підвищення ефективності на 7 % (для вітрового генератора) та на 10 % (для фотоелемента).

Практичне використання результатів сприятиме ефективності процесу виробництва електроенергії за рахунок вирівнювання стабільності енергозабезпечення у гібридних системах. Проведена економіко-екологічна оцінка демонструє перспективність використання водневої паливної комірки. Проведення зазначеної оцінки покликано зміцнити довіру споживачів до використання водневих паливних комірок та водню загалом.

**Ключові слова:** воднева паливна комірка, потенціал водню, зелений водень, воднева економіка, SWOT-аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.280740

**ФОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ (с. 30–36)**

Т. В. Гільорме, Л. В. Накашидзе, О. С. Тонкошкур, В. Р. Колбунов, І. В. Гомілко, С. В. Мазурик, О. М. Пономарьов

Актуальною науково-практичною проблемою сталого розвитку енергетики країни є прогнозування параметрів та передбачення умов функціонування сонячних елементів та сонячних батарей в штатних та позаштатних ситуаціях. Акцентовано, що це дозволяє забезпечити сонячної енергетики високі показники ефективності, зокрема показник прибутковості на інвестований капітал у побудову сонячних батарей.

Основним специфічним методом дослідження є регресійний аналіз – для побудови моделі прогнозу загальної кількості генерованої енергії сонячних батарей у наземних установках за умови експлуатації в змінних умовах.

Здійснено аналіз розподілу вихідних даних моделі за кількістю модулів сонячних батарей на прикладі наземних сонячних установок. Для отримання емпіричних даних обрано 31 об'єкт у Дніпропетровській та Запорізькій областях, що мають функціонуючі сонячні батареї з різною кількістю модулів. Це надає можливість розрахувати середньозважену кількість генерованої енергії при

експлуатації в змінних умовах. Відокремлено 10 інтервалів значень частот, при цьому найбільший діапазон значень знаходиться у інтервалі 10000–20000 штук модулів сонячних батарей.

Побудовано модель залежності загальної кількості генерованої енергії від кількості модулів сонячних батарей та середньозваженої кількості генерованої енергії на основі регресійного аналізу. Визначено, що фактор впливу моделі «кількість модулів сонячних батарей» має позитивний вплив на результативний фактор (продуктивність сонячних батарей), тоді як фактор впливу «середньозважена кількість генерованої енергії» має негативний вплив. Однак більш значущим є фактор впливу «кількість модулів сонячних батарей». Отримані результати дають підстави стверджувати щодо можливості втілення їх у енергетичний сектор.

**Ключові слова:** сонячна батарея, фотоелектричний елемент, генерована енергія, гаряча пляма, надійність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282206

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА НАБЛИЖЕНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ЕНЕРГООБМІНУ В СИСТЕМІ «СОНЦЕ – ПАРАБОЛОЇДНИЙ КОНЦЕНТРАТОР – ТЕПЛОПРИЙМАЧ» (с. 37–45)

С. С. Масаликін, Л. І. Книш

Об'єктом дослідження є процеси переносу випромінювання в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач». Існує багато факторів, що впливають на значення щільності концентрованого теплового потоку, який надходить на поверхню теплоприймача. Дослідження впливу цих факторів на загальні енергетичні показники системи є важливою науковою проблемою, що вирішувалась в даній роботі. Для вирішення цієї проблеми було розроблено узагальнену математичну модель процесу переносу випромінювання в системі «Сонце – концентратор – теплоприймач», яку адаптовано для параболоїдного концентратора. Створена математична модель розв'язувалась наближеним аналітичним методом, в якому враховувались інтегральні та дискретні параметри системи, а також ймовірнісний розподіл аберацій поверхні концентратора, його розфокусування та інші випадкові впливи. Визначено безрозмірну щільність теплового потоку на поверхні теплоприймача для математично ідеального та реального параболоїдного концентратора фіксованої геометрії. За допомогою знайденого аналітичного розв'язку проведено верифікацію результатів, отриманих на основі методу Монте-Карло. Аналітичні та числові результати для математично ідеального та реального концентратора з незначними абераціями й чіткою орієнтацією на Сонце співпадають в межах допустимої похибки. Для реального концентратора із розфокусуванням спостерігається відхилення числових даних від аналітичних. Наявність відхилень пов'язана зі спрощенням в трактовці аналітичного ймовірнісного розподілу, в якому неможливо врахувати кожний вплив окремо. Отримані аналітичні результати будуть корисними при розробці реальних енергетичних установок і можуть бути використані практично на етапі перевірки адекватності моделі системи.

**Ключові слова:** параболоїдний концентратор, математична модель, аналітичний розв'язок, функція помилок, верифікація результатів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281228

### УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВІТРОГЕНЕРАТОРА КОЛИВАЛЬНОГО ТИПУ (с. 46–53)

О. Д. Штанько, М. Б. Літвінова, І. А. Зоріна, С. О. Карпова, Р. Ю. Авдунін

Недоліки у конструкції найбільш поширених роторних вітрогенераторів обмежують їх використання. Це мотивує розробку альтернативних типів вітроустановок, найбільш перспективними з яких є вітрогенератори коливального типу.

Об'єктом дослідження є конструкція вітрогенератора коливального типу, що забезпечує автоколивальний рух лопоті-крила. В конструкції вітрогенератора використовується перетворена форма крила для забезпечення максимальної підйомної сили. З цією метою додані елементи – носок і закрилок, які впливають на форму крила, його кут атаки і регулюють напрямок підйомної сили. Розроблений принцип кріплення носка і закрилка до крила за допомогою спіральних пружин. В конструкцію також включені стопорні магніти, що впливають на рух крила під час розвороту. Описано механізм, що створює автоколивальний режим роботи вітроустановки. Цей режим виникає під дією сили інерції руху крила, сили пружності, сили відштовхування магнітів та сили тиску повітряного потоку.

Здійснено комп'ютерне моделювання роботи вітрогенератора, яке відбувалося з використанням програмного комплексу ANSYS CFX. Застосовано модель обтікання абсолютно жорсткого тіла при невеликих значеннях числа Рейнольдса. Одержана динаміка горизонтального руху крила вітроустановки надає можливість використовувати її для генерації енергії вже при швидкості вітру 2 м/с. Мала вартість крила і авторегулювання його руху дозволяють встановлювати багато крил для підвищення потужності вітрогенератора. Таким чином, удосконалена вітроустановка є низьковартісною, нешкідливою для птахів, має авторегуляцію руху крила і може використовувати низькошвидкісну компоненту вітру, що значно розширює географію її роботи. Можливий трансфер запропонованих технологічних рішень для створення гідроелектрогенераторів.

**Ключові слова:** коливальний вітрогенератор, автоколивальний режим, лопать-крило, кут атаки, низькошвидкісна компонента вітру.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282375

### РОЗРОБКА БАГАТОЛАНКОВОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКІВ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПРОЦЕСІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНАХ ЗІ ВСИПНИМИ ОБМОТКАМИ (с. 54–63)

В. В. Чумак., М. А. Коваленко, О. Л. Тимошук, А. С. Стулішенко, Є. С. Ігнатюк

Дослідження присвячено розробці багатоланкової височастотної схеми для розрахунків дефектної та бездефектної ізоляції всипних обмоток з метою підвищення експлуатаційної надійності електричних машин загального призначення.

Об'єктом дослідження є всипні обмотки електричних машин.

Проблема, що вирішувалася: підвищення експлуатаційної надійності електричних машин із всипними обмотками загального призначення, шляхом аналізу і моделювання дефектів.

Результати досліджень дозволяють моделювати дефекти для аналізу стану ізоляції електричних машин із всипними обмотками. Особлива увага в дослідженні приділена асинхронним двигунам з випрацьованим ресурсом, зокрема, двигуну 4A80A4 УЗ. Аналіз включає ємність між фазою і корпусом, індуктивність обмотки, опір, створений вихровими струмами, та опір обмотки.

В режимі WN змодельовано зменшення опору секції обмотки від 3 % до режиму КЗ, відповідно визначено резонансні частоти для кожного випадку 3 % – 73990 Гц, КЗ – 74450 Гц, а також відповідні вхідні опори 8938.7 і 8082.5. А також визначені відповідні резонанси напруг та резонанси струмів. Відповідні результати надані і для схеми WG.

Отримані в роботі результати полягають в розробці схеми і проведенні досліджень дефектів всипної обмотки. Це сприяє аналізу стану ізоляції всипних обмоток. Отримані числові дані (резонансні частоти і вхідні опори) дають змогу краще розуміти поведінку обмоток при різних станах і ступенях дефектів.

Завдяки проведеним дослідженням можна краще ідентифікувати і аналізувати потенційні дефекти у всипних обмотках, що в свою чергу сприяє підвищенню надійності електричних машин.

Результати цього дослідження можна використовувати в області діагностування, сервісного і технічного обслуговування електричних машин зі всипними обмотками.

**Ключові слова:** всипні обмотки, асинхронні двигуни, дефектна ізоляція, частотні характеристики, високочастотна схема.