

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318785

CREATION OF A DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF THERMAL AND ELECTRIC ENERGY (p. 6–15)**Nassim Rustamov**Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>**Kamalbek Berkimbayev**Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5191-8140>**Zagipa Abdikulova**Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5106-0687>**Oxana Meirbekova**Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>**Zhanibek Issabekov**Abay Myrzakhmetov Kokshetau University,
Kokshetau, Republic of Kazakhstan
E-mail: zissabekov253@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2900-8025>**Shokhrukh Babakhan**Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7723-0045>**Perizat Rakhmetova**Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5645-5157>

The object of the study is the distributed generation (DG) system for remote areas where extending power lines is challenging or impossible. The study demonstrates how integrating electrical and thermal energy modules based on renewable energy sources (RES) into a common DG bus can ensure continuous energy supply. This approach provides both heat and electricity to consumers, independent of weather conditions an advantage over traditional systems reliant on variable sources like wind and solar energy. Numerical assessments suggest that the proposed system can improve local renewable resource utilization by approximately 20–30 % compared to single-source renewable setups. This enhanced efficiency results in a more stable power output, with fewer interruptions caused by low wind speeds or reduced solar irradiance. Economically, reducing dependence on diesel generators by about 15–25 % can translate into substantial fuel cost savings. In addition, shifting energy production away from non-renewable sources may cut greenhouse gas emissions by an estimated 10–20 %, contributing to environmental protection targets. In this research received lies in its solution for off-grid energy delivery in rural areas, which generally rely on expensive and frequently unreliable centralized energy infrastructure. By leveraging renewable energy sources and implementing a cogenerative DG system, the study significantly reduces reliance on traditional energy grids and enhances energy independence for remote facilities. The research highlights the practical value of the proposed solution, particularly for rural areas far from power

lines and with limited access to traditional electricity systems. The suggested system not only provides continuous energy, but it also coincides with worldwide trends toward sustainable and decentralized energy solutions.

Keywords: cogeneration distributed generation, renewable energy sources, off-grid energy, biogas, electrical and thermal energy.

References

1. Fu, X., Wei, Z., Sun, H., Zhang, Y. (2024). Agri-Energy-Environment Synergy-Based Distributed Energy Planning in Rural Areas. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 15 (4), 3722–3738. <https://doi.org/10.1109/tsg.2024.3364182>
2. Rustamov, N., Babakhan, S., Genc, N., Kibishov, A., Meirbekova, O. (2023). An Improved Hybrid Wind Power Plant for Small Power Generation. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13 (2). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i2.14193.g8735>
3. Rustamov, N., Meirbekova, O., Kibishov, A., Babakhan, S., Berguzinov, A. (2022). Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 29–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255451>
4. Zhou, Y., Wang, J., Xu, H., Yang, M., Liu, W. (2024). Improving full-chain process synergy of multi-energy complementary distributed energy system in cascade storage and initiative management strategies. *Energy Conversion and Management*, 322, 119120. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119120>
5. Tahir, M. F., Haoyong, C., Mehmood, K., Ali, N., Bhutto, J. A. (2019). Integrated Energy System Modeling of China for 2020 by Incorporating Demand Response, Heat Pump and Thermal Storage. *IEEE Access*, 7, 40095–40108. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2905684>
6. Li, C., Yang, H., Shahidehpour, M., Xu, Z., Zhou, B., Cao, Y., Zeng, L. (2020). Optimal Planning of Islanded Integrated Energy System With Solar-Biogas Energy Supply. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 11 (4), 2437–2448. <https://doi.org/10.1109/tste.2019.2958562>
7. Giordano, A., Mastroianni, C., Menniti, D., Pinnarelli, A., Scarcello, L., Sorrentino, N. (2021). A Two-Stage Approach for Efficient Power Sharing Within Energy Districts. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51 (3), 1679–1689. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2019.2902077>
8. Nadeem, F., Hussain, S. M. S., Tiwari, P. K., Goswami, A. K., Ustun, T. S. (2019). Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impacts on Future Power Systems. *IEEE Access*, 7, 4555–4585. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2888497>
9. Zhang, Y., Yuan, F., Zhai, H., Song, C., Poursoleiman, R. (2023). RETRACTED: Optimizing the planning of distributed generation resources and storages in the virtual power plant, considering load uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 387, 135868. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135868>
10. Niknam, T., Kavousi-Fard, A., Ostadi, A. (2015). Impact of Hydrogen Production and Thermal Energy Recovery of PEMFCPPs on Optimal Management of Renewable Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11 (5), 1190–1197. <https://doi.org/10.1109/tii.2015.2475715>
11. Ariwoola, R., Kamalasan, S. (2023). An Integrated Hybrid Thermal Dynamics Model and Energy Aware Optimization Framework for Grid-Interactive Residential Building Management. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59 (2), 2519–2531. <https://doi.org/10.1109/tia.2022.3224689>

12. Tian, Z., Li, X., Niu, J., Zhou, R., Li, F. (2024). Enhancing operation flexibility of distributed energy systems: A flexible multi-objective optimization planning method considering long-term and temporary objectives. *Energy*, 288, 129612. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129612>
13. Xie, H., Ahmad, T., Zhang, D., Goh, H. H., Wu, T. (2024). Community-based virtual power plants' technology and circular economy models in the energy sector: A Techno-economy study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 192, 114189. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114189>
14. Evro, S., Oni, B. A., Tomomewo, O. S. (2024). Carbon neutrality and hydrogen energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 78, 1449–1467. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.407>
15. Zheng, Z., Shafique, M., Luo, X., Wang, S. (2024). A systematic review towards integrative energy management of smart grids and urban energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 189, 114023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114023>
16. Rustamov, N. T., Mejrbekov, A. T., Meirbekova, D. (2022). Pat. No. 29833 RK. Method of all-season power supply to a greenhouse from an alternative energy source. publ.: 04.01.2022.
17. Karbowa, K., Wnukowska, B., Czosnyka, M. (2019). Computer Aided Selection Of Power Generation unit In The Cogeneration Process. 2019 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE), 1–7. <https://doi.org/10.1109/paee.2019.8788998>
18. Dyussebayev, I. M., Issabekov, Zh., Tulegulov, A. D., Yergaliyev, D. S., Bazhaev, N. A., Kaipova, A. A. (2022). Methodological basis for the application of wind generators in geology. *Series Of Geology And Technical Sciences*, 5 (455), 63–78. <https://doi.org/10.32014/2518-170x.218>
19. Rustamov, N. T., Meirbekov, A. T., Avezova, N. R., Meirbekova, O. D., Babakhan, Sh. A. (2022). Pat. No. 7970 RK. Hybrid system for generating thermal and electrical energy. publ.: 24.11.2022.
20. Diaz-Cachinero, P., Munoz-Hernandez, J. I., Contreras, J. (2018). A Linear Model for Operating Microgrids with Renewable Resources, Battery Degradation Costs and Electric Vehicles. 2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), 1–5. <https://doi.org/10.1109/eem.2018.8469868>
21. Bramm, A. M., Matrenin, P. V., Papkova, N. A., Sekatski, D. A. (2024). Capacity Factor Forecasting for Generation Facilities Based on Renewable Energy Sources in Decentralized Power Systems. *ENERGETIKA. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 67 (5), 411–424. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2024-67-5-411-424>
22. Sultanov, M. M., Arakelyan, E. K., Boldyrev, I. A., Lunenko, V. S., Menshikov, P. D. (2021). Digital twins application in control systems for distributed generation of heat and electric energy. *Archives of Thermodynamics*, 42 (2), 89–101. <https://doi.org/10.24425/ather.2021.137555>
23. Boghdady, T., Sweed, I. A., Ibrahim, D. K. (2023). Performance Enhancement of Doubly-Fed Induction Generator-Based-Wind Energy System. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13 (1). <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i1.13649.g8685>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317829

DETERMINING THE EFFICIENCY OF RESTORED PHOTOVOLTAIC MODULES UNDER NATURAL LIGHTING CONDITIONS (p. 16–24)

Iryna Shvedchikova

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>

Andrii Trykhlieb

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9457-7349>

Serhii Trykhlieb

LLC "GoldWood", Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5498-9452>

Svitlana Demishonkova

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5678-8114>

Volodymyr Pavlenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2163-8508>

The object of this study is thin-film photovoltaic modules without physical damage, manufactured by CIGS technology, affected by potential-induced degradation, after restoration. The possibility of improving the efficiency of the array of restored photovoltaic modules of the Q.SMART UF L 105 type has been established experimentally, under natural lighting conditions, up to 50 % and higher with respect to the new reference photovoltaic panel. An expression for evaluating the efficiency of restored photovoltaic panels has been derived. It is proposed to use a relative indicator – the efficiency index, which is calculated based on the specific generation data of photovoltaic modules. During the experiment, photovoltaic panels were connected to the OpenSCADA dispatch control and data collection system. Experimental studies were carried out in the autumn-winter period under three weather scenarios: clear day, variable cloudiness, continuous cloudiness. The specific monthly generation of photovoltaic modules was defined as the amount of energy produced during the month per unit of power, which is 100 W. During the experiment, minute and hourly fluctuations in the generation of photovoltaic modules were recorded. Based on the results of calculating the efficiency index, it was concluded that the generation of electrical energy by exhausted photovoltaic modules after restoration under real operating conditions allows for the possibility of their secondary application.

The results of the research could be used as a basis for evaluating the efficiency of restored photovoltaic modules while the resulting statistical data on their performance could be used to devise rules and standards for the secondary application of exhausted photovoltaic panels.

Keywords: photovoltaic module, potential-induced degradation, photovoltaic generation, SCADA system, restoration efficiency.

References

1. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Available at: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
2. 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. <https://doi.org/10.3390/en15134883>
3. Shavolkin, O., Shvedchikova, I., Lishchuk, V., Stanovskiy, Y. (2023). 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. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (123)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280053>
4. Installed solar energy capacity (2024). Our World in Data. Retrieved. Available at: <https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity>
5. Dominguez, A., Geyer, R. (2019). Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America. *Renewable Energy*, 133, 1188–1200. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.063>

6. Weckend, S., Wade, A., Heath, G. (2016). End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/1561525>
7. Yu, H. F., Hasanuzzaman, Md., Rahim, N. A., Amin, N., Nor Adzman, N. (2022). Global Challenges and Prospects of Photovoltaic Materials Disposal and Recycling: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 14 (14), 8567. <https://doi.org/10.3390/su14148567>
8. Solarpark Ammerland. GP JOULE. Available at: <https://www.gp-joule.com/en/references/solar/solarpark-ammerland>
9. Pundiev, V., Rieztsov, V., Surzhyk, T., Shevchuk, V., SheikoI. (2020). Disposal of photovoltaic modules. Problems and international experience. *Vidnovluyana Energetika*, 3 (62), 27–34. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3\(62\).27-34](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.3(62).27-34)
10. Rahman, T., Mansur, A., Hossain Lipu, M., Rahman, Md., Ashique, R., Houran, M. et al. (2023). Investigation of Degradation of Solar Photovoltaics: A Review of Aging Factors, Impacts, and Future Directions toward Sustainable Energy Management. *Energies*, 16 (9), 3706. <https://doi.org/10.3390/en16093706>
11. Pavlík, M., Beňa, L., Medved', D., Čonka, Z., Kolcun, M. (2023). Analysis and Evaluation of Photovoltaic Cell Defects and Their Impact on Electricity Generation. *Energies*, 16 (6), 2576. <https://doi.org/10.3390/en16062576>
12. Ohdaira, K., Komatsu, Y., Yamaguchi, S., Masuda, A. (2023). Second-stage potential-induced degradation of n-type front-emitter crystalline silicon photovoltaic modules and its recovery. *Japanese Journal of Applied Physics*, 62 (SK), SK1033. <https://doi.org/10.35848/1347-4065/accb60>
13. Yilmaz, P., Schmitz, J., Theelen, M. (2022). Potential induced degradation of CIGS PV systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111819. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111819>
14. Zhang, J., Cao, D., Cui, Y., Wang, F., Putson, C., Song, C. (2019). Influence of potential induced degradation phenomena on electrical insulating backsheet in photovoltaic modules. *Journal of Cleaner Production*, 208, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.057>
15. Krýsová, H., Neumann-Spallart, M., Tarábková, H., Paušová, Š., Janda, P., Maixner, J. et al. (2021). Reconstruction of SnO₂ after cathodic polarization of FTO films – A simple way of fabricating orthorhombic SnO₂. *Materials Chemistry and Physics*, 273, 125038. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125038>
16. Yu, J., Li, J., Zhao, Y., Lambertz, A., Chen, T., Duan, W., Liu, W. et al. (2021). Copper metallization of electrodes for silicon heterojunction solar cells: Process, reliability and challenges. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 224, 110993. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.110993>
17. Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A. H. A., Aloqab, W. T., Al-naser, W. E. (2024). Causes, consequences, and treatments of induced degradation of solar PV: a comprehensive review. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 31 (1), 177–191. <https://doi.org/10.1080/25765299.2024.2318908>
18. Dwivedi, D., Babu, K. V. S. M., Yemula, P. K., Chakraborty, P., Pal, M. (2024). Identification of surface defects on solar PV panels and wind turbine blades using attention based deep learning model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 131, 107836. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107836>
19. Millah, I. S., Chang, P. C., Teshome, D. F., Subroto, R. K., Lian, K. L., Lin, J.-F. (2022). An Enhanced Grey Wolf Optimization Algorithm for Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control Under Partial Shading Conditions. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 3, 392–408. <https://doi.org/10.1109/ojies.2022.3179284>
20. Seo, H.-C. (2022). Development of New Protection Scheme in DC Microgrid Using Wavelet Transform. *Energies*, 15 (1), 283. <https://doi.org/10.3390/en15010283>
21. Tsanakas, J. A., van der Heide, A., Radavičius, T., Denafas, J., Le-maire, E., Wang, K. et al. (2019). Towards a circular supply chain for PV modules: Review of today's challenges in PV recycling, refurbishment and re-certification. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28 (6), 454–464. <https://doi.org/10.1002/pip.3193>
22. Luo, W., Khoo, Y. S., Hacke, P., Naumann, V., Lausch, D., Harvey, S. P. et al. (2017). Potential-induced degradation in photovoltaic modules: a critical review. *Energy & Environmental Science*, 10 (1), 43–68. <https://doi.org/10.1039/c6ee02271e>
23. Tao, M., Fthenakis, V., Ebin, B., Steenari, B., Butler, E., Sinha, P. et al. (2020). Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28 (10), 1077–1088. <https://doi.org/10.1002/pip.3316>
24. OpenSCADA. Available at: <http://oscada.org/ua/golovne/>
25. Largest manufacturers of thin-film solar cells: By capacity. Statista. Available at: <https://www.statista.com/statistics/244962/thin-film-solar-cell-manufacturers-based-on-capacity/>
26. Trykhlieb, A. S., Panasiuk, I. V. (2023). Research of the process of restoration of degraded solar panels. *Technologies and Engineering*, 5, 27–34. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.5.3>
27. Q. Smart UF L 105. SecondSol GmbH. Available at: <https://www.secondsol.com/en/anzeige/20107/modules/thin-film/cis-cigs/q-cells/q-smart-uf-l-105>
28. Soniachna batareia Risen RSM110-8-545M TITAN, 545 Vt. Available at: <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-risen-rsm110-8-545m-titan.html>
29. Insoliatsiya: Vplyv na vyrobnytstvo elektroenerhiyi soniachnymy paneliamy. Solar Garden. Available at: <https://www.solargarden.com.ua/insolyatsiya-vplyv-na-vyrobnytstvo-elektroenergiyi-sonyachnymy-panelyamy/>
30. Ohdaira, K., Akitomi, M., Chiba, Y., Masuda, A. (2023). Potential-induced degradation of n-type front-emitter crystalline silicon photovoltaic modules – Comparison between indoor and outdoor test results. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 249, 112038. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.112038>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318787

STRUCTURAL PERFORMANCE EVALUATION OF MOBILE SOLAR-POWERED BATTERY SWAP STATION FOR ELECTRIC MOTORCYCLES (p. 25–33)

Sonki Prasetya

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1191-5287>

Haolia Rahman

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3414-7225>

Muhammad Todaro

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1996-9261>

Muhammad Hidayat Tullah

Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1250-0710>

Eka Prasetyono

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9109-8861>

Jazuli Fadil

Politeknik Negeri Banjarmasin,
Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1516-3207>

Mochamad Ari Bagus Nugroho
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8236-7509>

Teguh Suprianto
Politeknik Negeri Banjarmasin,
Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2267-2460>

Lauhil Mahfudz Hayusman
Politeknik Negeri Banjarmasin,
Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8997-0502>

Fuad Zainuri
Politeknik Negeri Jakarta, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8996-281X>

This study introduces a structural design and static analysis of a Mobile Battery Swap Station for electric motorcycles, powered by solar energy, to address the critical need for sustainable and off-grid charging infrastructure. As the adoption of electric motorcycles continues to grow, driven by the demand for eco-friendly transportation alternatives, the lack of widespread and accessible charging infrastructure poses a significant barrier to their widespread use. In many regions, the expansion of traditional grid-connected charging stations is hindered by high installation costs, space limitations in urban environments, and logistical challenges in remote or underserved areas. The design focuses on a robust, mobile frame made from hollow iron of AISI 1010 steel, supporting the integration of photovoltaic (PV) panels to supply renewable energy directly to the battery-swapping system. Using Finite Element Analysis (FEA), the station's structural integrity was evaluated under a uniformly distributed load of 700 kg, simulating real-world loading conditions for components essential to electric motorcycle operations, including PV mounts and battery racks. Results show a maximum displacement of 4.541 mm, a peak stress of 57.716 MPa, and a Factor of Safety (FOS) of 2.9, confirming the design's ability to securely and stably support the necessary equipment for battery swapping. This mobile, solar-powered solution advances sustainable infrastructure for electric motorcycles, enabling flexible, grid-independent battery swapping that is particularly beneficial in urban areas and remote locations. This station contributes to greener mobility solutions tailored for electric motorcycles, aligning with broader efforts to support eco-friendly transportation systems.

Keywords: battery swap, EV infrastructure, solar-powered charging, mobile station, electric motorcycle.

References

- Jaiswal, K. K., Chowdhury, C. R., Yadav, D., Verma, R., Dutta, S., Jaiswal, K. S. et al. (2022). Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health. *Energy Nexus*, 7, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100118>
- Afifa, Arshad, K., Hussain, N., Ashraf, M. H., Saleem, M. Z. (2024). Air pollution and climate change as grand challenges to sustainability. *Science of The Total Environment*, 928, 172370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172370>
- Xin, X., Zhang, T., Li, C., Liu, Y., Gao, L., Du, Y. (2023). A Battery Electric Vehicle Transportation Network Design Model with Bounded Rational Travelers. *Journal of Advanced Transportation*, 2023, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2023/6506169>
- Whulanza, Y. (2023). Progressing the Sustainable Mobility: View of Electric Vehicles. *International Journal of Technology*, 14 (3), 455. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.6465>
- Hossain, M. S., Kumar, L., Islam, M. M., Selvaraj, J. (2022). A Comprehensive Review on the Integration of Electric Vehicles for Sustainable Development. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–26. <https://doi.org/10.1155/2022/3868388>
- Cui, K., Li, W., Wang, M., He, Z. (2023). The Impacts of Electric Vehicle Scale-up Development on Emission Reduction: Mapping the Field and Providing a Research Agenda. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32 (5), 4639–4651. <https://doi.org/10.15244/pjoes/168135>
- Alhuyi Nazari, M., Blazek, V., Prokop, L., Misak, S., Prabakaran, N. (2024). Electric vehicle charging by use of renewable energy technologies: A comprehensive and updated review. *Computers and Electrical Engineering*, 118, 109401. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109401>
- Rahmania, A. D., Sutopo, W., Rochani, R. (2023). Innovation and Technology Readiness Level of Mobile Charging Station Swap Battery: A Conceptual Study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1906–1915. <https://doi.org/10.46254/ap03.20220324>
- Sutopo, W., Prianjani, D., Fahma, F., Pujiyanto, E., Rasli, A., Kowang, T. O. (2022). Open Innovation in Developing an Early Standardization of Battery Swapping According to the Indonesian National Standard for Electric Motorcycle Applications. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8 (4), 219. <https://doi.org/10.3390/joitmc8040219>
- Istiqomah, S., Sutopo, W., Hisjam, M., Wicaksono, H. (2022). Optimizing Electric Motorcycle-Charging Station Locations for Easy Accessibility and Public Benefit: A Case Study in Surakarta. *World Electric Vehicle Journal*, 13 (12), 232. <https://doi.org/10.3390/wevj13120232>
- Wang, Z. (2023). Battery Swapping of New Energy Vehicles. *Annual Report on the Big Data of New Energy Vehicle in China (2022)*, 223–258. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6411-6_6
- Patel, C., Topiwala, K. D., Ansari, S., Patel, H. (2020). Design and Fabrication of Electric Motorcycle. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9 (04). Available at: <https://www.ijert.org/research/design-and-fabrication-of-electric-motorcycle-IJERTV9IS040294.pdf>
- Liu, Y., Lai, I. K. W. (2020). The Effects of Environmental Policy and the Perception of Electric Motorcycles on the Acceptance of Electric Motorcycles: An Empirical Study in Macau. *Sage Open*, 10 (1). <https://doi.org/10.1177/2158244019899091>
- Chandra, P. N., Dash, A. K. (2023). Design of a Battery Cabinet for Electric Scooters to Facilitate Battery Swapping. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2023-01-5025>
- Li, J., He, S., Yang, Q., Ma, T., Wei, Z. (2023). Optimal Design of the EV Charging Station With Retired Battery Systems Against Charging Demand Uncertainty. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19 (3), 3262–3273. <https://doi.org/10.1109/tii.2022.3175718>
- Chen, X., Xing, K., Ni, F., Wu, Y., Xia, Y. (2022). An Electric Vehicle Battery-Swapping System: Concept, Architectures, and Implementations. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 14 (5), 175–194. <https://doi.org/10.1109/imits.2021.3119935>
- Al-Zaidi, W. K. M., Inan, A. (2024). Optimal Planning of Battery Swapping Stations Incorporating Dynamic Network Reconfiguration Considering Technical Aspects of the Power Grid. *Applied Sciences*, 14 (9), 3795. <https://doi.org/10.3390/app14093795>
- Feng, Y., Lu, X. (2022). Deployment and Operation of Battery Swapping Stations for Electric Two-Wheelers Based on Machine Learning. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2022/8351412>
- Sun, B., Tan, X., Tsang, D. H. K. (2018). Optimal Charging Operation of Battery Swapping and Charging Stations With QoS Guarantees.

- tee. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9 (5), 4689–4701. <https://doi.org/10.1109/tsg.2017.2666815>
20. Shao, S., Guo, S., Qiu, X. (2017). A Mobile Battery Swapping Service for Electric Vehicles Based on a Battery Swapping Van. *Energies*, 10 (10), 1667. <https://doi.org/10.3390/en10101667>
 21. Thangavel, S., Mohanraj, D., Girijaprasanna, T., Raju, S., Dhana-mjayulu, C., Muyeen, S. M. (2023). A Comprehensive Review on Electric Vehicle: Battery Management System, Charging Station, Traction Motors. *IEEE Access*, 11, 20994–21019. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3250221>
 22. Sen, K., Rajkumar, G. (2023). Solar Powered Charging Station for Electric Vehicle. *Journal of Electrical Engineering and Automation*, 5 (2), 238–251. <https://doi.org/10.36548/jeea.2023.2.007>
 23. Biya, T. S., Sindhu, M. R. (2019). Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System. 2019 3rd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). <https://doi.org/10.1109/iceca.2019.8821896>
 24. Shariff, S. M., Alam, M. S., Ahmad, F., Rafat, Y., Asghar, M. S. J., Khan, S. (2020). System Design and Realization of a Solar-Powered Electric Vehicle Charging Station. *IEEE Systems Journal*, 14 (2), 2748–2758. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2019.2931880>
 25. Puglieri, F. N., Ometto, A. R., Salvador, R., Barros, M. V., Piekarski, C. M., Rodrigues, I. M., Diegoli Netto, O. (2020). An Environmental and Operational Analysis of Quality Function Deployment-Based Methods. *Sustainability*, 12 (8), 3486. <https://doi.org/10.3390/su12083486>
 26. Frizziero, L., Donnici, G., Galiè, G., Pala, G., Pilla, M., Zamagna, E. (2022). QFD and SDE Methods Applied to Autonomous Minibus Redesign and an Innovative Mobile Charging System (MBS). *Inventions*, 8 (1), 1. <https://doi.org/10.3390/inventions8010001>
 27. Shen, Y., Zhou, J., Pantelous, A. A., Liu, Y., Zhang, Z. (2022). A voice of the customer real-time strategy: An integrated quality function deployment approach. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108233. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108233>
 28. Wu, H. (2022). A Survey of Battery Swapping Stations for Electric Vehicles: Operation Modes and Decision Scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 (8), 10163–10185. <https://doi.org/10.1109/tits.2021.3125861>
 29. Vijay Kumar, M., Rudresh, N., Narisi Reddy, T. (2020). An Experimental Investigation of Machining Parameters on AISI 1010 Material by Taguchi's L18 Method. *Materials Today: Proceedings*, 22, 2832–2838. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.415>
 30. Bahia, T. H. A., Idan, A. R., Athab, K. R. (2023). The Effect of Quality Function Deployment (QFD) in Enhancing Customer Satisfaction. *International Journal of Professional Business Review*, 8 (1), e01156. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i1.1156>
 31. Yang, Z., Lei, Q., Sun, J., Hu, X., Zhang, Y. (2022). Strategizing battery swap service: Self-operation or authorization? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 110, 103411. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103411>
 32. Vallera, A. M., Nunes, P. M., Brito, M. C. (2021). Why we need battery swapping technology. *Energy Policy*, 157, 112481. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112481>
 33. Elhegazy, H., Ebid, A., Mahdi, I., Haggag, S., Abdul-Rashied, I. (2020). Implementing QFD in decision making for selecting the optimal structural system for buildings. *Construction Innovation*, 21 (2), 345–360. <https://doi.org/10.1108/ci-12-2019-0149>
 34. Pradhan, S., Ghose, D., Shabbiruddin. (2021). Planning and design of suitable sites for electric vehicle charging station – a case study. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14 (3), 404–418. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1862347>
 35. Tullah, M. H., Sumarsono, D. A., Susanto, I., Zainuri, F., Prasetya, S., Noval, R. et al. (2023). Design and evaluation of hollow frame structures for the development of urban-centric two-passenger electric vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (125)), 80–86. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289232>
 36. Mudaliar, N., Khubalkar, S. (2023). Design, Simulation and Analysis of Solar Powered Electric Vehicle Charging station. 2023 IEEE Renewable Energy and Sustainable E-Mobility Conference (RESEM). <https://doi.org/10.1109/resem57584.2023.10236428>
 37. Thomas, D. J. (2016). Using Finite Element Analysis to Assess and Prevent the Failure of Safety Critical Structures. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 17 (1), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s11668-016-0217-8>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316522
IDENTIFYING RISKS FOR EFFECTIVE
MAINTENANCE OF RENEWABLE ENERGY
PLANTS IN THE NEW GREEN CAPITAL CITY OF
INDONESIA (p. 34–43)

Faishal Arifin

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2245-2034>

Yudan Whulanza

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1541-2118>

This study explores the use of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify and mitigate risks in Solar Power Plants (PLTS) in Indonesia's new National Capital City (IKN). As renewable energy is vital to Indonesia's sustainability goals, managing risks in PLTS is essential for ensuring reliable and efficient energy production.

The research identifies key challenges such as PV Array module failures, shading effects, and control system disruptions, which significantly impact electricity generation. Using the Risk Priority Number (RPN) methodology, the study ranks PV Array modules as the highest risk component (RPN 192), followed by Control and Management Systems (RPN 140) and PV Circuit Breakers and Video Monitoring Systems (RPN 120). These findings underline the need for targeted mitigation strategies.

Recommendations include regular PV module inspections, hotspot monitoring technology, firmware updates, and enhanced fire protection systems. Preventive measures like grounding current maintenance and fire sensor upgrades further minimize operational disruptions, ensuring component durability and system efficiency.

By leveraging the FMEA framework, this study systematically identifies and prioritizes risks while providing actionable solutions to enhance operational resilience. The results align with Indonesia's vision of achieving 80 % renewable energy utilization in IKN by 2045.

This research offers broader applicability for renewable energy systems in similar contexts, contributing to clean energy initiatives, reducing fossil fuel dependency, and supporting sustainable urban planning. It serves as a critical resource for integrating renewable energy into Indonesia's green and resilient capital city vision.

Keywords: solar power plant (PLTS), failure mode and effects analysis (FMEA), asset management, risk analysis.

References

1. Pimpalkar, R., Sahu, A., Patil, R. B., Roy, A. (2023). A comprehensive review on failure modes and effect analysis of solar photovoltaic system. *Materials Today: Proceedings*, 77, 687–691. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.353>
2. Aboagye, B., Gyamfi, S., Ofose, E. A., Djordjevic, S. (2023). Characterisation of visual defects on installed solar photovoltaic (PV) modules in different climatic zones in Ghana. *Scientific African*, 20, e01682. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01682>

3. Salah, B., Alnahhal, M., Ali, M. (2023). Risk prioritization using a modified FMEA analysis in industry 4.0. *Journal of Engineering Research*, 11 (4), 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.07.001>
4. Ogbonnaya, C., Abeykoon, C., Nasser, A., Ume, C. S., Damo, U. M., Turan, A. (2021). Engineering risk assessment of photovoltaic-thermal-fuel cell system using classical failure modes, effects and criticality analyses. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100021>
5. Rajput, P., Malvoni, M., Kumar, N. M., Sastry, O. S., Tiwari, G. N. (2019). Risk priority number for understanding the severity of photovoltaic failure modes and their impacts on performance degradation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100563>
6. Yao, H., Zhou, Q. (2023). Research status and application of rooftop photovoltaic Generation Systems. *Cleaner Energy Systems*, 5, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100065>
7. Jevon, I., Rahardjo, J. (2021). Penerapan Manajemen Risiko menggunakan Metode FMEA pada Proyek Penggalan Sumur Bor oleh CV. Tirta Kencana. *Jurnal Titra*, 9 (2), 471–478.
8. Haievskiy, O., Kvasnytskyi, V., Haievskiy, V. (2020). Development of a method for optimizing a product quality inspection plan by the risk of non-conformity slippage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (108)), 50–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209325>
9. Adi, A. C. (2024). Transformasi Kota Hijau, 50 MW PLT Surya Terangi IKN. Kementerian Energi dan Sumber Daya Minera. Available at: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/transformasi-kota-hijau-50-mw-plt-surya-terangi-ikn>
10. Melihat dari Dekat Bagaimana Capaian Terkini Energi Hijau PLTS di IKN (2024). Available at: <https://www.netralnews.com/melihat-dari-dekat-bagaimana-capaian-terkini-energi-hijau-plts-di-ikn/NXJ1cUMwTytJaHdld3ppV2NjcHF1dz09>
11. VGB-Standard. RDS-PP®. Application Guideline Part 33: Photovoltaic Power Plants Anwendungsrictlinie Teil 33: Photovoltaische Kraftwerke. VGB-S-823-33-2018-07-EN-DE. Available at: <https://pdfcoffee.com/vgb-s-823-33-2018-07-en-de-rds-pp-application-guideline-part-33-photovoltaic-power-plants-anwendungsrictlinie-teil-41-photovoltaische-kraftwerke-pdf-free.html>
12. Abdelkader, M. R., Al-Salaymeh, A., Al-Hamamre, Z., Sharaf, F. (2010). A comparative Analysis of the Performance of Monocrystalline and Multicrystalline PV Cells in Semi Arid Climate Conditions: the Case of Jordan. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 4 (5), 543–552. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228757401>
13. Muhammad, U. (2023). Identifikasi Permasalahan Pengoperasian PLTS Offgrid. *Joule (Journal of Electrical Engineering)*, 4 (1), 33–42. <https://doi.org/10.61141/joule.v4i1.440>
14. Corio, D., Tambunan, I. H., Aminur, Yuliansyah, H., Pratama, R. W., Rauf, R. et al. (2023). Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Kepulauan. Penerbit Yayasan Kita Menulis. Available at: https://repo.unespada.ac.id/eprint/416/1/FullBook%20Optimalisasi%20Pembangkit%20Listrik%20Tenaga%20Surya%20di%20Daerah%20Kepulauan_compressed.pdf
15. Saraswati, D., Marie, I. A., Witonohadi, A. (2014). Power Transformer Failures Evaluation Using Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA) Method. *Asian Journal of Engineering and Technology*, 2 (6), 484–489. Available: www.ajouronline.com
16. Alzyoud, A. R., Dalabeeh, A. S., Al-Rawashdeh, A. Y., Al-Mofleh, A., Allabadi, A., Almomani, T., Hindi, A. (2021). The impact of integration of solar farms on the power losses, voltage profile and short circuit level in the distribution system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10 (3), 1129–1141. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i3.1909>
17. Prameswara, H. T., Rahardjo, A., Larasati, N., Husnayain, F. (2020). Impact of 5 MWp Solar Power Plant Interconnection on Power Flow and Short Circuit Interruption in the 20 kV Medium Voltage Network at Area X Power System. *Jetri : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 18 (1), 31–46. <https://doi.org/10.25105/jetri.v18i1.7373>
18. Fiorentini, L., Marmo, L., Danzi, E., Puccia, V. (2016). Fire risk assessment of photovoltaic plants. A case study moving from two large fires: from Accident Investigation and Forensic Engineering to Fire Risk Assessment for Reconstruction and Permitting Purposes. *Chemical Engineering Transactions*, 48, 427–432. Available at: <https://www.aidic.it/cet/16/48/072.pdf>
19. Datsios, Z. G., Mikropoulos, P. N. (2012). Safe grounding system design for a photovoltaic power station. 8th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MEDPOWER 2012), 62–62. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.2041>
20. Madeti, S. R., Singh, S. N. (2017). Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1180–1207. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.088>
21. Osmani, K., Haddad, A., Lemenand, T., Castanier, B., Ramadan, M. (2020). A review on maintenance strategies for PV systems. *Science of The Total Environment*, 746, 141753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141753>
22. Al-Saffar, M., Musilek, P. (2020). Reinforcement Learning-Based Distributed BESS Management for Mitigating Overvoltage Issues in Systems With High PV Penetration. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11 (4), 2980–2994. <https://doi.org/10.1109/tsg.2020.2972208>
23. Hassaine, L., Olias, E., Quintero, J., Salas, V. (2014). Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 796–807. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.005>
24. Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., Ye, X. (2020). A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications. *IEEE Access*, 8, 132466–132480. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3010212>
25. Young-Chan, O. et al. (2018). Study on Fire Breakout Prevention of Solar Power System. *International Journal of Energy, Environment and Economics*, 26 (1).
26. Moravej, Z., Bagheri, S. (2015). Condition Monitoring Techniques of Power Transformers: A Review. *Journal of Operation and Automation in Power Engineering*, 3 (1), 71–82. Available at: https://journal.uma.ac.ir/article_296_b806f25e611b4700b7ad55a7d4a665f9.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316100

DETERMINING THE OPTIMAL OXIDATION TEMPERATURE OF NON-ISOTHERMAL LIQUID FUELS INJECTIONS USING MODELING BASED ON STATISTICAL DROPLET DISTRIBUTION (p. 44–55)

Aliya Askarova

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1797-1463>

Saltanat Bolegenova

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5001-7773>

Shynar Ospanova

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-7154>

Symbat Bolegenova

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1061-6733>

Gulzhakhan Baidullayeva

Asfendiyarov Kazakh National Medical University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1998-1617>

Kazyret Berdikhan

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8256-1991>

Akbota Nussipzhan

Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1294-9470>

Single-hole injections of liquid hydrocarbon fuels (isooctane and dodecane) under high turbulence have been investigated using direct numerical simulation based on the statistical model considering the droplets' atomization, distribution, and combustion. The study objects are the heat and mass transfer processes during atomization and combustion of liquid fuels injections within the combustion chambers of thermal engines. The temperature and carbon dioxide concentration distributions of the fuel-air mixture, the distributions of the droplets, their velocities, and the Sauter mean radius within the isooctane and dodecane oxidation in the engine's combustion space were obtained. An investigation of the oxidizer's initial temperature influence on the droplets' atomization and combustion processes showed that the optimal temperature for both fuels is 900 K. The obtained modeling results were confirmed in good agreement with theoretical and experimental data.

Thanks to the integrated use of approaches from statistical theory, numerical algorithms and 3D computer modeling techniques, the results obtained are distinguished by high accuracy, efficiency in reducing computational resources, scientific novelty in the type of droplet atomization and suitability for practical application for technological solutions not only for single-hole, but also for multi-hole injections of liquid fuels and studying the jet-to-jet interaction phenomena.

The obtained research results can be applied in miscellaneous internal combustion engines development with different atomization types, which will allow us to contemporaneously settle the concerns of streamlining the combustion process, improving the completeness of fuel combustion and reducing emissions of harmful substances.

Keywords: liquid fuel, atomization, combustion, emissions, single-hole injection, thermal engines.

References

- Messlerer, V. E., Askarova, A. S., Bolegenova, S. A., Yu Maximov, V., Nugymanova, A. O. (2019). 3D-modelling of Kazakhstan low-grade coal burning in power boilers of thermal power plant with application of plasma gasification and stabilization technologies. *Journal of Physics: Conference Series*, 1261 (1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1261/1/012022>
- Mislyuk, O., Khomenko, E., Yehorova, O., Zhytska, L. (2023). Assessing risk caused by atmospheric air pollution from motor vehicles to the health of population in urbanized areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (121)), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274174>
- Zaporozhets, O., Synylo, K., Karpenko, S., Krupko, A. (2021). Improvement of the computer model of air pollution estimation due to emissions of stationary sources of airports and compressor stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 54–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236125>
- Bolegenova, S. A. (2024). Simulation of liquid fuel spray formation and distribution in a reacting turbulent flow. *Eurasian Physical Technical Journal*, 21 (2 (48)), 22–30. <https://doi.org/10.31489/2024no2/22-30>
- Ritchie, H., Roser, M. (2022). Our World in Data. Kazakhstan: CO₂ Country Profile. Available at: <https://ourworldindata.org/co2/country/kazakhstan>
- Kazakhstan Greenhouse Gas (GHG) Emissions 1990-2024. Available at: <https://www.macrotrends.net/global-metrics/countries/KAZ/kazakhstan/ghg-greenhouse-gas-emissions>
- Ecological indicators of environmental monitoring and assessment. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan. Available at: https://stat.gov.kz/en/ecologic-indicators/28463/greenhouse_gas_emissions/
- Statistics of environment. Key indicators. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic planning and reforms of the Republic of Kazakhstan. Available at: <https://stat.gov.kz/en/industries/environment/stat-eco/>
- Askarova, A., Bolegenova, S., Maximov, V., Bekmukhamet, A., Gabitova, Z., Beketayeva, M. (2014). Control of Harmful Emissions Concentration into the Atmosphere of Megacities of Kazakhstan Republic. *IERI Procedia*, 10, 252–258. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.085>
- Bolegenova, S., Askarova, A., Ospanova, S., Zhmagaliyeva, S., Makanova, A., Aldiyarova, A. et al. (2024). Technology of reducing greenhouse gas emissions for decarbonization and decreasing anthropogenic pressure on the environment. *Physical Sciences and Technology*, 11 (1-2), 64–75. <https://doi.org/10.26577/phst2024v11i1a8>
- Reitz, R. D. (1987). Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays. *Atomization and Spray Technology*, 3, 309–337. Available at: <https://uwmadison.app.box.com/v/AandS>
- Villermaux, E. (2007). Fragmentation. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 39 (1), 419–446. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110214>
- Yi, Y., Reitz, R. D. (2004). Modeling the primary breakup of high-speed jets. *Atomization and Sprays*, 14 (1), 53–80. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v14.i1.40>
- Tanner, F. X. (2004). Development and validation of a cascade atomization and drop breakup model for high-velocity dense sprays. *Atomization and Sprays*, 14 (3), 211–242. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v14.i3.20>
- Anez, J., Ahmed, A., Hecht, N., Duret, B., Reveillon, J., Demoulin, F. X. (2019). Eulerian-Lagrangian spray atomization model coupled with interface capturing method for diesel injectors. *International Journal of Multiphase Flow*, 113, 325–342. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.10.009>
- Arcoumanis, C., Gavaises, M. (1998). Linking nozzle flow with spray characteristics in a diesel fuel injection system. *Atomization and Sprays*, 8 (3), 307–347. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v8.i3.50>
- Andriotis, A., Gavaises, M., Arcoumanis, C. (2008). Vortex flow and cavitation in diesel injector nozzles. *Journal of Fluid Mechanics*, 610, 195–215. <https://doi.org/10.1017/s0022112008002668>
- Andriotis, A., Gavaises, M. (2009). Influence of vortex flow and cavitation on near-nozzle diesel spray dispersion angle. *Atomization and Sprays*, 19 (3), 247–261. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v19.i3.30>
- Berezovskaya, I. E. (2023). Investigation of the influence of liquid fuel injection rate on the combustion process using KIVA-II software. *Eurasian Physical Technical Journal*, 20(3(45)), 43–51. <https://doi.org/10.31489/2023no3/43-51>
- Gorokhovski, M. A., Oruganti, S. K. (2021). Stochastic models for the droplet motion and evaporation in under-resolved turbulent flows at a large Reynolds number. *Journal of Fluid Mechanics*, 932. <https://doi.org/10.1017/jfm.2021.916>
- Han, Z., Fan, L., Reitz, R. D. (1997). Multidimensional Modeling of Spray Atomization and Air-Fuel Mixing in a Direct-Injection Spark-Ignition Engine. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/970884>

22. Khan, M. M., Hélie, J., Gorokhovski, M. (2018). Computational methodology for non-evaporating spray in quiescent chamber using Large Eddy Simulation. *International Journal of Multiphase Flow*, 102, 102–118. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.01.025>
23. Dhande, D. Y., Sinaga, N., Dahe, K. B. (2021). Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon*, 7 (3), e06380. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06380>
24. Sahoo, S., Srivastava, D. K. (2023). Numerical analysis of performance, combustion, and emission characteristics of PFI gasoline, PFI CNG, and DI CNG engine. *Energy*, 278, 127749. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127749>
25. Askarova, A., Bolegenova, S., Ospanova, Sh., Slavinskaya, N., Aldiyarova, A., Ungarova, N. (2021). Simulation of non-isothermal liquid sprays under large-scale turbulence. *Physical Sciences and Technology*, 8 (2). <https://doi.org/10.26577/phst.2021.v8.i2.04>
26. Chang, M., Kim, H., Zhou, B., Park, S. (2023). Spray collapse resistance of GDI injectors with different hole structures under flash boiling conditions. *Energy*, 268, 126689. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126689>
27. Oruganti, S. K., Gorokhovski, M. A. (2024). Stochastic models in the under-resolved simulations of spray formation during high-speed liquid injection. *Physics of Fluids*, 36 (5). <https://doi.org/10.1063/5.0206826>
28. Askarova, A., Bekmukhamet, A., Bolegenova, S., Ospanova, S., Symbat, B., Maximov, V. et al. (2016). 3-D Modeling of Heat and Mass Transfer during Combustion of Solid Fuel in Bkz-420-140-7C Combustion Chamber of Kazakhstan. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 9 (2), 699–709. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jafm.68.225.22881>
29. Leithner, R., Askarova, A., Bolegenova, S., Bolegenova, S., Maximov, V., Ospanova, S. et al. (2016). Computational modeling of heat and mass transfer processes in combustion chamber at power plant of Kazakhstan. *MATEC Web of Conferences*, 76, 06001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167606001>
30. Bolegenova, S., Askarova, A., Slavinskaya, N., Ospanova, Sh., Maxutkhanova, A., Aldiyarova, A., Yerbosynov, D. (2022). Statistical modeling of spray formation, combustion, and evaporation of liquid fuel droplets. *Physical Sciences and Technology*, 9 (2). <https://doi.org/10.26577/phst.2022.v9.i2.09>
31. Khan, M. M., Hélie, J., Gorokhovski, M., Sheikh, N. A. (2017). Experimental and numerical study of flash boiling in gasoline direct injection sprays. *Applied Thermal Engineering*, 123, 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.102>
32. Gorokhovski, M., Jouanguy, J., Chtab-Desportes, A. (2009). Stochastic model of the near-to-injector spray formation assisted by a high-speed coaxial gas jet. *Fluid Dynamics Research*, 41 (3), 035509. <https://doi.org/10.1088/0169-5983/41/3/035509>
33. Arcoumanis, C., Cutter, P., Whitelaw, D. S. (1998). Heat Transfer Processes in Diesel Engines. *Chemical Engineering Research and Design*, 76 (2), 124–132. <https://doi.org/10.1205/026387698524695>
34. Huang, J., Zhao, X. (2019). Numerical simulations of atomization and evaporation in liquid jet flows. *International Journal of Multiphase Flow*, 119, 180–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.07.018>
35. García-Contreras, R., Armas, O., Mata, C., Villanueva, O. (2017). Impact of Gas To Liquid and diesel fuels on the engine cold start. *Fuel*, 203, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.116>
36. Dhar, A., Tazua, X., Maiboom, A. (2016). Phenomenological models for prediction of spray penetration and mixture properties for different injection profiles. *Fuel*, 171, 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.12.022>
37. Zhu, L., Wu, K., Zhang, E., She, Y., Zhan, W., Liu, Q. (2015). A modified model for calculating Theoretical Flame Temperature

in blast furnace and its application. *Journal of Iron and Steel Research International*, 22 (1), 9–14. [https://doi.org/10.1016/s1006-706x\(15\)60002-4](https://doi.org/10.1016/s1006-706x(15)60002-4)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314334
DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL ENERGY COMPLEX BASED ON A BOILER PLANT WITH AN AUTOMATED BURNER FOR ITS ENERGY USE (p. 56–65)

Ruslan Kassym

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
 University of Jaen, Jaen, Spain
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

Balzhon Bakhtiyar

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-4329>

Amanzhol Tokmoldayev

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0064-6170>

Gulzhamal Tursunbayeva

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2044-8027>

Maxim Korobkov

Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and
 Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9440-8706>

Muratbek Issakhanov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8839-3918>

Gulzagira Manapova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2778-2546>

Almagul Mergalimova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>

Almas Baimukhanbetov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2718-8421>

The object of the study is a sustainable energy complex designed to convert biomass and livestock waste into thermal energy. The problem being solved is the reduction of environmental pollution in the agricultural sector of Kazakhstan through effective waste management. The complex includes a biofuel production plant, a biogas synthesis plant, and an optimized heat generator in the form of a biogas-fired hot water boiler.

The problem being solved is the need to use renewable energy sources that reduce the impact of agricultural waste on the environment while providing a reliable source of energy. Existing biogas technologies are often inefficient, especially in the processing of various agricultural wastes, and require innovation to meet the unique needs of rural farms.

The main result of the study was the creation of an experimental biogas-powered heat generator with a capacity of 21.9 kW. The complex successfully recycles waste by producing biogas, which feeds

a hot water boiler, providing thermal energy and reducing dependence on traditional fuels. Laboratory tests have confirmed the high efficiency of the biogas system, and optimal fermentation parameters have been determined for the effective production of biogas.

The results show that the thermophilic operating mode (52–55 °C) ensures maximum biogas output, and the modular design of the system and the low-pressure gas tank increase practicality for small and medium farms. The complex offers an environmentally friendly solution by converting biomass into energy, which can be used in agricultural enterprises with access to organic waste. This innovative system not only promotes sustainability but also enhances energy independence for rural communities.

Keywords: biogas production, thermal energy generation, biomass utilization, renewable energy sources, waste recycling, agricultural waste management.

References

- Zain Ahmed, A., Ridzuan, A. R., Mohd Azmi, A., A/L Bathal Singh, B. S., Zailani, R. (2021). Energy and Environmental Security in Developing Countries Case Studies of Countries in Southeast Asia. *Energy and Environmental Security in Developing Countries*, 19–48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63654-8_2
- Guan, X., Zou, X., Sun, S. (2016). Influence of the type of the pulverized coal concentrator on the operation of a tangential fired boiler with horizontal bias combustion. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 21 (4), 450–456. <https://doi.org/10.1007/s12204-016-1745-9>
- Zhou, H., Ma, W., Zhao, K., Yang, Y., Qiu, K. (2016). Experimental investigation on the flow characteristics of rice husk in a fuel-rich/lean burner. *Fuel*, 164, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.09.077>
- Li, X., Zeng, L., Liu, H., Song, M., Liu, W., Han, H. et al. (2020). Numerical simulation investigations into the influence of the mass ratio of pulverized-coal in fuel-rich flow to that in fuel-lean flow on the combustion and NO_x generation characteristics of a 600-MW down-fired boiler. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (14), 16900–16915. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08275-5>
- Han, B., Lin, H., Miao, Z. (2021). Numerical investigation on the optimized arrangement for high-temperature corrosion after low NO_x transformation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146 (5), 2183–2197. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10734-1>
- Guan, J., Yu, Q., Sun, R., Shen, T., Wang, M., Yan, Y., Song, X. (2020). Experimental Investigation for Co-Combustion Characteristics of Semi-Coke and Bituminous Coal in a 3 MWth Tangential Combustion Facility. *Journal of Thermal Science*, 29 (6), 1655–1662. <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1187-4>
- Fujimoto, Y., Inokuchi, Y., Yamasaki, N. (2005). Large eddy simulation of swirling jet in a bluff-body burner. *Journal of Thermal Science*, 14 (1), 28–33. <https://doi.org/10.1007/s11630-005-0036-9>
- Tlenshiyeva, A., Tostado-Véliz, M., Hasanien, H. M., Khosravi, N., Jurado, F. (2024). A data-driven methodology to design user-friendly tariffs in energy communities. *Electric Power Systems Research*, 228, 110108. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.110108>
- Hashish, M. S., Hasanien, H. M., Ji, H., Alkuhayli, A., Alharbi, M., Akmaral, T., Turkey, R. A. et al. (2023). Monte Carlo Simulation and a Clustering Technique for Solving the Probabilistic Optimal Power Flow Problem for Hybrid Renewable Energy Systems. *Sustainability*, 15 (1), 783. <https://doi.org/10.3390/su15010783>
- Mohamed, N. A., Hasanien, H. M., Alkuhayli, A., Akmaral, T., Jurado, F., Badr, A. O. (2023). Hybrid Particle Swarm and Gravitational Search Algorithm-Based Optimal Fractional Order PID Control Scheme for Performance Enhancement of Offshore Wind Farms. *Sustainability*, 15 (15), 11912. <https://doi.org/10.3390/su151511912>
- Keshuov, S., Omarov, R., Tokmoldayev, A., Omar, D., Kunelbayev, M., Amirseit, S. (2017). Hybrid system for using renewable sources of energy for local consumers in agriculture. *ARNP Journal of Engineering and Applied*, 12 (5), 1296–1306.
- Baibolov, A., Sydykov, S., Alibek, N., Tokmoldayev, A., Turdybek, B., Jurado, F., Kassym, R. (2022). Map of zoning of the territory of Kazakhstan by the average temperature of the heating period in order to select a heat pump system of heat supply: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44 (3), 7303–7315. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2108168>
- Sultan, A., Yermoldina, G., Kassym, R., Serikov, T., Bekbosynov, S., Yernazarov, N. et al. (2024). Research and construction of an adaptive drive with increased efficiency based on a balancing friction clutch. *Vibroengineering Procedia*, 54, 334–340. <https://doi.org/10.21595/vp.2024.23971>
- Bimurzaev, S., Aldiyarov, N., Yerzhigitov, Y., Tlenshiyeva, A., Kassym, R. (2023). Improving the resolution and sensitivity of an orthogonal time-of-flight mass spectrometer with orthogonal ion injection. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (126)), 43–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290649>
- Nurmaganbetova, G., Issenov, S., Kaverin, V., Em, G., Asainov, G., Nurmaganbetova, Z. et al. (2024). Indirect temperature protection of an asynchronous generator by stator winding resistance measurement with superimposition of high-frequency pulse signals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (128)), 46–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302872>
- Ucal, M. (2021). Energy and Sustainable Development from Perspective of Energy Poverty. *Energy and Environmental Security in Developing Countries*, 375–391. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63654-8_15
- Chang, J., Zhou, Z., Ma, X., Liu, J. (2022). Computational investigation of hydrodynamics, coal combustion and NO_x emissions in a tangentially fired pulverized coal boiler at various loads. *Particology*, 65, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2021.06.012>
- Nishimura, T., Kaga, T., Shirovani, K., Kadowaki, J. (1999). Vortex structures and temperature fluctuations in a bluff-body burner. *Journal of Visualization*, 1 (3), 271–281. <https://doi.org/10.1007/bf03181408>
- 99/01493 Research on NO_x formation characteristics in pulverized burner with boat-shaped flame stabilizer (1999). *Fuel and Energy Abstracts*, 40 (2), 150. [https://doi.org/10.1016/s0140-6701\(99\)96674-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6701(99)96674-2)
- Wang, Z., Sun, S., Qian, L., Meng, S., Tan, Y. (2013). Numerical Study on the Stereo-Staged Combustion Properties of a 600 MWe Tangentially Fired Boiler. *Cleaner Combustion and Sustainable World*, 1109–1120. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30445-3_148
- Zeng, G., Sun, S., Dong, H., Zhao, Y., Ye, Z., Wei, L. (2016). Effects of Combustion Conditions on Formation Characteristics of Particulate Matter from Pulverized Coal Bias Ignition. *Energy & Fuels*, 30 (10), 8691–8700. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01280>
- Zhao, X., Bu, C., Wang, X., Zhang, J., Piao, G., Jiang, Y. (2021). A kinetic study on gasification characteristics of high-ash-fusion-temperature Huainan coal for non-slagging entrained flow gasification. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147 (15), 8289–8299. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-1121-6>
- Hwang, M.-Y., Ahn, S.-G., Jang, H.-C., Kim, G.-B., Jeon, C.-H. (2016). Numerical study of an 870MW wall-fired boiler using De-NO_x burners and an air staging system for low rank coal. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30 (12), 5715–5725. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-1142-1>
- Tlenshiyeva, A., Tostado-Véliz, M., Hasanien, H. M., Khosravi, N., Jurado, F. (2024). A data-driven methodology to design user-friendly tariffs in energy communities. *Electric Power Systems Research*, 228, 110108. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.110108>

25. Zhang, Z., Li, Z., Cai, N. (2015). An improved char combustion model and its implement in Fluent and experimental validation. Proc. CSEE, 35 (7), 1681–1688. <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.psee.2015.07.016>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317019
DEFINING INDICATORS FOR THE ANAEROBIC FERMENTATION PROCESS OF AQUACULTURE WASTEWATER SEDIMENTS (p. 66–78)

Gennadii Golub

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Oksana Yaremenko

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5440-4682>

Petro Kucheruk

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1888-0774>

Oleh Marus

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1521-2885>

Nataliya Tsyvenkova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
 Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1703-4306>

Volodymyr Nadykto

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-8297>

Viacheslav Chuba

Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4119-0520>

Yaroslav Yarosh

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8376-8979>

The object of this study is the process of anaerobic fermentation of wastewater sludge from aquaculture. It was established that the exponential dependence adequately describes the experimental data on the change in the level of decomposition of dry organic matter (DOM) and the specific yield of biomethane per unit of decomposed DOM of aquaculture wastewater sediment depending on the time of anaerobic fermentation. The maximum level of DOM decomposition during anaerobic fermentation achieved in 38 days was 0.74 relative units at a process speed of 0.108 relative units per day. The integrated level of DOM decomposition over 21 days of anaerobic fermentation can reach only 0.43 relative units, and the integrated level of DOM decomposition is set at the level of 0.033 relative units per day. The output of biogas and biomethane during anaerobic fermentation over 21 days of anaerobic fermentation reached 4.083 and 2.627 l, respectively. At the same time, the concentration of biomethane in biogas on day 7 of fermentation reached 74–75 % and remained at this level until day 21. The maximum level of specific yield of biomethane during anaerobic fermentation reached

on day 38 was 803.936 ml in terms of normal conditions per gram of decomposed DOM with a rate of change of the specific yield of biomethane of 0.207 ml in terms of normal conditions per gram of decomposed DOM per day. The integrated specific yield of biomethane over 21 days of anaerobic fermentation could reach 580–590 ml in terms of normal conditions per gram of decomposed DOM. With a fermentation time of 21 days, the specific output of biomethane has an optimal value depending on the periodicity of loading the reactor, which is 1.48–1.49 m³ of biomethane per one m³ of biomass in the reactor in one day with a periodicity of loading the reactor once per time from 4.5 to 6 days. The research results could be used to determine the volume of biomethane production and electricity based on it during the anaerobic fermentation of aquaculture wastewater sludge.

Keywords: anaerobic fermentation of sediment, specific yield of biomethane, recirculation system of aquaculture, biomethane.

References

- Xu, J., Wang, J., Lin, S., Hou, L., Ma, S., Lv, Y., Chen, R. et al. (2023). The effect of novel aquaculture mode on phosphorus sorption-release in pond sediment. *Science of The Total Environment*, 905, 167019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167019>
- Jia, S., Wang, L., Zhang, J., Zhang, L., Ma, F., Huang, M. et al. (2022). Comparative study on the morphological characteristics and nutritional quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured in an aquaculture system using land-based container with recycling water and a traditional pond system. *Aquaculture*, 549, 737721. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737721>
- Horstmann, P., Alliney, N., Eding, E. H., Kals, J., Prakash, S., Staessen, T. W. O. et al. (2024). Practical implications of lowering dietary starch content on waste management in recirculating aquaculture systems operated with drum filtration or sedimentation in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*). *Aquaculture*, 584, 740587. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740587>
- Li, H., Cui, Z., Cui, H., Bai, Y., Yin, Z., Qu, K. (2023). Hazardous substances and their removal in recirculating aquaculture systems: A review. *Aquaculture*, 569, 739399. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739399>
- Sarkar, S., Kamilya, D., Mal, B. C. (2007). Effect of geometric and process variables on the performance of inclined plate settlers in treating aquacultural waste. *Water Research*, 41 (5), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.015>
- Cripps, S. J., Bergheim, A. (2000). Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, 22 (1-2), 33–56. [https://doi.org/10.1016/s0144-8609\(00\)00031-5](https://doi.org/10.1016/s0144-8609(00)00031-5)
- Yang, H., Tan, T., Du, X., Feng, Q., Liu, Y., Tang, Y. et al. (2025). Advancements in freshwater aquaculture wastewater management: A comprehensive review. *Aquaculture*, 594, 741346. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741346>
- Gebauer, R., Eikebrokk, B. (2006). Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching. *Bioresource Technology*, 97 (18), 2389–2401. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.008>
- Akizuki, S., Suzuki, H., Fujiwara, M., Toda, T. (2023). Impacts of steam explosion pretreatment on semi-continuous anaerobic digestion of lignin-rich submerged macrophyte. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135377>
- da Borso, F., Chiumenti, A., Fait, G., Mainardis, M., Goi, D. (2021). Biomethane Potential of Sludges from a Brackish Water Fish Hatchery. *Applied Sciences*, 11 (2), 552. <https://doi.org/10.3390/app11020552>
- Ferreira, R. C. B. (2012). Anaerobic digestion of sludge from marine recirculation aquaculture systems. Integrated Master in Environmental Engineering – 2011/2012. Faculty of Engineering of Uni-

- versity of Porto. Porto, 90. Available at: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65569/1/000154211.pdf>
12. Zhang, X., Spanjers, H., van Lier, J. B. (2013). Potentials and limitations of biomethane and phosphorus recovery from sludges of brackish/marine aquaculture recirculation systems: A review. *Journal of Environmental Management*, 131, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.09.016>
 13. Lobanov, V., De Vrieze, J., Joyce, A. (2023). Simultaneous biomethane production and nutrient remineralization from aquaculture solids. *Aquacultural Engineering*, 101, 102328. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102328>
 14. Pesante, G., Bolzonella, D., Jelic, A., Frison, N. (2024). Upgrading biogas plants to produce microbial proteins for aquaculture feed. *Journal of Cleaner Production*, 459, 142559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142559>
 15. Righetti, E., Nortilli, S., Fatone, F., Frison, N., Bolzonella, D. (2020). A Multiproduct Biorefinery Approach for the Production of Hydrogen, Methane and Volatile Fatty Acids from Agricultural Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 11 (10), 5239–5246. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01023-3>
 16. Golub, G., Tsyvenkova, N., Holubenko, A., Chuba, V., Tereshchuk, M. (2021). Investigation of substrate mixing process in rotating drum reactor. *INMATEH Agricultural Engineering*, 63 (1), 51–60. <https://doi.org/10.35633/inmateh-63-05>
 17. Choudhury, A., Lepine, C., Witarsa, F., Good, C. (2022). Anaerobic digestion challenges and resource recovery opportunities from land-based aquaculture waste and seafood processing byproducts: A review. *Bioresource Technology*, 354, 127144. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127144>
 18. Golub, G., Kukharets, S., Zavadska, O., Marus, O. (2019). Determination of the rate of organic biomass decomposition in biogas reactors with periodic loading. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9 (4), 1741–1750. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v9i4.10163.g7777>
 19. Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., Holm-Nielsen, J. B. (2018). Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013>
 20. Ahlberg-Eliasson, K., Nadeau, E., Levén, L., Schnürer, A. (2017). Production efficiency of Swedish farm-scale biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 97, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.12.002>
 21. Halder, N. (2017). Thermophilic Biogas Digester for Efficient Biogas Production from Cooked Waste and Cow Dung and Some Field Study. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7 (3), 1062–1073. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i3.5844.g7137>
 22. Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M. (2019). An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 230, 888–897. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.116>
 23. Torrellas, M., Burgos, L., Tey, L., Noguero, J., Riau, V., Palatsi, J. et al. (2018). Different approaches to assess the environmental performance of a cow manure biogas plant. *Atmospheric Environment*, 177, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.023>
 24. Ishikawa, S., Iwabuchi, K., Takahashi, K., Hara, R., Kita, H. (2019). Performance evaluation based on long-term operation results of biogas plant for livestock manure management. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 12 (2), 155–161. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.12.003>

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318785

СТВОРЕННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ (с. 6–15)**Nassim Rustamov, Kamalbek Berkimbayev, Zagipa Abdikulova, Oxana Meirbekova, Zhanibek Issabekov, Shokhrukh Babakhan, Perizat Rakhmetova**

Об'єктом дослідження є система розподіленої генерації (РГ) для віддалених районів, де розширення ліній електропередач є складним або неможливим. Дослідження демонструє, як інтеграція модулів електричної та теплової енергії на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальну шину РГ може забезпечити безперервне енергопостачання. Цей підхід забезпечує як тепло, так і електроенергію для споживачів, незалежно від погодних умов, що є перевагою перед традиційними системами, що залежать від змінних джерел, таких як енергія вітру та сонця. Чисельні оцінки свідчать про те, що запропонована система може покращити використання місцевих відновлюваних ресурсів приблизно на 20–30 % порівняно з установками з одного джерела відновлюваної енергії. Ця підвищена ефективність забезпечує більш стабільну вихідну потужність із меншою кількістю перерв, спричинених низькою швидкістю вітру або зменшенням сонячного випромінювання. З економічного погляду зменшення залежності від дизель-генераторів приблизно на 15–25 % може призвести до значної економії витрат на паливо. Крім того, переведення виробництва енергії з невідновлюваних джерел може скоротити викиди парникових газів приблизно на 10–20 %, сприяючи досягненню цілей захисту навколишнього середовища. У цьому дослідженні було отримано рішення для постачання електроенергії поза мережею в сільській місцевості, яка зазвичай покладається на дорогу та часто ненадійну централізовану енергетичну інфраструктуру. Використовуючи відновлювані джерела енергії та впроваджуючи когенераційну систему РГ, дослідження значно зменшує залежність від традиційних енергетичних мереж і підвищує енергонезалежність віддалених об'єктів. Дослідження підкреслює практичну цінність запропонованого рішення, особливо для сільських районів, розташованих далеко від ліній електропередач і з обмеженим доступом до традиційних систем електроенергії. Запропонована система не тільки забезпечує безперервне енергопостачання, але й збігається зі світовими тенденціями до стійких і децентралізованих енергетичних рішень.

Ключові слова: когенераційна розподілена генерація, відновлювані джерела енергії, автономна енергія, біогаз, електрична та теплова енергія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317829

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ПІСЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ В ПРИРОДНИХ УМОВАХ ОСВІТЛЕНОСТІ (с. 16–24)**I. О. Шведчикова, А. С. Трихлеб, С. О. Трихлеб, С. А. Демішонкова, В. М. Павленко**

Об'єктом дослідження є тонкоплівкові без фізичних пошкоджень фотоелектричні модулі, виготовлені за технологією CIGS, уражені потенційно-індукованою деградацією, після відновлення. Встановлено експериментальним шляхом можливість підвищення ефективності масиву відновлених фотоелектричних модулів типу Q.SMART UF L 105 в природних умовах освітленості до 50 % і вище по відношенню до нової еталонної фотоелектричної панелі. Отримано вираз для оцінки ефективності відновлених фотоелектричних панелей. Запропоновано використання відносного показника – індексу ефективності, який розраховується за даними питомої генерації фотоелектричних модулів. Під час проведення експерименту фотоелектричні панелі підключались до системи диспетчерського контролю та збору даних OpenSCADA. Експериментальні дослідження проводились в період осінь-зима за трьома погодними сценаріями: ясний день, змінна хмарність, суцільна хмарність. Питома місячна генерація фотоелектричних модулів визначалась як кількість енергії, виробленої протягом місяця на одиницю потужності, яка становить 100 Вт. Під час експерименту реєструвались похвилинні та погодинні коливання генерації фотоелектричних модулів. За результатами розрахунку індексу ефективності зроблено висновок про те, що виробництво електричної енергії відпрацьованими фотоелектричними модулями після відновлення в реальних умовах експлуатації забезпечує можливість їх вторинного використання.

Результати дослідження можуть бути покладені в основу оцінки ефективності відновлених фотоелектричних модулів, а отримані статистичні дані щодо їх продуктивності можуть бути використані при розробленні правил та стандартів для вторинного застосування відпрацьованих фотоелектричних панелей.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, потенційно-індукована деградація, фотоелектрична генерація, система SCADA, ефективність відновлення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318787

ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОБІЛЬНОЇ СОНЯЧНОЇ СТАНЦІЇ ЗАМІНИ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОТОЦИКЛІВ (с. 25–33)**Sonki Prasetya, Haolia Rahman, Muhammad Todaro, Muhammad Hidayat Tullah, Eka Prasetyono, Jazuli Fadil, Mochammad Ari Bagus Nugroho, Teguh Suprianto, Lauhil Mahfudz Hayusman, Fuad Zainuri**

У цьому дослідженні представлено структурний дизайн і статичний аналіз мобільної станції заміни акумуляторів для електричних мотоциклів, які працюють від сонячної енергії, щоб задовольнити критичну потребу в стійкій і автономній зарядній інфраструктурі. Оскільки впровадження електричних мотоциклів продовжує зростати через попит на екологічно чисті транспортні альтернативи, відсутність поширеної та доступної зарядної інфраструктури створює серйозну перешкоду для їх широкого використання. У багатьох регіонах розширенню традиційних підключених до мережі зарядних станцій заважають високі витрати на встановлення,

обмеження простору в міському середовищі та логістичні проблеми у віддалених або недостатньо забезпечених районах. Конструкція зосереджена на міцній мобільній рамі, виготовленій із порожнистого чавуну та сталі AISI 1010, яка підтримує інтеграцію фотоелектричних (ФЕ) панелей для подачі відновлюваної енергії безпосередньо в систему заміни батарей. За допомогою аналізу скінчених елементів структурна цілісність станції була оцінена під рівномірним розподілим навантаженням 700 кг, імітуючи реальні умови навантаження для компонентів, важливих для роботи електричних мотоциклів, включаючи кріплення PV та акумуляторні стійки. Результати показують максимальне зміщення 4,541 мм, пікове навантаження 57,716 МПа та коефіцієнт міцності 2,9, що підтверджує здатність конструкції надійно та стабільно підтримувати необхідне обладнання для заміни батарей. Це мобільне рішення на сонячних батареях покращує стійку інфраструктуру для електричних мотоциклів, забезпечуючи гнучку, незалежну від мережі заміну акумуляторів, що особливо корисно в міських районах і віддалених місцях. Ця станція сприяє розробці екологічно чистих транспортних систем, створених для електричних мотоциклів.

Ключові слова: заміна акумулятора, інфраструктура електромобілей, зарядка на сонячних батареях, мобільна станція, електричний мотоцикл.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316522

ВИЯВЛЕННЯ РИЗИКІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ У НОВІЙ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІЙ СТОЛИЦІ ІНДОНЕЗІЇ (с. 34–43)

Faishal Arifin, Yudan Whulanza

У цьому дослідженні розглядається використання аналізу видів та наслідків відмов (FMEA) для виявлення і зниження ризиків на сонячних електростанціях (PLTS) в новій національній столиці Індонезії (ІКН). З огляду на те, що відновлювані джерела енергії мають вирішальне значення для досягнення цілей сталого розвитку Індонезії, управління ризиками в PLTS відіграє ключову роль у забезпеченні надійного та ефективного виробництва енергії.

У ході дослідження було виявлено основні проблеми, такі як відмови модулів сонячних батарей, ефекти затінення та збої в роботі систем управління, які суттєво впливають на виробництво електроенергії. З використанням методології визначення пріоритетного числа ризику (RPN), у дослідженні модулі сонячних батарей оцінюються як компонент з найвищим рівнем ризику (RPN 192), за яким слідують системи контролю та управління (RPN 140), а також автоматичні вимикачі сонячних батарей і системи відеоспостереження (RPN 120). Дані результати наголошують на необхідності розробки цілеспрямованих стратегій пом'якшення наслідків.

Рекомендації включають регулярні перевірки сонячних модулів, технології моніторингу гарячих точок, оновлення вбудованого програмного забезпечення та вдосконалення систем протипожежного захисту. Профілактичні заходи, такі як технічне обслуговування заземлення та модернізація пожежних датчиків, мінімізують несправності, забезпечуючи довговічність компонентів та ефективність системи.

З використанням структури FMEA, дане дослідження систематично виявляє та пріоритизує ризики, надаючи ефективні рішення для підвищення експлуатаційної стійкості. Результати відповідають концепції Індонезії щодо досягнення 80 % використання відновлюваних джерел енергії в ІКН до 2045 року.

Дане дослідження пропонує більш широке застосування енергосистем на відновлюваних джерелах енергії в аналогічних контекстах за сприяння реалізації ініціатив у галузі екологічно чистої енергетики, зменшення залежності від ископного палива та підтримки стійкого міського планування. Воно служить важливим ресурсом для інтеграції відновлюваних джерел енергії в концепцію екологічно чистої та стійкої столиці Індонезії.

Ключові слова: сонячна електростанція (PLTS), аналіз видів та наслідків відмов (FMEA), управління активами, аналіз ризиків.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316100

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ОКИСЛЕННЯ НЕІЗОТЕРМІЧНИХ ВПОРСКУВАНЬ РІДКИХ ПАЛИВ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ КРАПЕЛЬ ЗА РОЗМІРАМИ (с. 44–55)

Aliya Askarova, Saltanat Bolegenova, Shynar Ospanova, Symbat Bolegenova, Gulzhakhan Baidullayeva, Kazыret Berdikhan, Akbota Nussipzhan

За допомогою прямого чисельного моделювання на основі статистичної моделі, що враховує процеси розпилення, розподілу та згоряння крапель, були досліджені одноструменеві впорскування рідких вуглеводневих палив (ізооктану і додекану) в умовах високої турбулентності. Об'єктами дослідження є процеси тепломасообміну при розпиленні та згорянні впорскувань рідких палив у камерах згоряння теплових двигунів. Отримано дані про розподіл температури та концентрації вуглекислого газу в паливовітряній суміші, розподіл крапель, їх швидкості та середній радіус Заутера в межах окислення ізооктану і додекану в камері згоряння двигуна. Дослідження впливу початкової температури окислювача на процеси розпилення та згоряння крапель показало, що оптимальна температура для обох видів палива становить 900 К. Підтверджено гарну відповідність отриманих результатів моделювання теоретичним та експериментальним даним.

Завдяки комплексному використанню підходів статистичної теорії, чисельних алгоритмів і методів комп'ютерного 3D-моделювання, отримані результати відрізняються високою точністю, ефективністю скорочення обчислювальних ресурсів, науковою новизною в типі розпилення крапель та практичною застосовністю в технологічних рішеннях не тільки для одноструменевих, але й багатоструменевих впорскувань рідких палив та вивчення явищ взаємодії струменів.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при розробці різних двигунів внутрішнього згоряння з різними типами розпилення, що дозволить одночасно вирішувати завдання оптимізації процесу згоряння, підвищення повноти згоряння палива і зниження викидів шкідливих речовин.

Ключові слова: рідке паливо, розпилення, згоряння, викиди, одноструменеве впорскування, теплові двигуни.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314334**РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З АВТОМАТИЗОВАНИМ ПАЛЬНИКОМ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ (с. 56–65)****Ruslan Kassym, Balzhan Bakhtiyar, Amanzhol Tokmoldayev, Gulzhamal Tursunbayeva, Maxim Korobkov, Muratbek Issakhanov, Gulzagira Manapova, Almagul Mergalimova, Almas Baimukhanbetov**

Об'єктом дослідження є стійкий енергетичний комплекс, призначений для перетворення біомаси та відходів тваринництва в теплову енергію. Вирішувана задача полягає в зниженні забруднення навколишнього середовища в сільськогосподарському секторі Казахстану за рахунок ефективного поводження з відходами. Комплекс включає в себе установку з виробництва біопалива, установку синтезу біогазу та оптимізований теплогенератор у вигляді водогрійного котла на біогазі.

Вирішувана задача полягає в необхідності використання відновлюваних джерел енергії, що знижують вплив сільськогосподарських відходів на навколишнє середовище, забезпечуючи при цьому надійне джерело енергії. Існуючі біогазові технології часто неефективні, особливо при переробці різних сільськогосподарських відходів, і вимагають інновацій для задоволення унікальних потреб сільських фермерських господарств.

Основним результатом дослідження стало створення експериментального біогазового теплогенератора потужністю 21,9 кВт. Комплекс успішно переробляє відходи, виробляючи біогаз, який живить водогрійний котел, забезпечуючи теплову енергію та знижуючи залежність від традиційних видів палива. Лабораторні випробування підтвердили високу ефективність біогазової системи, а також були визначені оптимальні параметри ферментації для ефективного виробництва біогазу.

Результати показують, що термофільний режим роботи (52–55 °C) забезпечує максимальний вихід біогазу, а модульна конструкція системи та газгольдер низького тиску підвищують практичність для малих і середніх фермерських господарств. Комплекс являє собою екологічно чисте рішення за рахунок перетворення біомаси в енергію, яка може бути використана на сільськогосподарських підприємствах, що мають доступ до органічних відходів. Ця інноваційна система не тільки сприяє сталому розвитку, а й підвищує енергетичну незалежність сільських громад.

Ключові слова: виробництво біогазу, вироблення теплової енергії, утилізація біомаси, відновлювані джерела енергії, переробка відходів, поводження з сільськогосподарськими відходами.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317019**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ АНАЕРОБНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД АКВАКУЛЬТУРИ (с. 66–78)****Г. А. Голуб, О. А. Яременко, П. П. Кучерук, О. А. Марус, Н. М. Цивенкова, В. Т. Надикто, В. В. Чуба, Я. Д. Ярош**

Об'єкт дослідження – процес анаеробної ферментації осаду стічних вод аквакультури. Встановлено, що експоненціальна залежність адекватно описує експериментальні дані зміни рівня розкладу сухої органічної речовини (СОР) та питомого виходу біометану на одиницю розкладеної СОР осаду стічних вод аквакультури в залежності від часу анаеробного зброджування. Максимальний рівень розкладу СОР під час анаеробного зброджування досягнутий за 38 діб становив 0,74 відн. од при швидкості процесу 0,108 відн. од. за добу. Інтегральний рівень розкладу СОР упродовж 21 доби анаеробного зброджування може досягати лише 0,43 відн. од., а інтегральний рівень розкладу СОР встановлюється на рівні 0,033 відн. од. за добу. Вихід біогазу та біометану під час анаеробної ферментації на 21 добу анаеробного зброджування досягав 4,083 та 2,627 л відповідно. При цьому концентрація біометану в біогазі на 7 добу зброджування досягала 74–75 % і трималася на цьому рівні до 21 доби. Максимальний рівень питомого виходу біометану під час анаеробного зброджування досягнутий на 38 добу становив 803,936 мл у перерахунку на нормальні умови на грам розкладеної СОР при швидкості зміни величини питомого виходу біометану 0,207 мл у перерахунку на нормальні умови на грам розкладеної СОР за добу. Інтегральний питомий вихід біометану упродовж 21 доби анаеробного зброджування може досягав 580–590 мл у перерахунку на нормальні умови на грам розкладеної СОР. При часі зброджування 21 доба, питомий вихід біометану має оптимальне значення в залежності від періодичності завантаження реактора, яке становить 1,48–1,49 м³ біометану на один м³ біомаси в реакторі за одну добу при періодичності завантаження реактора один раз за час від 4,5 до 6 діб. Результати досліджень можуть бути використані для визначення обсягів виробництва біометану та електроенергії на його основі при анаеробному зброджуванні осаду стічних вод аквакультури.

Ключові слова: анаеробна ферментація осаду, питомий вихід біометану, рециркуляційна система аквакультури, біометан.