

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265798**  
**NEUTRONIC ANALYSIS ON MOLTEN SALT REACTOR FUJI-12 USING  $^{235}\text{U}$  AS FISSILE MATERIAL IN  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$  FUEL (p. 6–12)**

**Ahmad Muzaki Mabruhi**

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9383-8424>

**Ratna Dewi Syarifah**

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9110-2093>

**Indarta Kuncoro Aji**

Kyushu University, Kasuga, Fukuoka, Japan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6936-9178>

**Zein Hanifah**

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6384-8397>

**Artoto Arkundato**

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4731-6999>

**Gaguk Jatisukamto**

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9580-7568>

Neutronic analysis on the Molten Salt Reactor FUJI-12 using the fissile material  $^{235}\text{U}$  in  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$  has been carried out. The problem faced in the use of thorium-based fuel is that the amount of  $^{233}\text{U}$  is small and not available in nature.  $^{233}\text{U}$  was produced through the  $^{232}\text{Th}$  breeding at a cost of \$46 million/kg. That is a very high price when compared to  $^{235}\text{U}$  enrichment, which is only \$100/kg. The MSR FUJI-12 used in this study is a generation IV reactor with a mixture of liquid salt fuel  $\text{LiF-BeF}_2\text{-ThF}_4\text{-UF}_4$  and thorium-based fuel ( $^{232}\text{Th}+^{233}\text{U}$ ). In this study, neutronic analysis was carried out by replacing thorium-based fuel with uranium-based fuel ( $^{235}\text{U}+^{238}\text{U}$ ). Neutronic analysis was performed using the OpenMC 0.13.0 code, which is a Monte Carlo simulation-based neutron analysis code. The nuclear data library used for neutronic calculations is ENDF B-VII/1. The fuel is used in a  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$  molten salt mixture with three eutectic compositions: fuel 1, fuel 2, and fuel 3. Each fuel composition is optimized by enriching  $^{235}\text{U}$  in  $\text{UF}_4$  by 3% to 8%. The optimization results show the stability of the reactor criticality value, which is the main parameter so that the reactor can operate for the specified time. The optimization results show that fuel 1 cannot reach its optimal state in each variation of  $^{235}\text{U}$  enrichment. Fuel 2 and fuel 3 can reach optimal conditions at a minimum enrichment of 8% and 7%  $^{235}\text{U}$ . The results of the analysis of the distribution of the neutron flux in the reactor core show the distribution of nuclear reactions that occur in the core. The distribution of flux values in fuel 1 shows that the fission chain reaction is not running perfectly. Fuel 2 and fuel 3 are more stable by maintaining maximum flux at the center of the reactor core.

**Keywords:** molten salt reactor, OpenMC, uranium fluoride, thorium fluoride, neutron flux.

## References

- Electricity Market Report (2022). IEA. doi: <https://doi.org/10.1787/71a62db8-en>
- Global Electricity Review 2020 (2020). EMBER. Available at: <https://resources.solarbusinesshub.com/solar-industry-reports/item/global-electricity-review-2020>
- The Database on Nuclear Power Reactors (2022). IAEA. Available at: <https://pris.iaea.org/pris/> Last accessed: 20.06.2022
- Aji, I. K., Waris, A. (2010). Studi pemanfaatan plutonium sebagai bahan bakar pada molten salt reactor FUJI-12. Available at: <https://pdfcoffee.com/studi-pemanfaatan-plutonium-sebagai-bahan-bakar-pada-molten-salt-reactor-fuji-12-indarta-kuncoro-aji-2010-pdf-free.html>
- James, R. A. (1978). The economics of thorium fuel cycles. Available at: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:11560136](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:11560136)
- Forsberg, C. W., Lewis, L. C. (1999). Uses For Uranium- $^{233}$ : What Should Be Kept for Future Needs? Available at: <https://moltensalt.org/references/static/downloads/pdf/ORNL-6952.pdf>
- Waris, A., Yulianti, Y., Shafii, M. A., Taufiq, I., Su'ud, Z., Aji, I. K. (2010). Comparative Study on  $^{233}\text{U}$  and Plutonium Utilization in Molten Salt Reactor. Indonesian Journal of Physics, 21 (3).
- Aji, I. K., Waris, A. (2014). Preliminary study on weapon grade uranium utilization in molten salt reactor miniFUJI. AIP Conference Proceedings, 1615, 57–60. doi: <http://doi.org/10.1063/1.4895861>
- Hassan, A. A., Alassaf, S. H., Savander, V. I., Afanasyev, V. V., Abu Sondas, M. A. (2020). Investigation of using  $\text{U-}^{233}$  in thorium base instead of conventional fuel in Russian PWR by SERPENT Code. Journal of Physics: Conference Series, 1689 (1), 012031. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1689/1/012031>
- Dunkle, N. J., Pathirana, V., Wheeler, A., Chvala, O., Skutnik, S. E. (2022). NERTHUS Thermal Molten Salt Reactor Neutronics and Fuel Cycle Model. SSRN Electronic Journal. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4134072>
- Surenkov, A. I., Ignatiev, V. V., Uglov, V. S. (2020). Corrosion phenomena induced by coolant, blanket and fuel salts: focus on stainless steels and high nickel alloys. IAEA TECDOC Ser., 204–211.
- Mikcus, I. (2021). Towards Efficient Monte Carlo Calculations in Reactor Physics. Stockholm, 89.
- Carney, S., Brown, F., Kiedrowski, B., Martin, W. (2014). Theory and applications of the fission matrix method for continuous-energy Monte Carlo. Annals of Nuclear Energy, 73, 423–431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.07.020>
- Jones, L. V., Etter, D. E., Hudgens, C. R., Huffman, A. A., Rhinehammer, T. B., Rogers, N. E. et. al. (1962). Phase Equilibria in the Ternary Fused-Salt System  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$ . Journal of the American Ceramic Society, 45 (2), 79–83. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1962.tb11084.x>
- van der Meer, J. P. M., Konings, R. J. M., Oonk, H. A. J. (2006). Thermodynamic assessment of the  $\text{LiF-BeF}_2\text{-ThF}_4\text{-UF}_4$  system. Journal of Nuclear Materials, 357 (1-3), 48–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2006.05.042>
- Bahri, C. N. A. C. Z., Al-Areqi, W. M., Ruf, M., Izzat F. M., Majid, A. Ab. (2017). Characteristic of molten fluoride salt system  $\text{LiF-BeF}_2$  (Flibe) and  $\text{LiF-NaF-KF}$  (Flinak) as coolant and fuel carrier in molten salt reactor (MSR). AIP Conference Proceedings, 1799. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4972932>
- Forsberg, C. W., Carpenter, D. M., Whyte, D. G., Scarlat, R., Wei, L. (2017). Tritium Control and Capture in Salt-Cooled Fission and Fusion Reactors. Fusion Science and Technology, 71 (4), 584–589. doi: <https://doi.org/10.1080/15361055.2017.1289450>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265068**  
**DETERMINING THE STATIC CHARACTERISTIC OF**  
**A MEASURING CURRENT TRANSFORMER AT A**  
**REDUCED LOAD OF THE METERING UNIT (p. 13–20)**

**Kateryna Vasylets**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7590-0754>

**Volodymyr Kvasnikov**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

**Sviatoslav Vasylets**

National University of Water  
 and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1299-8026>

The object of the research is a measuring current transformer of the electromagnetic type, which is used as part of the electricity metering unit. The current transformers functioning in the mode of reduced primary current is accompanied by significant errors. The existence of such a regime for a long time due to downtime of production equipment leads to a significant underestimation of electricity. This leads to unjustified financial losses for energy supply companies as electricity in many countries has become more expensive. The static characteristic of the measuring current transformer at a reduced load of the metering unit is described by a linear statistical model. The parameters of the model are estimated on the basis of empirical data using methods of covariance analysis. The adequacy of the model is confirmed by analysis of regression residuals. The obtained statistical model of the static characteristic, unlike the known ones, is characterized by universality, as it describes current transformers with an arbitrary transformation ratio within the studied accuracy class of 0.5S. The uncertainty of the current error is estimated using the prediction intervals for the transformers secondary currents as a function of the primary currents, calculated on the basis of the obtained model. The prediction intervals for sample values of the current error were obtained through the application of the proposed approach for uncertainty estimation of such an error at a reduced load of the metering unit. It was found that the current error can reach –20 %. Taking into account the indicated intervals for measuring current transformers at a reduced load of the metering unit during billing will allow energy supply companies to increase the accuracy of commercial electricity metering.

**Keywords:** current transformer, static characteristic, current error, reduced load, regression line.

#### References

- Global AC Current Transformers (CT) for Electrical Meters Market Research Report 2022 (2022). Market Reports World. Available at: <https://www.marketreportsworld.com/global-ac-current-transformers-ct-for-electrical-meters-market-21024831>
- IEC 61869-2:2012. Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers. Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/6050>
- Instrument transformers. Application guide (2015). 1HSM 9543 40-00en. ABB. Available at: <https://library.e.abb.com/public/94c2ba5a2f381077c1257df000504e0c/1HSM%209543%2040-00en%20IT%20Application%20Guide%20Ed4.pdf>
- Quarterly report on European electricity markets (2022). Market Observatory for Energy, 15 (1). Available at: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/quarterly\\_report\\_on\\_european\\_electricity\\_markets\\_q1\\_2022.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q1_2022.pdf)
- Soinski, M., Pluta, W., Zurek, S.,owski, A. K. (2014). Metrological attributes of current transformers in electrical energy meters.

- International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 44 (3-4), 279–284. doi: <https://doi.org/10.3233/jae-141790>
- Kaczmarek, M. (2012). Method of current transformer metrological properties estimation for transformation of distorted currents. 2012 IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC). doi: <https://doi.org/10.1109/ipmhvc.2012.6518847>
  - Mingotti, A., Peretto, L., Bartolomei, L., Cavaliere, D., Tinarelli, R. (2020). Are Inductive Current Transformers Performance Really Affected by Actual Distorted Network Conditions? An Experimental Case Study. *Sensors*, 20 (3), 927. doi: <https://doi.org/10.3390/s20030927>
  - Ghaderi, A., Mingotti, A., Peretto, L., Tinarelli, R. (2019). Inductive current transformer core parameters behaviour vs. temperature under different working conditions. 23rd IMEKO TC4 International Symposium Electrical & Electronic Measurements Promote Industry 4.0. Xi'an, 107–112. Available at: <https://www.imeko.org/publications/tc4-2019/IMEKO-TC4-2019-024.pdf>
  - Puzovic, S., Koprivica, B., Milovanovic, A., Djekic, M. (2014). Analysis of measurement error in direct and transformer-operated measurement systems for electric energy and maximum power measurement. *Facta Universitatis - Series: Electronics and Energetics*, 27 (3), 389–398. doi: <https://doi.org/10.2298/fuee1403389p>
  - Lesniewska, E., Rajchert, R. (2019). Behaviour of measuring current transformers with cores composed from different magnetic materials at non-rated loads and overcurrents. *IET Science, Measurement & Technology*, 13 (7), 944–948. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2018.5176>
  - Lee, S.-J., Jung, H.-K., Chung, T.-K., Lee, Y.-S., Ro, J.-S. (2019). Ratio Error Reduction of a Current Transformer Using Multiple Winding Technique. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14 (2), 645–651. doi: <https://doi.org/10.1007/s42835-018-00040-6>
  - Vasylets, K., Kvasnikov, V., Vasylets, S. (2022). Refinement of the mathematical model of electrical energy measurement uncertainty in reduced load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (118)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262260>
  - Ballal, M. S., Wath, M. G., Suryawanshi, H. M. (2020). Measurement Current Transformer Error Compensation by ANN Methodology. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 101 (3), 261–271. doi: <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00454-9>
  - Ballal, M. S., Wath, M. G., Venkatesh, B. (2018). Current Transformer Accuracy Improvement by Digital Compensation Technique. 2018 20<sup>th</sup> National Power Systems Conference (NPSC). doi: <https://doi.org/10.1109/npsc.2018.8771706>
  - Wath, M. G., Raut, P., Ballal, M. S. (2016). Error compensation method for current transformer. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). doi: <https://doi.org/10.1109/icpeices.2016.7853244>
  - C57.13-2016 – IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2016.7501435>
  - Montgomery, D. C. (2020). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, 752. Available at: <https://www.wiley.com/en-ie/Design+and+Analysis+of+Experiments,+9th+Edition,+EMEA+Edition-p-9781119638421>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265749**  
**DEVISING A METHOD FOR ESTIMATING THE**  
**SHARE OF ELECTRICITY CONSUMPTION BY**  
**A GIVEN CONSUMER, WHICH IS PROVIDED FROM**  
**RENEWABLE ENERGY SOURCES (p. 21–30)**

**Petro Lezhniuk**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9366-3553>

**Oleksandr Burykin**

JSC «Vinnitsiaoblenergo», Vinnitsa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0067-3630>

**Volodymyr Kulyk**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7594-5661>

**Juliya Malogulko**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6637-7391>

**Andriy Polishchuk**

JSC «Vinnitsiaoblenergo», Vinnitsia, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4652-9113>

**Artur Sytnyk**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9586-7712>

One of the tools to confirm the origin of electricity sold in the retail market are the so-called Guarantees of Origin. They are the basis for calculating greenhouse gas emissions and reporting on carbon emissions and are the most sought-after by European enterprises.

The object of this study is the mechanism of labeling guarantees of the origin of electricity in electrical networks with renewable energy sources, taking into consideration their location and schemes of connection to the power grids.

Existing solutions for electricity labeling based on the certificates of Guarantees of Origin have a number of problems. They often do not accurately reflect carbon emissions, do not provide transparency and verifiability for end users because they do not take into consideration the physical processes of electricity transmission in the labeling system.

To solve this problem, a method has been developed that makes it possible to isolate from the flow of energy in each power transmission a component due to each connected energy source. As a result, the proportion of the load of each node of the electrical network supplied by a certain source of electricity is determined. To take into account the nonlinearity of the ratio between voltages in the nodes of electrical networks and flows in power transmissions, piecewise-linear approximation is used.

The algorithm for issuing guarantees of the origin of electricity has been improved. It takes into consideration not only indicators of the balance of electricity but also the results of assessing the volume of electricity supply to each consumer from renewable sources. Thus, the volume of sales of guarantees of origin is limited depending on the placement of consumers and their connection to the power grid. Directing proceeds from the sale of guarantees of origin to the guarantors of «green» subsidies will provide them with additional financial support to compensate for the costs of the «green» tariff.

**Keywords:** renewable energy, guarantees of origin, carbon regulation, green tariff, blockchain.

## References

- Kotilainen, K., Valta, J., Makinen, S. J., Jarventausta, P. (2017). Understanding consumers' renewable energy behaviour beyond "homo economicus": An exploratory survey in four European countries. 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM). doi: <https://doi.org/10.1109/eem.2017.7981932>
- Scheller, F., Graupner, S., Edwards, J., Weinand, J., Bruckner, T. (2022). Competent, trustworthy, and likeable? Exploring which peers influence photovoltaic adoption in Germany. *Energy Research & Social Science*, 91, 102755. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102755>
- Lehne, J., Sartor, O. (2020). Navigating The Politics Of Border Carbon Adjustments. E3G. Available at: [https://www.e3g.org/wp-content/uploads/E3G-Briefing\\_Politics\\_Border\\_Carbon\\_Adjustment.pdf](https://www.e3g.org/wp-content/uploads/E3G-Briefing_Politics_Border_Carbon_Adjustment.pdf)
- Hansen, K., Breyer, C., Lund, H. (2019). Status and perspectives on 100 % renewable energy systems. *Energy*, 175, 471–480. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.092>
- van Renssen, S. (2020). The hydrogen solution? *Nature Climate Change*, 10 (9), 799–801. doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0891-0>
- Fridgen, G., Keller, R., Körner, M.-F., Schöpf, M. (2020). A holistic view on sector coupling. *Energy Policy*, 147, 111913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111913>
- de Chalendar, J. A., Benson, S. M. (2019). Why 100 % Renewable Energy Is Not Enough. *Joule*, 3 (6), 1389–1393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.05.002>
- Comello, S., Reichelstein, J., Reichelstein, S. (2021). Corporate Carbon Reduction Pledges: An Effective Tool to Mitigate Climate Change? *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3875343>
- Flood, C. (2021). Heavyweight investors demand more disclosure of environmental risks. *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/7d23ef7f-33ba-4466-b2f1-2a5dfeba1e33>
- Heffron, R. J. (2021). Energy multinationals challenged by the growth of human rights. *Nature Energy*, 6 (9), 849–851. doi: <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00906-6>
- Bogensperger, A., Zeiselmaier, A. (2020). Updating renewable energy certificate markets via integration of smart meter data, improved time resolution and spatial optimization. 2020 17th International Conference on the European Energy Market (EEM). doi: <https://doi.org/10.1109/eem49802.2020.9221947>
- Hamburger, Á. (2019). Is guarantee of origin really an effective energy policy tool in Europe? A critical approach. *Society and Economy*, 41 (4), 487–507. doi: <https://doi.org/10.1556/204.2019.41.4.6>
- Will, C., Jochem, P., Fichtner, W. (2017). Defining a day-ahead spot market for unbundled time-specific renewable energy certificates. 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM). doi: <https://doi.org/10.1109/eem.2017.7981967>
- Kaenzig, J., Heinze, S. L., Wüstenhagen, R. (2013). Whatever the customer wants, the customer gets? Exploring the gap between consumer preferences and default electricity products in Germany. *Energy Policy*, 53, 311–322. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.061>
- Sedlmeir, J., Völter, F., Strüker, J. (2021). The next stage of green electricity labeling. *ACM SIGEnergy Energy Informatics Review*, 1 (1), 20–31. doi: <https://doi.org/10.1145/3508467.3508470>
- Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council. (2018). Available at: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG)
- Abenov, A., Lezhnjuk, P. D., Kulik, V. V., Burykin, O. B., Malogulko, J. V., Kacejko, P. (2018). Transmission loss allocation for a bilateral contract in deregulated electricity market. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2501604>
- Draeck, M., Timpe, C., Jansen, J., Schoots, K., Lescot, D. (2009). The state of implementation of electricity disclosure and guarantees of origin across Europe. 2009 6th International Conference on the European Energy Market. doi: <https://doi.org/10.1109/eem.2009.5311433>
- European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 734137. (2020). CORE THEME 3: Guarantees of Origin and Disclosure. Available at: [https://www.ca-res.eu/fileadmin/cares/PublicArea/CA-RES3FinalPublication/CARES3\\_Final\\_CT3\\_Summary.pdf](https://www.ca-res.eu/fileadmin/cares/PublicArea/CA-RES3FinalPublication/CARES3_Final_CT3_Summary.pdf) Last accessed: 28.09.2022

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266213**

**IDENTIFYING OF THE EFFECT OF THE NUMBER OF TESLA FUSES IN A COILED COLLECTOR ON DIRECT AND REVERSE HEAT TRANSFER (p. 31–36)**

**Hasan Shakir Majdi**

Al-Mustaqbal University College, Babil, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6752-4835>

**Mustafa Abdul Salam Altalib**

Al-Rafidain University College-Baghdad, Baghdad, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1186-1351>

**Ali Najim Abdullah Saieed**

Al-Rafidain University College-Baghdad, Baghdad, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8115-1529>

**Waleed AbdulMunem Abbas**

Al-Farahidi University, Baghdad, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6761-3018>

**Omar Talal Hamid**

Al-Turath University College, Baghdad, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5396-0804>

**Hussein Alawai Ibrahim Al-Saaidi**

Dijlah University College, Baghdad, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4824-2952>

Work was done on the Tesla valve in this study with a coiled and three-dimensional shape, where a different number of these channels and a direct and reverse flow turbine were used to compare the changes that obtain the amount of pressure and temperatures. With the conception of the technology of transferring heat energy in various heat exchangers, it became necessary to develop our technologies that increase the transmission of this energy, and we must refer to the inventions that contributed to the development of the heat transfer system and the three energy laws. They contributed to the development of some mechanical systems, where the Tesla valve is considered one of the valves that have two directions of flow, the first is direct, in which the pressure value is low, and the other is reverse, which occurs when movement is disturbed due to the direction of the channel in which it can be used. This concept can be used to improve heat transfer.

Where the results establish that an increase in the number of channels positively affects the pressure and thus gives more outlets for the passage of water, a study has shown. In the case of four channels an exit temperature of 304.14 K was obtained, which is the highest temperature reached in cases where the direction of flow is direct. The pressure value was in the case in which the channel is a quadrilateral, and the pressure value reached 209 pa. This data are useful and important because the direct exit score has reached 305.74 K for the Tesla valves, which are designed to give enough time for the heat to transfer to the water. The main principle of the Tesla valve is the reverse direction, which works to obstruct the movement of the fluid, and thus increases the pressure and reduces the velocity of the flow.

**Keyword:** tesla valve, COMSOL multiphysics, natural circulation loop, heat and mass transfer.

**References**

- Wang, X., Yang, L., Sun, F. (2021). CFD analysis and RSM optimization of obstacle layout in Tesla micromixer. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 19 (10), 1045–1055. doi: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2021-0087>
- Wahidi, T., Yadav, A. K. (2021). Instability mitigation by integrating twin Tesla type valves in supercritical carbon dioxide based natural circulation loop. *Applied Thermal Engineering*, 182, 116087. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116087>
- Kubar, A. A., Cheng, J., Kumar, S., Liu, S., Chen, S., Tian, J. (2021). Strengthening mass transfer with the Tesla-valve baffles to increase the biomass yield of *Arthrospira platensis* in a column photobioreactor. *Bioresource Technology*, 320, 124337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124337>
- Monika, K., Chakraborty, C., Roy, S., Sujith, R., Datta, S. P. (2021). A numerical analysis on multi-stage Tesla valve based cold plate for cooling of pouch type Li-ion batteries. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 177, 121560. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121560>
- Niu, Z., Shengming, X., Jiang, J., Jun, Z. (2021). Design and Optimization of Strength type Negative Pressure Suction Force Pluck Port based on Tesla Valve. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-213596/v1>
- Yao, Y., Zhou, Z., Liu, H., Li, T., Gao, X. (2021). Valveless Piezoelectric Pump with Reverse Diversion Channel. *Electronics*, 10 (14), 1712. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10141712>
- Shinde, N., Salema, Z., Sakarwala, B. (2020). An Investigation of Non-Return Valves as Possible Sources of Pump Failure and A Comparative Analysis with Tesla Valves. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9, 71–80.
- Cao, Z., Zhao, T., Wang, Y., Wang, H., Zhai, C., Lv, W. (2020). Novel fluid diode plate for use within ventilation system based on Tesla structure. *Building and Environment*, 185, 107257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107257>
- Wahidi, T., Chandavar, R. A., Yadav, A. K. (2020). Stability enhancement of supercritical CO<sub>2</sub> based natural circulation loop using a modified Tesla valve. *The Journal of Supercritical Fluids*, 166, 105020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105020>
- Jin, Z., Qiu, C., Jiang, C., Wu, J., Qian, J. (2020). Effect of valve core shapes on cavitation flow through a sleeve regulating valve. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 21 (1), 1–14. doi: <https://doi.org/10.1631/jzus.a1900528>
- Abdelwahed, M., Chorfi, N., Malek, R. (2019). Reconstruction of Tesla micro-valve using topological sensitivity analysis. *Advances in Nonlinear Analysis*, 9 (1), 567–590. doi: <https://doi.org/10.1515/anona-2020-0014>
- Holzappel, G. A., Linka, K., Sherifova, S., Cyron, C. J. (2021). Predictive constitutive modelling of arteries by deep learning. *Journal of The Royal Society Interface*, 18 (182), 20210411. doi: <https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0411>
- Khudov, H., Makoveichuk, O., Khizhnyak, I., Oleksenko, O., Khazhanets, Y., Solomonenko, Y. et al. (2022). Devising a method for segmenting complex structured images acquired from space observation systems based on the particle swarm algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (116)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255203>
- Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
- Sakan, K., Nyssanbayeva, S., Kapalova, N., Algazy, K., Khompysh, A., Dyusenbayev, D. (2022). Development and analysis of the new hashing algorithm based on block cipher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (116)), 60–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252060>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263263**

**DEVELOPMENT OF TIN COPPER ALLOYS IN SHELL AND TUBE EVAPORATOR HEAT EXCHANGER SYSTEMS IN OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSE POWER PLANT (p. 37–52)**

**Mawardi**

Universitas Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara, Indonesia  
 Universitas Al-Azhar, Kwala Bekala-Padang Bulan,  
 Medan, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6530-4051>

**Basuki Wirjosentono**

Universitas Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0302-7113>

**Himsar Ambarita**

Universitas Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5692-9164>

**Jaswar Koto**

Universitas Insan Cita Indonesia, Karet Kuningan,  
 Kecamatan Setiabudi, Kota Jakarta Selatan,  
 Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1084-3549>

A case study of the manufacture of an OTEC factory on a floating ship has been carried out using 100 MW Titanium material at a fairly expensive cost, so the OTEC system was researched using a copper-tin alloy. The behavior of the tin-copper heat exchanger between the Aspen Plus simulation and the Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation on Shell And Tube evaporators of Bonnet Divided Flow fixed and Bonnet One-pass Shell fixed (BEM) types is investigated. The difference in temperature between water at sea level of 29 °C and water at a depth of 1000 meters at a temperature of 5 °C is assumed to produce electricity. A marine thermal energy conversion power plant is a continuous source of energy sourced from nature an evaporator heat exchanger with ammonia working fluid will produce power that can drive a turbine forwarded to a generator. The simulation results of CFD of a Bonnet Divided Flow fixed type Heat Exchanger on the hot water inlet line has a temperature of 29.9 °C, when exiting the evaporator shell the temperature decreases to 26.4 °C. At the inlet line, the working fluid of ammonia enters the evaporator at 7.9 °C and when it leaves the tube, the temperature rises to 26.3 °C. The best results of the simulation of Aspen Plus Heat Exchanger type BEM Inlet Ammonia temperature 8 °C and at CFD 7.99 °C. Meanwhile, at the ammonia outlet at 28 °C and in the CFD simulation, the ammonia outlet temperature was 28.21 °C. Aspen Plus Inlet heating water temperature is 30 °C, and in CFD simulation, the temperature is 29.99 °C. While the heating water outlet is 28 °C, and in the CFD simulation, the heating water outlet is 28.15 °C. The conclusion from the simulation results is that the BEM-type heat exchanger is very good and suitable for experimental prototyping.

**Keywords:** OTEC, ORC, renewable energy, CFD simulation, Shell and Tube heat exchanger, seawater temperature, close cycle, copper-tin alloy.

**References**

- Adiputra, R., Utsunomiya, T., Koto, J., Yasunaga, T., Ikegami, Y. (2019). Preliminary design of a 100 MW-net ocean thermal energy conversion (OTEC) power plant study case: Mentawai island, Indonesia. *Journal of Marine Science and Technology*, 25 (1), 48–68. doi: <https://doi.org/10.1007/s00773-019-00630-7>
- García Huante, A., Rodríguez Cueto, Y., Hernández Contreras, R. E., Garduño Ruiz, E. P., Alatorre Mendieta, M. Á., Silva, R. (2021). Validation of Sea-Surface Temperature Data for Potential OTEC Deployment in the Mexican Pacific. *Energies*, 14 (7), 1898. doi: <https://doi.org/10.3390/en14071898>
- Langer, J., Quist, J., Blok, K. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100 % Renewable Electricity System. *Energies*, 14 (21), 7033. doi: <https://doi.org/10.3390/en14217033>
- Jin, Z., Ye, H., Wang, H., Li, H., Qian, J. (2017). Thermodynamic analysis of siphon flash evaporation desalination system using ocean thermal energy. *Energy Conversion and Management*, 136, 66–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.002>
- Herrera, J., Sierra, S., Ibeas, A. (2021). Ocean Thermal Energy Conversion and Other Uses of Deep Sea Water: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (4), 356. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse9040356>
- Hunt, J. D., Nascimento, A., Zakeri, B., Barbosa, P. S. F., Costalonga, L. (2022). Seawater air-conditioning and ammonia district cooling: A solution for warm coastal regions. *Energy*, 254, 124359. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124359>
- Kulyk, V., Teptya, V., Vishnevskiy, S., Hrytsiuk, Y., Hrytsiuk, I., Zatkhei, M. (2022). Development of a method for optimizing industrial energy storage units placement in electric distribution networks on the basis of ideal current distribution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (117)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.260080>
- Chen, Y., Liu, Y., Zhang, L., Yang, X. (2021). Three-Dimensional Performance Analysis of a Radial-Inflow Turbine for Ocean Thermal Energy Conversion System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (3), 287. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse9030287>
- Zhang, H., Liu, C., Yang, Y., Wang, S. (2020). Ocean thermal energy utilization process in underwater vehicles: Modelling, temperature boundary analysis, and sea trail. *International Journal of Energy Research*, 44 (4), 2966–2983. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5123>
- Hunt, J. D., Weber, N. de A. B., Zakeri, B., Diaby, A. T., Byrne, P., Filho, W. L., Schneider, P. S. (2021). Deep seawater cooling and desalination: Combining seawater air conditioning and desalination. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103257>
- Langer, J., Infante Ferreira, C., Quist, J. (2022). Is bigger always better? Designing economically feasible ocean thermal energy conversion systems using spatiotemporal resource data. *Applied Energy*, 309, 118414. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118414>
- Kovalenko, V., Borysenko, A., Kotok, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Melnyk, O. (2022). Determination of technological parameters of Zn-Al layered double hydroxides, as a matrix for functional anions intercalation, under different synthesis conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 25–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254496>
- Chen, Y., Liu, Y., Yang, W., Wang, Y., Zhang, L., Wu, Y. (2021). Research on Optimization and Verification of the Number of Stator Blades of kW Ammonia Working Medium Radial Flow Turbine in Ocean Thermal Energy Conversion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9 (8), 901. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse9080901>
- Seungtaek, L., Hoseang, L., Hyeonju, K. (2020). Dynamic Simulation of System Performance Change by PID Automatic Control of Ocean Thermal Energy Conversion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (1), 59. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8010059>
- Vera, D., Baccioli, A., Jurado, F., Desideri, U. (2020). Modeling and optimization of an ocean thermal energy conversion system for remote islands electrification. *Renewable Energy*, 162, 1399–1414. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.074>
- Rapaka, V., Bakkiyanathan, M. (2013). Mathematical Modelling of A Plate Type Heat Exchanger for A 0.1 MWe OTEC Plant. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2 (7). Available at: <https://www.ijert.org/research/mathematical-modelling-of-a-plate-type-heat-exchanger-for-a-0.1-mwe-otec-plant-IJERTV2IS70570.pdf>
- Zapata, A., Amaris, C., Sagastume, A., Rodríguez, A. (2021). CFD modelling of the ammonia vapour absorption in a tubular bubble absorber with NH<sub>3</sub>/LiNO<sub>3</sub>. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101311>
- Ghavami, N., Özdenkçi, K., Chianese, S., Musmarra, D., De Blasio, C. (2022). Process simulation of hydrothermal carbonization of digestate from energetic perspectives in Aspen Plus. *Energy Conversion and Management*, 270, 116215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116215>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265803**  
**INCREASING THE RELIABILITY OF BIOMASS**  
**SOLID FUEL COMBUSTION USING A COMBINED**  
**REGENERATIVE HEAT EXCHANGER AS AN**  
**INDIRECT BURNER (p. 53–61)**

**Alwingsyah Tunggul Ismail**

Universitas Pancasila, Srengseng Sawah,  
 Jagakarsa-South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6248-8545>

**Ismail**

Universitas Pancasila, Srengseng Sawah,  
 Jagakarsa-South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7911-4163>

**Reza Abdu Rahman**

Universitas Pancasila, Srengseng Sawah,  
 Jagakarsa-South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8047-6716>

In this study, an indirect burner system for solid biomass fuel is designed. The design is motivated by the need to solve the problem related to a direct burner system, such as slagging and high pollutant emissions due to the high-temperature burning process. Therefore, the utilization of an indirect burner is expected to improve the reliability of the solid biomass combustion process. It also can be used to reduce coal consumption by using an indirect burner where the working fluid reaches a relatively higher temperature before entering the boiler. The design used the first principle method for creating the regenerator heat exchanger. The regenerator consists of a mantle and coil heat exchanger. The test used solid biomass fuel for the combustion process where the working fluid first enters the mantle heat exchanger and then the coil heat exchanger. As a result, the mantle absorbs sufficient heat losses from the combustion chamber with the highest temperature increment of 19 °C. The warm water from the mantle then flows to the coil arrangement within the combustion chamber. As a result, the highest temperature of the coil is 84.5 °C. The heat transfer rate for the coil and mantle is 57.2–85.6 and 124.9–141.5 W. The key finding is that the combined regenerative heat exchanger can deliver a higher transfer rate. This can be achieved since the heat exchanger utilizes the same flow distribution, increasing the mean temperature differences at the inlet. Thus, it can produce an average heat transfer rate of 210.5 W. Therefore, energy consumption for coal or other fossil fuels can be reduced significantly. The data can be used for further improvement of the existing boiler system and help to increase the thermal efficiency of the system.

**Keywords:** biomass, indirect burner, regenerative heat exchanger, regenerator, mantle heat exchanger.

## References

- Ismail, I., Pane, E. A., Haryanto, G., Okviyanto, T., Rahman, R. A. (2021). A Better Approach for Modified Bach-Type Savonius Turbine Optimization. *International Review of Aerospace Engineering (IREASE)*, 14 (3), 159–165. doi: <https://doi.org/10.15866/irease.v14i3.20612>
- Deng, J., Furbo, S., Kong, W., Fan, J. (2018). Thermal performance assessment and improvement of a solar domestic hot water tank with PCM in the mantle. *Energy and Buildings*, 172, 10–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.058>
- Saukenova, I., Oliskevych, M., Taran, I., Toktamyssova, A., Aliakbarkyzy, D., Pelo, R. (2022). Optimization of schedules for early garbage collection and disposal in the megapolis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (115)), 13–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251082>
- Wiyono, A., Saw, L. H., Anggrainy, R., Husen, A. S., Purnawan, Rohendi, D., Gandidi, I. M., Adanta, D., Pambudi, N. A. (2021). Enhancement of syngas production via co-gasification and renewable densified fuels (RDF) in an open-top downdraft gasifier: Case study of Indonesian waste. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101205>
- Gandidi, I. M., Wiyono, A., Berman, E. T., Pambudi, N. A. (2019). Experimental upgrading of liquid crude oil obtained from calophyllum inophyllum by two-stage pyrolysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16, 100544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100544>
- Adanta, D., Syofii, I., Sari, D., Wiyono, A. (2022). Performance of Pico Scale Turgo Turbine in Difference the Nozzle Diameter. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 15 (1), 130–136. doi: <https://doi.org/10.5293/ijfms.2022.15.1.130>
- Rahmalina, D., Adhitya, D. C., Rahman, R. A., Ismail, I. (2021). Improvement the performance of composite PCM paraffin-based incorporate with volcanic ash as heat storage for low-temperature application. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 53–61. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002055>
- Ismail, I., Mulyanto, A. T., Rahman, R. A. (2022). Development of free water knock-out tank by using internal heat exchanger for heavy crude oil. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 77–85. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002502>
- Kumar, A., Bhattacharya, T., Mozammil Hasnain, S. M., Kumar Nayak, A., Hasnain, M. S. (2020). Applications of biomass-derived materials for energy production, conversion, and storage. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 905–920. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.10.012>
- Tarigan, E. (2018). Mathematical modeling and simulation of a solar agricultural dryer with back-up biomass burner and thermal storage. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 149–165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.04.012>
- Hroncová, E., Ladomersky, J., Valíček, J., Dzurenda, L. (2016). Combustion of Biomass Fuel and Residues: Emissions Production Perspective. *Developments in Combustion Technology*, 3–32. doi: <https://doi.org/10.5772/63793>
- Koymfan, O., Simkin, A., Kravchenko, V., Vorotnikova, Z. (2022). Development of a mathematical model to monitoring the velocity of subsidence of charge material column in the blast furnace based on the parameters of gas pressure in the furnace tract. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (115)), 116–126. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.246175>
- Novikov, P., Shtifzon, O., Bunke, O., Batiuk, S. (2022). Selecting a method for the parametric adaptation of pi-controller in the control systems of boiler assemblies at thermal power stations with supercritical parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (116)), 61–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254116>
- Rahmalina, D., Rahman, R. A., Ismail. (2022). Increasing the rating performance of paraffin up to 5000 cycles for active latent heat storage by adding high-density polyethylene to form shape-stabilized phase change material. *Journal of Energy Storage*, 46, 103762. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103762>
- Mousavi, S. M., Fatehi, H., Bai, X.-S. (2021). Numerical study of the combustion and application of SNCR for NO reduction in a lab-scale biomass boiler. *Fuel*, 293, 120154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120154>
- Mlonka-Mędrala, A., Dziok, T., Magdziarz, A., Nowak, W. (2021). Composition and properties of fly ash collected from a multifuel fluidized bed boiler co-firing refuse derived fuel (RDF) and hard coal. *Energy*, 234, 121229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121229>
- Aranguren, M., Castillo-Villar, K. K., Aboytes-Ojeda, M. (2021). A two-stage stochastic model for co-firing biomass supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128582. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128582>

18. Drosatos, P., Nikolopoulos, N., Karampinis, E., Strotos, G., Grammelis, P., Kakaras, E. (2020). Numerical comparative investigation of a flexible lignite-fired boiler using pre-dried lignite or biomass as supporting fuel. *Renewable Energy*, 145, 1831–1848. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.071>
19. Chen, C., Bi, Y., Huang, Y., Huang, H. (2021). Review on slagging evaluation methods of biomass fuel combustion. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 155, 105082. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105082>
20. Rahman, R. A., Suwandi, A., Nurtanto, M. (2021). Experimental investigation on the effect of thermophysical properties of a heat transfer fluid on pumping performance for a convective heat transfer system. *Journal of Thermal Engineering*, 7 (7), 1628–1639. doi: <https://doi.org/10.18186/thermal.1025910>
21. Torelló, À., Defay, E. (2021). Heat exchange law in caloric regenerators. *International Journal of Refrigeration*, 127, 174–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.02.024>
22. Qian, S., Yu, J., Yan, G. (2017). A review of regenerative heat exchange methods for various cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 535–550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.180>
23. Aviso, K. B., Sy, C. L., Tan, R. R., Ubando, A. T. (2020). Fuzzy optimization of carbon management networks based on direct and indirect biomass co-firing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110035. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110035>
24. Yang, B., Wei, Y.-M., Liu, L.-C., Hou, Y.-B., Zhang, K., Yang, L., Feng, Y. (2021). Life cycle cost assessment of biomass co-firing power plants with CO<sub>2</sub> capture and storage considering multiple incentives. *Energy Economics*, 96, 105173. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105173>
25. Milićević, A., Belošević, S., Crnomarković, N., Tomanović, I., Stojanović, A., Tucaković, D. et al. (2021). Numerical study of co-firing lignite and agricultural biomass in utility boiler under variable operation conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 181, 121728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121728>
26. Tsekos, C., del Grosso, M., de Jong, W. (2021). Gasification of woody biomass in a novel indirectly heated bubbling fluidized bed steam reformer. *Fuel Processing Technology*, 224, 107003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.107003>
27. Ghiami, S., Khallaghi, N., Borhani, T. N. (2021). Techno-economic and environmental assessment of staged oxy-co-firing of biomass-derived syngas and natural gas. *Energy Conversion and Management*, 243, 114410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114410>
28. Smoliński, A., Howaniec, N., Gašior, R., Polański, J., Magdziarczyk, M. (2021). Hydrogen rich gas production through co-gasification of low rank coal, flotation concentrates and municipal refuse derived fuel. *Energy*, 235, 121348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121348>
29. Ndukwu, M. C., Diemuodeke, E. O., Abam, F. I., Abada, U. C., Ekeemezie, N., Simo-Tagne, M. (2020). Development and modelling of heat and mass transfer analysis of a low-cost solar dryer integrated with biomass heater: Application for West African Region. *Scientific African*, 10, e00615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00615>
30. Lazova, M., Huisseune, H., Kaya, A., Lecompte, S., Kosmadakis, G., De Paepe, M. (2016). Performance Evaluation of a Helical Coil Heat Exchanger Working under Supercritical Conditions in a Solar Organic Rankine Cycle Installation. *Energies*, 9 (6), 432. doi: <https://doi.org/10.3390/en9060432>
31. Chikhi, M., Sellami, R., Merzouk, N. K. (2014). Thermal Properties Study of a Solar Water Heater Tank with a Mantle Exchanger. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 3 (1), 92–100. doi: <https://doi.org/10.4018/ijeoe.2014010106>
32. Jaluria, Y. (2016). *Design and Optimization of Thermal Systems* (Vol. 4, Issue 2). Taylor & Francis Group.
33. Kilkovský, B. (2020). Review of Design and Modeling of Regenerative Heat Exchangers. *Energies*, 13 (3), 759. doi: <https://doi.org/10.3390/en13030759>
34. Gao, J., Tian, G., Sornioti, A., Karci, A. E., Di Palo, R. (2019). Review of thermal management of catalytic converters to decrease engine emissions during cold start and warm up. *Applied Thermal Engineering*, 147, 177–187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.037>
35. Arslan, M., Igci, A. A. (2015). Thermal performance of a vertical solar hot water storage tank with a mantle heat exchanger depending on the discharging operation parameters. *Solar Energy*, 116, 184–204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.045>
36. Afsharpanah, F., Mousavi Ajarostaghi, S. S., Sedighi, K. (2019). The influence of geometrical parameters on the ice formation enhancement in a shell and double coil ice storage system. *SN Applied Sciences*, 1 (10). doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1317-3>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.264227**  
**DEVELOPMENT AND CREATION OF**  
**A HYDRODYNAMIC LIQUID HEATING**  
**UNIT (p. 62–69)**

**Bekbolat Nussupbekov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2907-3900>

**Yerlan Oshanov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4419-2625>

**Michael Ovcharov**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7436-813X>

**Elmira Mussenova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5458-3641>

**Didar Ospanova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7243-4965>

**Madina Bolatbekova**

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0169-3430>

The work is devoted to the study of the parameters of an installation for heating a coolant using liquid forcing through throttle openings. A scheme of a full-size experimental stand has been developed and the principles of operation are described in detail. For visual observation of the state of the liquid at different angular speeds of rotation of the rotor, a transparent drum model is made. The influence of the shape of the rotor skirt and the depth of its immersion in the liquid on the filling capacity of the rotor cavity at an angular velocity from 42 to 314 rad/s has been determined. The optimal parameters of the depth of immersion of the drum skirt with a diameter of 0.5 m in the liquid, at low rotor speeds of 16, 24, 32 rad/s, were obtained. The angle of inclination is calculated and it is experimentally proved that for a conical shape it is 5 degrees. It was found that at angular velocities of the rotor more than 100 rad/s, the shape and depth of immersion of the skirt in the liquid do not affect the filling of the rotor, since the feed is higher than its flow through the throttle openings. It is shown that the use of rotational forces to heat the liquid allows using an electric motor with less power, since it is spent only on unwinding the rotor with the liquid. The calculated dependence of

the liquid pressure on the side walls of the rotor, the liquid heating temperature on the angular velocity of rotation of the rotor and on two values of the area of the throttle openings, at  $31.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$  and  $64.34 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , is obtained. When the total area of the throttle openings is doubled, the temperature of the liquid heating at the same angular velocities increases from  $35.6 \text{ }^\circ\text{C}$  to  $82.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . The above installation parameters allow you to get hot water when using small shell-and-tube heat exchangers.

**Keywords:** installation, inertial forces, throttling, pressure, temperature, rotor, liquid heating, pump, drum.

## References

- Bloess, A., Schill, W.-P., Zerrahn, A. (2018). Power-to-heat for renewable energy integration: A review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials. *Applied Energy*, 212, 1611–1626. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.073>
- Osipenko, S. B. O koefitsientie poleznogo deystviya. Available at: <http://www.afuelsystems.com/arhdoc/400%25.pdf>
- Shastoon, V., Kovalenko, V., Ilchenko, O. (2010). Technology which keeps energy and provides a heat with the use of hydrodynamic heat generators. *News of the Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, 1, 88–91. Available at: <http://ojs.dsau.dp.ua/index.php/vestnik/article/view/358>
- Breido, J. V., Kalinin, A. A., Lissitsyn, D. V. (2018). Algorithms of Energy Efficient Control of Electric Technological Complex for Autonomous Heat Supply. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 5 (19), 155040. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.10-7-2018.155040>
- Shumilov, I. S. (2016). Temperatura rabochey zhidkosti aviatsionnykh gidrosistem. *Mashiny i Ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya. Elektron. zhurn.*, 2, 51–75. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/301945902\\_Fluid\\_Temperature\\_of\\_Aero\\_Hydraulic\\_Systems/fulltext/573a6fcc08aea45ee83f8e17/Fluid-Temperature-of-Aero-Hydraulic-Systems.pdf](https://www.researchgate.net/publication/301945902_Fluid_Temperature_of_Aero_Hydraulic_Systems/fulltext/573a6fcc08aea45ee83f8e17/Fluid-Temperature-of-Aero-Hydraulic-Systems.pdf)
- Griggs, J. L. (1991). Pat. No. 5188090 USA. Apparatus for heating fluids. No. US 07/682,003; declared: 08.08.1991, published: 23.02.1993. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5188090A/en>
- Tleuov, A. (2009). *Netraditsionnye istochniki energii*. Astana, 248.
- Baranov, E. I., Yakushko, S. I. (2012). Obosnovanie i raschet gidrodinamicheskogo paradoksa, voznikayuschego pri istechenii zhidkosti iz otverstiy perforirovannoy vraschayuscheysya obolochki. *Visnyk Sums'koho derzhavnogo universytetu. Seriya Tekhnichni nauky*, 4, 7–13.
- Mokhammad, A. A., Khorosh, I. A., Titov, M. A., Kulikova, N. P. (2015). The calculation of the throttle device heating working fluid of hydraulic drive having a temperature dependence. *Vestnik KrasGAU*, 12, 38–44. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25054268>
- Pasyuk, A. S. (2018). Gidrodinamicheskiy nagrevatel' zhidkosti v pischevoy promyshlennosti. *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 1 (2 (38)), 30–33. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32430829>
- Aghakashi, V., Saidi, M. H. (2018). Turbulent decaying swirling flow in a pipe. *Heat Transfer Research*, 49 (16), 1559–1585. doi: <https://doi.org/10.1615/heattransres.2018021519>
- Oshanov, Y., Ovcharov, M., Nussupbekov, B., Stoev, M. (2020). Influence of the main properties of the liquid on the temperature indicators of the inertial heat generator. *Bulgarian Chemical Communications*, 52, 188–191. Available at: [http://www.bcc.bas.bg/BCC\\_Volumes/Volume\\_52\\_Special\\_A\\_2020/BCC-52-A.pdf](http://www.bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_52_Special_A_2020/BCC-52-A.pdf)
- Oshanov, Y. Z., Ovcharov, M. S., Nussupbekov, B. R. (2022). Influence of inertial forces on the flow rate velocity of fluid outflow through the throttle bores of the rotor. *Heat Transfer Research*, 53 (14), 1–8. doi: <https://doi.org/10.1615/heattransres.2022038753>
- Nussupbekov, B., Khassenov, A., Nussupbekov, U., Akhmediyev, B., Karabekova, D., Kutum, B., Tanasheva, N. (2022). Development of technology for obtaining coal-water fuel. *Eastern-European Journal*

of Enterprise Technologies, 3 (8 (117)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259734>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266082**

## ANALYSIS OF THE SEASON EFFECT ON ENERGY GENERATED FROM HYBRID PV/WT IN MALANG INDONESIA (p. 70–78)

**Bambang Irawan**

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1253-9746>

**Wirawan**

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7168-2967>

**Beauty Anggraheny Ikawanty**

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6949-7073>

**Akhsanu Takwim**

State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2953-3786>

This research is about the effect of seasons on the energy produced by hybrid solar photovoltaic (PV) and wind turbines (WT). This study measures the amount of energy produced by the hybrid from PV/WT for 24 hours/day for a full year. The weather in Indonesia changes every day, with this change, the energy produced by PV/WT hybrids also changes. Data collection was carried out in the city of Malang, Indonesia.

The results showed that there are two seasons, namely the dry season and the rainy season. The dry season is from May to October and the rainy season is from November to April. Between the two seasons there is a transition period, namely May and November. Transition time is a month whose weather follows the dry season and the rainy season. The results of research using PV energy generators of 100 WP and 500 Watt WT show that there is a significant effect on the energy produced by PV/WT hybrids between the dry season and the rainy season. The total energy in the dry season is 78.296 Wh and in the rainy season it is 43,790 Wh. The energy ratio of the dry season to the rainy season is 1.7:1. Total energy every month in the dry season is between 11,242 Wh to 14,174 Wh and for the rainy season is between 5,821 Wh to 10,677 Wh. The ratio of the highest to the lowest monthly energy is 2.4:1. The total energy per day in one year is between 88 Wh to 477 Wh. The daily energy ratio from the highest to the lowest is 5.4:1.

This research data is very important because energy data for one year can be used as a reference and basis for designing hybrid PV/WT energy plants. This can be used as a basis for designing loads that match the generator capacity for a period of one year and also designing the capacity requirements of energy storage devices. The results of this study can also be used by other countries that have seasons such as Indonesia.

**Keywords:** hybrid photovoltaic and wind turbines, photovoltaic energy wind turbines energy, dry season, rainy season.

## References

- Antunes Campos, R., Rafael do Nascimento, L., R ther, R. (2020). The complementary nature between wind and photovoltaic generation in Brazil and the role of energy storage in utility-scale hybrid power plants. *Energy Conversion and Management*, 221, 113160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113160>
- Pettongkam, W., Roynarin, W., Intholo, D. (2018). Investigation of PV and Wind Hybrid System for Building Rooftop. *International Energy Journal*, 18 (4), 331–352. Available at: <http://www.ericjournal.ait.ac.th/index.php/eric/article/view/1841/703>



3. Al Qaisi, Z., Alsafasfeh, Q., Harb, A. (2018). Stability impact of integrated small scale hybrid (PV/Wind) system with electric distribution network. *AIMS Energy*, 6 (5), 832–845. doi: <https://doi.org/10.3934/energy.2018.5.832>
4. Yanto, Rajagopalan, B., Zagana, E. (2016). Space-time variability of Indonesian rainfall at inter-annual and multi-decadal time scales. *Climate Dynamics*, 47 (9-10), 2975–2989. doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3008-8>
5. Aziz, A. S. et al. (2018). Feasibility analysis of PV/wind/battery hybrid power generation: A case study. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8 (2). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i2.6949.g7356>
6. Alrwashdeh, S. S. (2018). Assessment of Photovoltaic Energy Production at Different Locations in Jordan. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8 (2). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i2.7337.g7368>
7. Sánchez, N. C., Sánchez, O. J. M. (2021). A study of the estimation of the photovoltaic potential at the urban level in tropical complex terrain. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (3). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i3.12106.g8236>
8. Langer, J., Quist, J., Blok, K. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. *Energies*, 14 (21), 7033. doi: <https://doi.org/10.3390/en14217033>
9. Junus, M., Marjono, M., Aulanni'am, A., Wahyudi, S. (2021). Technoeconomic Study of Hybrid Energy Systems for Use in Public Buildings in Malang, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (4). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i4.12340.g8336>
10. Tawfik, E. Shenawy, E., Ghetany, H. E. E. (2021). Effect of Dust Accumulation on the Performance of PV Modules under Cairo Climate Conditions. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (3). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i3.12266.g8266>
11. Ermanto, R. P. (2020). Hybrid Renewable Energy System Analysis for Indonesia's New Capital City Electrification. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Available at: [https://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc\\_2020/Ermanto.pdf](https://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2020/Ermanto.pdf)
12. Tarigan, E. (2018). Simulation and Feasibility Studies of Rooftop PV System for University Campus Buildings in Surabaya, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8 (2). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i2.7547.g7377>
13. Kanata, S., Baqaruzi, S., Muhtar, A., Prasetyawan, P., Winata, T. (2021). Optimal Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER in Sebesi Island, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (4). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i4.12296.g8303>
14. Nakashydzhe, L. V., Hilorme, T. V. (2015). Energy security assessment when introducing renewable energy technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (76)), 54–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46577>
15. Kozlov, I., Kovalchuk, V., Klymchuk, O., Dorozh, O., Sigal, A., Aksyonova, I., Elkin, Y. (2022). Assessing the region's energy provision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255740>
16. Dewanti, B. S. D., Adesta, E. Y. T., Ismail, A. F. bin. (2022). Application of TRIZ to modify oven drying for SMEs to maintain the eugenol content in dried cloves. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 47–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253884>
17. Maklad, Y. (2014). Sizing and Costing Optimisation of a Typical Wind/PV Hybrid Electricity Generation System for a Typical Residential Building in Urban Armidale NSW, Australia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4 (2), 163–168. Available at: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/691>
18. Yin, P.-Y., Cheng, C.-Y., Chen, H.-M., Wu, T.-H. (2020). Risk-aware optimal planning for a hybrid wind-solar farm. *Renewable Energy*, 157, 290–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.003>
19. Amole, A. O., Akinyele, D. O., Olabode, O. E., Idogun, O., Adeyeye, A. O., Olarotimi, B. S. (2021). Comparative Analysis of Techno-Environmental Design of Wind and Solar Energy for Sustainable Telecommunications Systems in Different Regions of Nigeria. (*International Journal of Renewable Energy Research*). doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i4.12524.g8329>
20. Solomon A. A, Child, M., Calderam U., Breyer, C. (2020). Exploiting wind-solar resource complementarity to reduce energy storage need. *AIMS Energy*, 8 (5), 749–770. doi: <https://doi.org/10.3934/energy.2020.5.749>
21. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255451>
22. Nguyen, T.-T., Boström, T. (2021). Multiobjective Optimization of a Hybrid Wind/Solar Battery Energy System in the Arctic. *Journal of Renewable Energy*, 2021, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/8829561>
23. Budanov, P., Kyrsov, I., Brovko, K., Rudenko, D., Vasiuchenko, P., Nosyk, A. (2021). Development of a solar element model using the method of fractal geometry theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (111)), 75–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235882>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266256**

**DESIGN AND PERFORMANCE STUDY OF A DUAL-AXIS SOLAR TRACKER SYSTEM FOR THE CLIMATE OF EASTERN LIBYA (p. 79–88)**

**Ali Najim Abdullah Saieed**

Al-Rafidain University College-Baghdad, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8115-1529>

**Monaem Elmnifi**

Bright Star University, Brega, Libya

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4074-1877>

**Abdalla Saad Ahmed Eltawati**

Waha Oil Company, Benghazi, Libya

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6738-8113>

**Salem E Salem Elzwa**

Higher Institute of Comprehensive Professions Ajdabiya, Ajdabiya, Libya

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9753-6092>

**Yasir Ali Mezaal**

Al-Farahidi University, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4066-953X>

**Laith Jaafer Habeeb**

University of Technology, Baghdad, Iraq

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

Fossil fuels are non-renewable, finite, and exhausting. Therefore, it is necessary to find alternative sources of energy. Solar energy is abundant in nature, so it can be considered as the best alternative to meet the energy demand. It is sustainable, renewable, and scalable. Increasing the efficiency of harnessing solar energy should be one of our top concerns because it is a renewable resource. The challenge in utilizing this energy is to increase efficiency as well as reduce production costs. So, a dual-axis solar tracker was developed in this study to ensure that the tracked solar cells create more electrical energy than stationary solar cells, improving the performance of the solar panels

and expanding their ability to make the most of the solar radiation. The experiment yielded great results. Due to its constant exposure to sunlight, the temperature of the mobile cell is higher than that of the stationary cell. The radiation intensity of the tracked cell is more than that of the fixed cell. The radiation intensity for the traced cell is more than that of the fixed cell and peaks at 1282 W/m<sup>2</sup> on September 10 and 1028 W/m<sup>3</sup> on September 11. For day 10, there was a daily rate of rise in radiation intensity on the tracker cell of 42 % compared to the fixed. Day 11 saw a difference of 210 W/m<sup>2</sup>/h, or 61 percent. The results are almost same from midday until dusk. During the day, the tension in the vacuum is somewhat different for stationary cells and tracking cells, with the value of the tracker being marginally lower than the fixed value. The increased temperature in the cell caused by more solar radiation and a warmer environment is thought to be the reason for the lower energy gain in the tracker.

**Keywords:** solar tracker, light dependent resistor (LDR), Arduino, solar cells, dual-axis.

### References

- Atallah, F. S., Mahmood, Yaseen. H. H., Tawfeeq, S. S. . (2018). Fabrication and study of solar panel tracking system. *Tikrit Journal of Pure Science*, 23 (1), 123–127. doi: <https://doi.org/10.25130/tjps.23.2018.017>
- Jamroen, C., Komkum, P., Kohsri, S., Himananto, W., Panupintu, S., Unkat, S. (2020). A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100618>
- Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J., López-Luque, R., Varo-Martínez, M., Moreno-García, I. M., Casares de la Torre, F. (2020). A novel backtracking approach for two-axis solar PV tracking plants. *Renewable Energy*, 145, 1214–1221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.062>
- Dold, R. H. (2007). Literature review, no. 0215199, 11.
- Rizk, J. C. A. Y., Chaiko, Y. (2008). Solar tracking system: more efficient use of solar panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 41, 313–315.
- Barsoum, N., Vasant, P. (2010). Simplified solar tracking prototype. *Global Journal of Technology and Optimization GJTO*, 1, 38–45.
- Kancevica, L., Putans, H., Ziemelis, I. (2012). The tracking system for solar collectors with reflectors. In *Proceeding of the International Scientific Conference on Renewable Energy and Energy Efficiency. Jelgava*, 190–195.
- Racharla, S., Rajan, K. (2017). Solar tracking system – a review. *International journal of sustainable engineering*, 10 (2), 72–81.
- Rubio, F. R., Ortega, M. G., Gordillo, F., López-Martínez, M. (2007). Application of new control strategy for sun tracking. *Energy Conversion and Management*, 48 (7), 2174–2184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.12.020>
- Amadi, H. N., Gutierrez, S. (2019). Design and Performance Evaluation of a Dual-Axis Solar Tracking System for Rural Applications. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 3 (1). doi: <https://doi.org/10.24018/ejece.2019.3.1.52>
- Nguyen, B. T., Ho, H.-X. T. (2020). Design, Implementation and Performance Analysis of a Dual Axis Solar Tracking System. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5 (3), 41–45. doi: <https://doi.org/10.25046/aj050306>
- Sumathi, V., Jayapragash, R., Bakshi, A., Kumar Akella, P. (2017). Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 130–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.013>
- Peter, J. N., Kanyarusoke, K. E. (2019, March). Design optimization of pillar-mounted sun tracking solar-water purifiers for large households. 2019 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), IEEE, 169–175.
- Tsoy, A., Titlov, O., Granovskiy, A., Koretskiy, D., Vorobyova, O., Tsoy, D., Jamasheva, R. (2022). Improvement of refrigerating machine energy efficiency through radiative removal of condensation heat. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (115)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251834>
- Elmnifi, M., Moria, H., Elbreki, A. M., Abdulrazig, O. D. (2021). Possibilities Study of Using Hybrid Solar Collectors in Northeastern Libya Residential Home. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11 (2), 654–661. doi: <https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i2.11938.g8186>
- Safaripour, M. H., Mehrabian, M. A. (2011). Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data. *Heat and Mass Transfer*, 47 (12), 1537–1551. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-011-0814-8>
- Jamil, B., Akhtar, N. (2017). Comparison of empirical models to estimate monthly mean diffuse solar radiation from measured data: Case study for humid-subtropical climatic region of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 1326–1342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.057>
- Bakirci, K. (2012). The Calculation of Diffuse Radiation on a Horizontal Surface for Solar Energy Applications. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34 (10), 887–898. doi: <https://doi.org/10.1080/15567031003699525>
- Nakashydzhe, L. V., Hilorme, T. V. (2015). Energy security assessment when introducing renewable energy technologies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (76)), 54–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46577>
- Kobeyeva, Z., Khussanov, A., Atamanyuk, V., Hnativ, Z., Kaldybayeva, B., Janabayev, D., Gnylianska, L. (2022). Analyzing the kinetics in the filtration drying of crushed cotton stalks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (115)), 55–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252352>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265798

**НЕЙТРОННИЙ АНАЛІЗ НА РІДКОСОЛЬОВОМУ РЕАКТОРІ FUJI-12 З ВИКОРИСТАННЯМ  $^{235}\text{U}$  В ЯКОСТІ ПОДІЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ В ПАЛИВІ  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$  (с. 6–12)**

Ahmad Muzaki Mabruhi, Ratna Dewi Syarifah, Indarta Kuncoro Aji, Zein Hanifah, Artoto Arkundato, Gaguk Jatisukamto

Проведено нейтронний аналіз на рідкосольовому реакторі FUJI-12 з використанням подільного матеріалу  $^{235}\text{U}$  в  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$ . Проблема, що виникає при використанні палива на основі торію, полягає в обмеженій кількості  $^{233}\text{U}$  та його недоступності в природі.  $^{233}\text{U}$  був отриманий в результаті відтворення  $^{232}\text{Th}$  вартістю \$46 млн/кг. Це дуже висока ціна в порівнянні зі збагаченням  $^{235}\text{U}$ , яка становить всього \$100/кг. РСР FUJI-12, що використовується в даному дослідженні, являє собою реактор IV покоління з сумішню рідкого сольового палива  $\text{LiF-BeF}_2\text{-ThF}_4\text{-UF}_4$  і палива на основі торію ( $^{232}\text{Th}+^{233}\text{U}$ ). Нейтронний аналіз проводився із заміною палива на основі торію паливом на основі урану ( $^{235}\text{U}+^{238}\text{U}$ ). Нейтронний аналіз виконаний з використанням коду OpenMC 0.13.0, який являє собою код нейтронного аналізу на основі моделювання методом Монте-Карло. Для нейтронних обчислень застосовувалася бібліотека ядерних даних ENDF B-VII/1. Паливо використовується у вигляді суміші розплавлених солей  $\text{LiF-BeF}_2\text{-UF}_4$  з трьома евтектичними складами: паливо № 1, паливо № 2 та паливо № 3. Кожен паливний склад оптимізований шляхом збагачення  $^{235}\text{U}$  в  $\text{UF}_4$  на 3–8 %. Результати оптимізації показують стабільність значення критичності реактора, яка є основним параметром, що забезпечує роботу реактора протягом заданого часу. Результати оптимізації показують, що паливо № 1 не може досягти свого оптимального стану при кожному варіанті збагачення  $^{235}\text{U}$ . Паливо № 2 та паливо № 3 можуть досягати оптимальних умов при мінімальному збагаченні 8 % і 7 %  $^{235}\text{U}$ . Результати аналізу розподілу нейтронного потоку в активній зоні реактора показують розподіл ядерних реакцій, що протікають в активній зоні. Розподіл значень потоку в паливі № 1 показує, що ланцюгова реакція поділу протікає не ідеально. Паливо № 2 і паливо № 3 більш стабільні за рахунок підтримки максимального потоку в центрі активної зони реактора.

**Ключові слова:** рідкосольовий реактор, OpenMC, фторид урану, фторид торію, нейтронний потік.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265068

**ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА СТРУМУ ПРИ ЗНИЖЕНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ВУЗЛА ОБЛІКУ (с. 13–20)**

К. С. Василюк, В. П. Квасніков, С. В. Василюк

Об'єктом дослідження є вимірювальний трансформатор струму електромагнітного типу, який використовується у складі вузла обліку електроенергії. Функціонування трансформаторів струму в режимі зниженого первинного струму супроводжується суттєвими похибками. Існування такого режиму протягом тривалого часу через прості виробничого обладнання призводить до суттєвого недообліку електроенергії. В умовах значного підвищення вартості електроенергії в багатьох країнах це призводить до невіправданих фінансових витрат енергопостачальних компаній. Статична характеристика вимірювального трансформатора струму при зниженому навантаженні вузла обліку описана лінійною статистичною моделлю. Параметри моделі оцінені на основі емпіричних даних з використанням методів коваріаційного аналізу. Адекватність моделі підтверджена шляхом аналізу регресійних залишків. Отримана статистична модель статичної характеристики, на відміну від відомих, характеризується універсальністю, оскільки описує трансформатори струму з довільним коефіцієнтом трансформації в межах досліджуваного класу точності 0,5S. З використанням інтервалів прогнозування для вторинних струмів трансформаторів в функції первинних струмів, що обчислені на основі одержаної моделі, оцінено невизначеність струмової похибки. Застосування запропонованого підходу до оцінювання невизначеності струмової похибки при зниженому навантаженні вузла обліку дало можливість одержати інтервали прогнозування для вибірових величин такої похибки. Встановлено, що струмова похибка може досягати –20 %. Врахування вказаних інтервалів для вимірювальних трансформаторів струму при зниженому навантаженні вузла обліку під час формування рахунків дозволить енергопостачальним компаніям підвищити точність комерційного обліку електроенергії.

**Ключові слова:** трансформатор струму, статична характеристика, струмова похибка, знижене навантаження, лінія регресії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265749

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ (с. 21–30)**

П. Д. Лежнюк, О. Б. Бурикін, В. В. Кулик, Ю. В. Малогулко, А. Л. Поліщук, А. В. Ситник

Одним із інструментів підтвердження походження електроенергії, що продається на роздрібному ринку є, так звані, Гарантії походження. Вони є основою для розрахунків викидів парникових газів та звітування щодо викидів вуглецю і є найбільш затребуваним європейськими підприємствами. Об'єктом дослідження є механізм маркування гарантій походження електроенергії у електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії з урахуванням їх розміщення та схем приєднання до електромереж.

Наявні рішення для маркування електроенергії на основі сертифікатів Гарантії походження мають низку проблем. Вони часто не точно відображають викиди вуглецю, не забезпечують прозорості та можливості перевірки для кінцевих споживачів оскільки не враховують фізичні процеси передавання електроенергії у системі маркування.

Для вирішення цієї проблеми розроблено метод, який дає змогу виділяти з потоку енергії у кожній електропередачі складову, що зумовлена кожним приєднаним джерелом енергії. Як наслідок, визначається частка навантаження кожного вузла електричної

мережі, що постачається певним джерелом електроенергії. Для врахування нелінійності співвідношення між напругами у вузлах електричних мереж та потоками в електропередачах використовується шматково-лінійна апроксимація.

Вдосконалено алгоритм випуску гарантій походження електроенергії. В ньому враховано не лише показники балансу електроенергії, а й результати оцінювання обсягів електропостачання кожного споживача з відновлюваних джерел. Таким чином, обсяги продажу гарантій походження обмежуються в залежності від розміщення споживачів та приєднання їх до електромереж. Спрямування надходжень від продажу гарантій походження до гарантів «зелених» субсидій забезпечить їм додаткову фінансову підтримку для компенсації витрат по «зеленому» тарифу.

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, гарантії походження, вуглецеве регулювання, зелений тариф, блокчейн.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266213

### ВИЯВ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ЗАПОБІЖНИКІВ ТЕСЛА У СПИРАЛЬНОМУ КОЛЕКТОРІ НА ПРЯМУ І ЗВОРОТНУ ТЕПЛОВІДДАЧУ (с. 31–36)

Hasan Shakir Majdi, Mustafa Abdul Salam Altalib, Ali Najim Abdullah Saiced, Waleed AbdulMunem Abbas, Omar Talal Hamid, Hussein Alawai Ibrahim Al-Saaidi

У цьому дослідженні була проведена робота над клапаном Тесла зі спіральною та тривимірною формою, де використовувалась різна кількість цих каналів, а також турбіна з прямим та зворотним потоком для порівняння змін, які отримують величину тиску та температури. Згідно з концепцією технології передачі теплової енергії в різних теплообмінниках виникла потреба у розробці таких технологій, які підвищують передачу цієї енергії, що передбачає необхідність аналізу винаходів, які сприяли розвитку системи теплопередачі та трьох енергетичних законів. Вони сприяли розвитку деяких механічних систем, де клапан Тесла вважається одним із клапанів, що має два напрями потоку, перший – прямий, в якому значення тиску низьке, а інший – зворотний, де виникає порушення руху через напрям каналу, в якому його можна використовувати. Ця концепція може бути використана для покращення теплопередачі.

Дослідження показало, що збільшення кількості каналів позитивно впливає на тиск і таким чином дає більше виходів для проходження води. У разі чотирьох каналів була отримана температура на виході 304,14 К, що є найвищою температурою, яка досягається у випадках, коли напрямок потоку прямий. У випадку, коли канал є чотирикутником, значення тиску досягало 209 Па. Ці дані корисні та важливі, оскільки показник прямого виходу досяг 305,74 К для клапанів Тесла, які спроектовані таким чином, щоб дати достатньо часу для передачі тепла воді. Основним принципом клапана Тесла є зворотний напрямок, який перешкоджає руху рідини і таким чином збільшує тиск і знижує швидкість потоку.

**Ключові слова:** тесла-клапан, COMSOL multiphysics, контур природної циркуляції, тепломасоперенесення.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.263263

### РОЗРОБКА ОЛОВО-МІДНИХ СПЛАВІВ В КОРПУСНО-ТРУБНИХ ТЕПЛОБІМНИХ СИСТЕМАХ КОНВЕРСНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ОКЕАНІЧНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ (с. 37–52)

Mawardi, Basuki Wirjosentono, Himsar Ambarita, Jaswar Koto

Було проведено тематичне дослідження виробництва заводу ОТЕК на плавучому кораблі з використанням титанового матеріалу потужністю 100 МВт. Зважаючи на досить високу ціну такого виробництва, досліджувалася система ОТЕК із використанням мідно-оловяного сплаву. Досліджено поведінку мідно-оловяного теплообмінника моделюванням Aspen Plus та моделюванням обчислювальної гідродинаміки (CFD) на кожухотрубних випарниках з фіксованою кришкою з розділеним потоком та фіксованою кришкою з однопрохідним кожухом (ВЕМ). Передбачається, що різниця температур води на рівні моря 29 °С та води на глибині 1000 метрів при температурі 5 °С призводить до вироблення електроенергії. Морська електростанція із перетворенням теплової енергії є безперервним джерелом енергії, що отримується з природи. Теплообмінник випарника з робочою рідиною на основі аміаку вироблятиме енергію, яка може приводити в дію турбіну, що спрямовується на генератор. Результати моделювання CFD теплообмінника фіксованого типу з розділеним потоком із кришкою на вході гарячої води мають температуру 29,9 °С, на виході з кожуха випарника температура знижується до 26,4 °С. На вході робоча рідина аміаку надходить у випарник із температурою 7,9 °С, а на виході з трубки температура підвищується до 26,3 °С. Найкращі результати моделювання теплообмінника Aspen Plus типу ВЕМ досягнуті при температурі на вході аміаку 8 °С та CFD 7,99 °С. На виході аміаку при 28 °С і при моделюванні CFD температура аміаку на виході становила 28,21 °С. Температура опалювальної води на вході Aspen Plus становить 30 °С, а при моделюванні CFD температура становить 29,99 °С. Водночас температура води на виході системи опалення становить 28 °С, а в моделюванні CFD температура води на виході системи опалення становить 28,15 °С. За результатами моделювання можна дійти висновку, що теплообмінник типу ВЕМ дуже хороший і підходить для експериментального прототипування.

**Ключові слова:** ОТЕК, ORC, джерела енергії, що відновлюються, CFD-моделювання, кожухотрубний теплообмінник, температура забортної води, замкнутий цикл, мідно-оловяний сплав.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265803

### ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА З БІОМАСИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМБІНОВАНОГО РЕГЕНЕРАТИВНОГО ТЕПЛОБІМНИКА В ЯКОСТІ ПАЛЬНИКА З НЕПРЯМИМ НАГРІВАННЯМ (с. 53–61)

Alwingsyah Tunggul Ismail, Ismail, Reza Abdu Rahman

В даному дослідженні розроблена система непрямого спалювання твердого палива з біомаси. Розробка мотивована необхідністю вирішення проблеми, пов'язаної із системою прямого спалювання, а саме утворення шлаків та високий рівень викидів

забруднюючих речовин внаслідок процесу високотемпературного горіння. Таким чином, очікується, що використання пального з непрямим нагріванням дозволить підвищити надійність процесу спалювання твердої біомаси. Він також може бути використаний для зниження витрати вугілля за рахунок застосування пального з непрямим нагріванням, у якому робоча рідина досягає відносно більш високої температури перед надходженням у котел. Під час розробки використовувався метод перших принципів створення регенеративного теплообмінника. Регенератор складається з кожухотрубного та змійовикового теплообмінників. У випробуванні використовувалося тверде паливо з біомаси для процесу спалювання, при якому робоча рідина спочатку надходить у кожухотрубний теплообмінник, а потім в змійовиковий. В результаті кожух поглинає достатньо тепла з камери згоряння з максимальним підвищенням температури в  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Потім тепла вода з кожуха надходить у змійовик всередині камери згоряння. Як наслідок, максимальна температура змійовика становить  $84,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Інтенсивність теплопередачі для змійовика і кожуха становить  $57,2\text{--}85,6$  та  $124,9\text{--}141,5$  Вт. Ключовим висновком є те, що комбінований регенеративний теплообмінник дозволяє забезпечити більш високу інтенсивність теплопередачі. Це може бути досягнуто за рахунок того, що в теплообміннику використовується однаковий розподіл потоку, збільшуючи середню різницю температур на вході. Таким чином, він може забезпечити середню інтенсивність теплопередачі  $210,5$  Вт. Отже, споживання енергії для вугілля або інших викопних видів палива може бути значно знижено. Отримані дані можуть бути використані для подальшого вдосконалення існуючої котельної системи і сприяти підвищенню теплової ефективності системи.

**Ключові слова:** біомаса, паливо з непрямим нагріванням, регенеративний теплообмінник, регенератор, кожухотрубний теплообмінник.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.264227

#### РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАГРІВАННЯ РІДИНИ (с. 62–69)

Bekbolat Nussupbekov, Yerlan Oshanov, Michael Ovcharov, Elmira Mussenova, Didar Ospanova, Madina Bolatbekova

Робота присвячена вивченню параметрів установки для нагрівання теплоносія за допомогою продавлювання рідини через дросельні отвори. Розроблено схему повнорозмірного експериментального стенду та детально описано принципи його роботи. Для візуального спостереження за станом рідини при різних кутових швидкостях ротора виготовлена прозора модель барабана. Визначено вплив форми юбки ротора та глибини її занурення в рідину на заповнюючу здатність порожнини ротора при кутовій швидкості від  $42$  до  $314$  рад/с. Отримано оптимальні параметри глибини занурення юбки барабана діаметром  $0,5$  м в рідину при малих швидкостях ротора  $16, 24, 32$  рад/с. Розрахований кут нахилу та експериментально доведено, що для конічної форми він дорівнює  $5$  градусам. Встановлено, що при кутових швидкостях ротора більше  $100$  рад/с форма і глибина занурення юбки в рідину не впливають на заповнення ротора, оскільки подача вище, ніж її витрата через дросельні отвори. Показано, що використання обертальних сил для нагрівання рідини дозволяє використовувати електродвигун з меншою потужністю, оскільки вона витрачається тільки на розкручування ротора з рідиною. Отримано розрахункову залежність тиску рідини на бічних стінках ротора, температури нагрівання рідини від кутової швидкості ротора та від двох значень площі дросельних отворів, що становлять  $31,4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup> та  $64,34 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. При збільшенні загальної площі дросельних отворів удвічі температура нагрівання рідини при тих же кутових швидкостях збільшується з  $35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $82,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вищевказані параметри установки дозволяють отримувати гарячу воду при використанні невеликих кожухотрубних теплообмінників.

**Ключові слова:** установка, сили інерції, дроселювання, тиск, температура, ротор, нагрівання рідини, насос, барабан.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266082

#### АНАЛІЗ ВПЛИВУ СЕЗОНУ НА ЕНЕРГІЮ ЗГЕНЕРОВАНУ ГІБРИДНИМИ ФЕ/ВТ У МАЛАНГУ, ІНДОНЕЗІЯ (с. 70–78)

Bambang Irawan, Wirawan, Beauty Anggraheny Ikawanty, Akhsanu Takwim

Це дослідження присвячене впливу сезонів на енергію, що виробляється гібридними сонячними фотоелектричними (ФЕ) та вітряними турбінами (ВТ). У цьому дослідженні вимірюється кількість енергії, виробленої гібридом ФЕ/ВТ протягом 24 годин на день увесь рік. Погода в Індонезії змінюється кожного дня, водночас змінюється енергія, що виробляється гібридами ФЕ/ВТ. Збір даних проводився у місті Маланг, Індонезія.

Результати показали, що існує два сезони, а саме сухий сезон та сезон дощів. Сухий сезон триває з травня до жовтня, а сезон дощів — з листопада до квітня. Між двома сезонами є перехідний період, а саме травень та листопад. Перехідний час — це місяць, погода якого слідує за сухим сезоном та сезоном дощів. Результати досліджень з використанням фотоелектричних генераторів потужністю  $100$  Вт та  $500$  Вт ВТ показують, що існує значний вплив на енергію, що виробляється гібридами ФЕ/ВТ, між посушливим сезоном та сезоном дощів. Загальна енергія у сухий сезон становить  $78,296$  Вт год, а в сезон дощів —  $43\,790$  Вт год. Співвідношення енергії посушливого сезону до сезону дощів становить  $1,7:1$ . Сумарна енергія щомісяця у сухий сезон становить від  $11\,242$  Вт год до  $14\,174$  Вт год, а в сезон дощів — від  $5\,821$  Вт год до  $10\,677$  Вт год. Співвідношення максимальної та мінімальної місячної енергії становить  $2,4:1$ . Повна енергія щодня протягом року становить від  $88$  Вт год до  $477$  Вт год. Співвідношення денної енергії від найвищого до найнижчого становить  $5,4:1$ .

Ці дані дуже важливі, оскільки дані про енергоспоживання за один рік можна використовувати як довідкову інформацію та основу для проектування гібридних електростанцій ФЕ/ВТ. Це може бути використане як основа для розрахунку навантажень, що відповідають потужності генератора, на період в один рік, а також для розрахунку вимог до потужності пристроїв накопичення енергії. Результати цього дослідження також можуть бути використані в інших країнах, де є пори року, наприклад в Індонезії.

**Ключові слова:** гібридні фотоелектричні та вітряні турбіни, фотоелектрична енергія, енергія вітряних турбін, сухий сезон, сезон дощів.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266256

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОВІСНОЇ СОНЯЧНОЇ ТРЕКЕРНОЇ СИСТЕМИ  
ДЛЯ КЛІМАТУ СХІДНОЇ ЛІВІЇ (с. 79–88)**

**Ali Najim Abdullah Saiced, Monaem Elmnifi, Abdalla Saad Ahmed Eltawati, Salem E Salem Elzwa, Yasir Ali Mezaal,  
Laith Jaifer Habeeb**

Викопні види палива є невідновлюваними, кінцевими та такими, що виснажуються. Тому потрібно шукати альтернативні джерела енергії. Сонячна енергія рясніє в природі, тому її можна розглядати як найкращу альтернативу для задоволення попиту на енергію. Вона є стійкою, відновлюваною та масштабованою. Підвищення ефективності використання сонячної енергії має бути одним із наших головних завдань, оскільки це відновлюваний ресурс. Завдання використання цієї енергії полягає в тому, щоб підвищити ефективність, і навіть знизити виробничі витрати. Отже, в цьому дослідженні був розроблений двовісний сонячний трекер, щоб гарантувати, що сонячні елементи, що відстежуються, виробляють більше електроенергії, ніж стаціонарні сонячні елементи, покращуючи продуктивність сонячних панелей і розширюючи їх здатність максимально використовувати сонячне випромінювання. Експеримент дав чудові результати. Через постійну дію сонячного світла температура рухомого осередку вище, ніж у стаціонарного. Інтенсивність випромінювання комірки, що відстежується, більша, ніж у фіксованої комірки. Інтенсивність випромінювання для простеженого осередку більша, ніж для фіксованого осередку, і досягає максимуму  $1282 \text{ Вт/м}^2$  10 вересня і  $1028 \text{ Вт/м}^2$  11 вересня. Трекерний осередок на 42 % порівняно з фіксованим. На 11 день різниця склала  $210 \text{ Вт/м}^2/\text{год}$ , або 61 відсоток. Результати практично однакові з полудня до заходу сонця. Протягом дня напрута у вакуумі дещо відрізняється для стаціонарних осередків та осередків стеження, при цьому значення трекера трохи нижче фіксованого значення. Підвищена температура в осередку, що викликана великою кількістю сонячного випромінювання та більш теплим навколишнім середовищем, вважається причиною нижчого приросту енергії в трекері.

**Ключові слова:** сонячний трекер, світлозалежний резистор, Arduino, сонячні елементи, двовісний.