

## ABSTRACT AND REFERENCES

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282830

**DUAL FUZZY LOGIC PID CONTROLLER BASED REGULATING OF DC MOTOR SPEED CONTROL WITH OPTIMIZATION USING HARMONY SEARCH ALGORITHM (p. 6–14)****Salam Ibrahim Khather**

Ninevah University, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9082-2360>**Muhammed Abduljaleel Ibrahim**

Ninevah University, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-1245>**Mustafa Hussein Ibrahim**

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9950-6524>

This paper discusses the implementation of a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller for regulating the speed of a closed loop four quadrant chopper fed DC motor. The PID controller is combined with a Dual Fuzzy Logic Controller to form a DFPID controller for enhancing the performance of speed control of the DC motor. The DFLC is optimized using a metaheuristic algorithm known as Harmony Search Algorithm (HSA). The major aim of this research is to gain an effective control over the speed of the motor in the closed loop environment. For achieving this, the parameters for the DFPID are selected through time domain analysis which aims to satisfy the requisites such as settling time and peak overshoot. Initially, the fuzzy logic controller in the DFPID controls the coefficients of the PID achievement gain an effective control over the system error and rate of error change. Further, the DFPID is improved by the HAS for obtaining a precise correction. The solutions obtained by tuning the DFPID controller are evaluated from simulation analysis conducted on a MATLAB/SIMULINK platform. The closed loop performance is analyzed in both time and frequency domain analysis and the performance of DFPID is optimized using the HSA algorithm to obtain precise value of the control process. As observed from the Simulation analysis, the DFPID-HSA generates optimized control signals to the DC motor for controlling the speed. The performance of the intended speed control approach is analyzed in terms of different evaluation metrics such as motor speed, torque and armature current. Experimental outcomes show that the proposed approach achieves better control performance and faster speed of DC motor compared to conventional PID controllers and SMC controllers.

**Keywords:** PID controller, dc motor, dual fuzzy logic controller, sliding mode control, optimization.

**References**

- Barinov, I. A., Melnichenko, O. V. (2019). Power IGBTs Application in AC-Wire DC-Motor Locomotive Thyristor-Based Power Circuit for Regenerative Brake Energy Efficiency Increase. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). doi: <https://doi.org/10.1109/icieam.2019.8742933>
- Malafeev, S. I., Zakharov, A. V., Safronenkov, Yu. A. (2019). A New Series of Asynchronous Frequency-Controlled Motors for Mining Excavators. Russian Electrical Engineering, 90 (4), 299–303. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068371219040060>
- Das, D., Kumaresan, N., Nayanar, V., Navin Sam, K., Ammasai Gounden, N. (2016). Development of BLDC Motor-Based Elevator System Suitable for DC Microgrid. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 21 (3), 1552–1560. doi: <https://doi.org/10.1109/tmech.2015.2506818>
- Tamir, T. S., Xiong, G., Shen, Z., Gong, X., Liu, S., Lodhi, E. et al. (2020). Comparative Study of Four Speed Controllers of Brushless DC Motors for Industrial Applications. IFAC-PapersOnLine, 53 (5), 59–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.04.124>
- Lee, S., Baek, S.-W. (2019). A study on the improvement of the cam phase control performance of an electric continuous variable valve timing system using a cycloid reducer and BLDC motor. Microsystem Technologies, 26 (1), 59–70. doi: <https://doi.org/10.1007/s00542-019-04411-5>
- Guerra, R. H., Quiza, R., Villalonga, A., Arenas, J., Castano, F. (2019). Digital Twin-Based Optimization for Ultraprecision Motion Systems With Backlash and Friction. IEEE Access, 7, 93462–93472. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2928141>
- Barkas, D. A., Ioannidis, G. C., Psomopoulos, C. S., Kaminaris, S. D., Vokas, G. A. (2020). Brushed DC Motor Drives for Industrial and Automobile Applications with Emphasis on Control Techniques: A Comprehensive Review. Electronics, 9 (6), 887. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9060887>
- Khanam, I., Parmar, G. (2017). Application of SFS algorithm in control of DC motor and comparative analysis. 2017 4<sup>th</sup> IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON). doi: <https://doi.org/10.1109/upcon.2017.8251057>
- Joseph Godfrey, A., Sankaranarayanan, V. (2018). A new electric braking system with energy regeneration for a BLDC motor driven electric vehicle. Engineering Science and Technology, an International Journal, 21 (4), 704–713. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestech.2018.05.003>
- Feng, J., Liu, K., Wang, Q. (2018). Scheme based on buck-converter with three-phase H-bridge combinations for high-speed BLDC motors in aerospace applications. IET Electric Power Applications, 12 (3), 405–414. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2017.0615>
- Rakhonde, S., Kulkarni, V. (2018). Sliding Mode Controller (SMC) Governed Speed Control of DC Motor. 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). doi: <https://doi.org/10.1109/rteict42901.2018.9012572>
- Singh, S., Kosti, A. (2015). Comparative study of integer order PI-PD controller and fractional order PI-PD controller of a DC motor for speed and position control. International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications, 4 (2), 22–26. Available at: <http://www.ijeetc.com/uploadfile/2017/0731/20170731062931686.pdf>
- Yadav, V., Tayal, V. K. (2018). Optimal Controller Design for a DC Motor using PID Tuner. 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC). doi: <https://doi.org/10.1109/peeic.2018.8665658>
- Tang, W.-J., Liu, Z.-T., Wang, Q. (2017). DC motor speed control based on system identification and PID auto tuning. 2017 36<sup>th</sup> Chinese Control Conference (CCC). doi: <https://doi.org/10.23919/chicc.2017.8028376>
- Nishat, M. M., Faisal, F., Rahman, M., Hoque, M. A. (2019). Modeling and Design of a Fuzzy Logic Based PID Controller for DC Motor Speed Control in Different Loading Condition for Enhanced Performance. 2019 1<sup>st</sup> International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT). doi: <https://doi.org/10.1109/icasert.2019.8934559>

16. Mohamadwasel, N. B., Bayat, O. (2019). Improve DC motor system using fuzzy logic control by particle swarm optimization in use scale factors. *Int. J. Comput. Sci. Mob. Comput*, 8 (3), 152–160. Available at: <https://ijcsmc.com/docs/papers/March2019/V8I3201926.pdf>
17. Islam, M. T., Karim, S. R., Sutradhar, A., Miah, S. (2020). Fuzzy Logic and PID Controllers for DC Motor Using Genetic Algorithm. *International Journal of Control*, 10 (2), 37–41. Available at: <http://article.sapub.org/10.5923.j.control.20201002.03.html>
18. Singh, R., Kumar, A., Sharma, R. (2016). Fractional Order PID Control using Ant Colony Optimization. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). doi: <https://doi.org/10.1109/icpeices.2016.7853387>
19. A Mohammed Eltoum, M., Hussein, A., Abido, M. A. (2021). Hybrid Fuzzy Fractional-Order PID-Based Speed Control for Brushless DC Motor. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46 (10), 9423–9435. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05262-3>
20. Gobinath, S., Madheswaran, M. (2019). Deep perceptron neural network with fuzzy PID controller for speed control and stability analysis of BLDC motor. *Soft Computing*, 24 (13), 10161–10180. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04532-z>
21. Mu, S., Shibata, S., Yamamoto, T., Nakashima, S., Tanaka, K. (2019). Speed Control of Ultrasonic Motor using a Variable Gain Type PID Control Based on Neural Networks. *Proceedings of The 7<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2019*. doi: <https://doi.org/10.12792/icisip2019.020>
22. Dat, N. T., Kien, C. V., Anh, H. P. H. (2021). Optimal FOC-PID Parameters of BLDC Motor System Control Using Parallel PM-PSO Optimization Technique. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14 (1), 1142. doi: <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.210319.001>
23. Xie, W., Wang, J.-S., Wang, H.-B. (2019). PI Controller of Speed Regulation of Brushless DC Motor Based on Particle Swarm Optimization Algorithm with Improved Inertia Weights. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/2671792>
24. Kumarasamy, V., Ramasamy, V. K., Chinnaraj, G. (2021). Systematic design of multi-objective enhanced genetic algorithm optimized fractional order PID controller for sensorless brushless DC motor drive. *Circuit World*, 48 (4), 479–492. doi: <https://doi.org/10.1108/cw-07-2020-0137>
25. Shill, P. C., Akhand, M. A. H., Asaduzzaman, MD., Murase, K. (2015). Optimization of Fuzzy Logic Controllers with Rule Base Size Reduction using Genetic Algorithms. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14 (05), 1063–1092. doi: <https://doi.org/10.1142/s0219622015500273>
26. He, M., Zhang, T., Huang, J., Luo, C. (2020). Speed Control Study of Brushless DC motor Based on Fuzzy Optimization PID. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 768 (4), 042013. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/768/4/042013>
27. Yin, H., Yi, W., Wang, K., Guan, J., Wu, J. (2020). Research on brushless DC motor control system based on fuzzy parameter adaptive PI algorithm. *AIP Advances*, 10 (10). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0025000>
28. Premkumar, K., Manikandan, B. V. (2015). Fuzzy PID supervised online ANFIS based speed controller for brushless dc motor. *Neurocomputing*, 157, 76–90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.01.032>
29. Lotfy, A., Kaveh, M., Mosavi, M. R., Rahmati, A. R. (2020). An enhanced fuzzy controller based on improved genetic algorithm for speed control of DC motors. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 105 (2), 141–155. doi: <https://doi.org/10.1007/s10470-020-01599-9>
30. Qi, Z., Shi, Q., Zhang, H. (2020). Tuning of Digital PID Controllers Using Particle Swarm Optimization Algorithm for a CAN-Based DC Motor Subject to Stochastic Delays. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67 (7), 5637–5646. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2019.2934030>
31. Premkumar, K., Manikandan, B. V. (2016). Bat algorithm optimized fuzzy PD based speed controller for brushless direct current motor. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19 (2), 818–840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.11.004>
32. Hu, H., Wang, T., Zhao, S., Wang, C. (2019). Speed control of brushless direct current motor using a genetic algorithm-optimized fuzzy proportional integral differential controller. *Advances in Mechanical Engineering*, 11 (11), 168781401989019. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814019890199>
33. Li, H.-C., Zhou, K.-Q., Mo, L.-P., Zain, A. M., Qin, F. (2020). Weighted Fuzzy Production Rule Extraction Using Modified Harmony Search Algorithm and BP Neural Network Framework. *IEEE Access*, 8, 186620–186637. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3029966>
34. Fu, L., Zhu, H., Zhang, C., Ouyang, H., Li, S. (2021). Hybrid Harmony Search Differential Evolution Algorithm. *IEEE Access*, 9, 21532–21555. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3055530>
35. Goel, N., Chacko, S., Patel, R. N. (2020). PI Controller Tuning Based on Stochastic Optimization Technique for Performance Enhancement of DTC Induction Motor Drives. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 101 (6), 699–706. doi: <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00496-z>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286464**

**DETERMINING THE EFFICIENCY OF INSTALLING FIXED SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES AND MODULES WITH DIFFERENT TRACKING OPTIONS (p. 15–25)**

**Gennadii Golub**

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

**Nataliya Tsyvenkova**

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

**Oksana Yaremenko**

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

**Oleh Marus**

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

**Ivan Omarov**

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9449-853X>

**Anna Holubenko**

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5018-5312>

The object of this study is photovoltaic modules in various installation options. The physical model of the Earth's illumination by a parallel flow of solar rays has been refined. The dependence of the cosine of the angle of incidence of the Sun's rays on the angular length of the day, as well as the average annual efficiency of the installation of photovoltaic modules, both fixed and with various tracking options, was determined. Refinement of the physical model

implies determining the angle of inclination as the angle between the inclined axis of the Earth and its projection on a vertical plane, perpendicular to the line connecting the centers of the Earth and the Sun. This line passes through the center of the Earth. The concept of the average annual efficiency of the installation of photovoltaic modules is introduced as the annual weighted average value of the cosine of the angle of incidence of solar rays on the plane of the photovoltaic module. Various options for installing photovoltaic modules were analyzed: fixed horizontal on the equator; stationary, installed at an angle to the horizon; one that performs tracking in horizontal (vertical) planes; with full tracking. The efficiency of installing a photovoltaic module at each latitude can be equal to the efficiency of installing this module at the equator, that is, 47.93 % when installing the module at an angle of inclination to the horizon equal to the latitude. Tracking in the vertical plane makes it possible to increase the efficiency of the photovoltaic module installation by up to 50 %. Compared to full tracking, tracking in the horizontal plane at an angle of latitude makes it possible to obtain the efficiency of the installation of the photovoltaic module at the level of 97.93 %.

The results could be used as a basis for evaluating the efficiency of the installation of photovoltaic modules at different latitudes with different techniques of their installation, as well as for the subsequent generation of electricity.

**Keywords:** photovoltaic module, angle of incidence of solar rays, angle of inclination, angle of inclination to the horizon, efficiency of module installation.

## References

- Dib, M., Nejmi, A., Ramzi, M. (2020). New auxiliary services system in a transmission substation in the presence of a renewable energy source PV. *Materials Today: Proceedings*, 27, 3151–3156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.820>
- Satpathy, R., Pamuru, V. (2020). *Solar PV Power: Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2018-0-02530-x>
- Umar, S., Waqas, A., Tanveer, W., Shahzad, N., Janjua, A. K., Dehghan, M. et al. (2023). A building integrated solar PV surface-cleaning setup to optimize the electricity output of PV modules in a polluted atmosphere. *Renewable Energy*, 216, 119122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119122>
- Lu, Y., Li, G. (2023). Potential application of electrical performance enhancement methods in PV/T module. *Energy*, 281, 128253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128253>
- Jha, V. (2023). Generalized modelling of PV module and different PV array configurations under partial shading condition. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103021>
- Barbosa de Melo, K., Kitayama da Silva, M., Lucas de Souza Silva, J., Costa, T. S., Villalva, M. G. (2022). Study of energy improvement with the insertion of bifacial modules and solar trackers in photovoltaic installations in Brazil. *Renewable Energy Focus*, 41, 179–187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.02.005>
- Dhimish, M., Ahmad, A., Tyrrell, A. M. (2022). Inequalities in photovoltaics modules reliability: From packaging to PV installation site. *Renewable Energy*, 192, 805–814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.156>
- Peters, I. M., Hauch, J. A., Brabec, C. J. (2022). The role of innovation for economy and sustainability of photovoltaic modules. *IScience*, 25 (10), 105208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105208>
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Wald, L. (2021). *Fundamentals of Solar Radiation*. CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003155454>
- Grygiel, P., Tartowski, J., Prześniak-Welenc, M., Łapiński, M., Łubiński, J., Mielewczyk-Gryń, A. et al. (2021). Prototype design and development of low-load-roof photovoltaic modules for applications in on-grid systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 233, 111384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111384>
- Winter, C.-J., Sizmann, R. L., Vant-Hull, L. L. (Eds.) (1991). *Solar Power Plants*. Springer Berlin, 425. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61245-9>
- Cooper, P. I. (1969). The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy*, 12 (3), 333–346. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-092x\(69\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0038-092x(69)90047-4)
- Barbón, A., Ghodbane, M., Bayón, L., Said, Z. (2022). A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132774. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132774>
- Kononov, Y. V., Khaziev, A. N. (2022). Computer technology applications to calculate the insolation of photoelectric power plant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 990 (1), 012048. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/990/1/012048>
- Yassir, A. (2019). Genetic Algorithm as a Solutions Optimization of Tilt Angles for Monthly Periods of Photovoltaic Installation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536 (1), 012100. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/536/1/012100>
- Khadidja, B., Dris, K., Boubeker, A., Noureddine, S. (2014). Optimisation of a Solar Tracker System for Photovoltaic Power Plants in Saharian Region, Example of Ouargla. *Energy Procedia*, 50, 610–618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.075>
- Jin, Z., Xu, K., Zhang, Y., Xiao, X., Zhou, J., Long, E. (2017). Installation Optimization on the Tilt and Azimuth Angles of the Solar Heating Collectors for High Altitude Towns in Western Sichuan. *Procedia Engineering*, 205, 2995–3002. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.225>
- Pan, D., Bai, Y., Chang, M., Wang, X., Wang, W. (2022). The technical and economic potential of urban rooftop photovoltaic systems for power generation in Guangzhou, China. *Energy and Buildings*, 277, 112591. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112591>
- N'Tsoukpoe, K. E. (2022). Effect of orientation and tilt angles of solar collectors on their performance: Analysis of the relevance of general recommendations in the West and Central African context. *Scientific African*, 15, e01069. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01069>
- Shu, N., Kameda, N., Kishida, Y., Sonoda, H. (2006). Experimental and Theoretical Study on the Optimal Tilt Angle of Photovoltaic Panels. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 5 (2), 399–405. doi: <https://doi.org/10.3130/jaabe.5.399>
- Buzra, U., Mitrusi, D., Serdari, E., Halili, D., Muda, V. (2022). Fixed and adjusted optimal tilt angle of solar panels in three cities in Albania. *Journal of Energy Systems*, 6 (2), 153–164. doi: <https://doi.org/10.30521/jes.952260>
- Nikitenko, G. V., Konoplev, E. V., Salpagarov, V. K., Danchenko, I. V., Masyutina, G. V. (2020). Improving the energy efficiency of using solar panels. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 613 (1), 012092. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012092>
- Kuttybay, N., Saymbetov, A., Mekhilef, S., Nurgaliyev, M., Tukymbekov, D., Dosymbetova, G. et al. (2020). Optimized Single-Axis Schedule Solar Tracker in Different Weather Conditions. *Energies*, 13 (19), 5226. doi: <https://doi.org/10.3390/en13195226>
- Jäger, K., Isabella, O., Smets, A. H. M., Swaaij, R. A., Zeman, M. (2014). *Solar Energy, Fundamentals, Technology, and Systems*. Delft: Delft University of Technology, 408. Available at: [http://web.kpi.kharkov.ua/ief/wp-content/uploads/sites/39/2020/05/solar\\_energy\\_1.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/ief/wp-content/uploads/sites/39/2020/05/solar_energy_1.pdf)
- Renewable Energy. *Solar Power* (2009). Courseware Sample by the staff of Lab-Volt Ltd., 115.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286040

## IDENTIFYING THE INFLUENCE OF BLADE NUMBER AND ANGLE OF ATTACK ON A BREASTSHOT TYPE WATERWHEEL MICRO HYDROELECTRIC POWER GENERATOR USING ANOVA (p. 26–31)

Adi Syuriadi

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
Universitas Indonesia, West Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-5857>

Ahmad Indra Siswantara

Universitas Indonesia, West Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1590-2061>

Dewin Purnama

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0487-6419>

Gun Gun Ramdhan Gunadi

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6010-9919>

Iwan Susanto

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7120-0374>

Sulaksana Permana

Gunadarma University, West Java, Indonesia  
Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3473-5892>

This study focuses on optimizing the performance of micro-hydro power generation, specifically the breastshot type waterwheel. The limited availability of non-renewable energy sources and the high cost of developing renewable energy sources in the energy sector pose challenges, making it essential to find new energy sources and improve energy efficiency. The 2004–2022 national electricity plan aims to increase electricity access in rural areas, including remote regions like Bogor Regency, where access to electricity is limited. Many residents have constructed their own micro hydroelectric power generators, but their vulnerability to natural disasters is a concern. The study investigates the potential of breastshot waterwheel technology for micro hydroelectric power generation.

The study involved testing a micro hydro power plant with 6, 8, and 10 blades and blade angles of 0°, 30°, and 45°. The current research focuses on performance optimization, including the use of ANOVA analysis to know the significant impact of blade number and angle on the waterwheel's rotation.

The maximum rotational speed was achieved with 10 blades and an angle of attack of 0°, 30°, and 45°, with respective speeds of 153.59 RPM, 155.84 RPM, and 164.95 RPM. The study indicates that the higher the number and angle of attack of blades, the greater the rotation of the breastshot type waterwheel. ANOVA tests showed that the number of blades had a significant impact on the waterwheel's rotation, with an F-test value of 6.32 and a p-value of 0.012. On the other hand, the angle of attack of the blade had no significant impact, with an F-test value of 3.20 and a p-value of 0.067.

**Keywords:** breastshot waterwheel, ANOVA analysis, blade number, angle of attack.

### References

- Li, Y., Wu, Z., Dinçer, H., Kalkavan, H., Yüksel, S. (2021). Analyzing TRIZ-based strategic priorities of customer expectations for renewable energy investments with interval type-2 fuzzy modeling. *Energy Reports*, 7, 95–108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.167>
- Suriani, S., Keusuma, C. N. (2015). Pengaruh pembangunan infrastruktur dasar terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia. *Ecosains: Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Pembangunan*, 4 (1), 1. doi: <https://doi.org/10.24036/ecosains.10962757.00>
- Syuriadi, A., Rg, G. G. (2011). Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Kawasan Danau UI. *Jurnal Poli-Teknologi*, 10 (3). Available at: <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/politekologi/article/view/67>
- Hameed, J. A., Saeed, A. T., Rajab, M. H. (2018). Design and analysis of hydroelectric generation using waterwheel. 2018 9<sup>th</sup> International Renewable Energy Congress (IREC). doi: <https://doi.org/10.1109/irec.2018.8362443>
- Yassen, S. R. (2014). Optimization of the performance of micro hydro-turbines for electricity generation. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/29840822.pdf>
- Asrafi, I., Yerizam, M., Effendi, S., Mataram, A. (2019). Micro Hydro Electric Power Plant (MHEP) Prototype A Study Of The Effect Of Blade Numbers Toward Turbine Rotational Velocity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198 (4), 042001. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/4/042001>
- Edeoja, A. O., Edeoja, J. A., Ogboji, M. E. (2017). Effect of the included angle of v-shaped blade on the performance of a simplified Pico-hydro system. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8 (8), 1208–1213. Available at: <https://www.ijser.org/researchpaper/Effect-of-the-Included-Angle-of-V-Shaped-Blade-on-the-Performance-of-a-Simplified-Pico-Hydro-System.pdf>
- Khan, T., Asif, M. M., Ahmed, H., Islam, M., Harun, Z. (2021). Design and Development of a Vortex Turbine for the Hilly Regions of Bangladesh. *Advances in Engineering Research*. doi: <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.046>
- Zaman, A., Khan, T. (2012). Design of a water wheel for a low head micro hydropower system. *Journal Basic Science And Technology*, 1 (3), 1–6. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/267958992\\_Design\\_of\\_a\\_Water\\_Wheel\\_For\\_a\\_Low\\_Head\\_Micro\\_Hydropower\\_System](https://www.researchgate.net/publication/267958992_Design_of_a_Water_Wheel_For_a_Low_Head_Micro_Hydropower_System)
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2021). Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia. *Energy Reports*, 7, 472–490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.015>
- Syarif, A. (2017). Rancang bangun prototipe pembangkit listrik tenaga mikro hidro (pltmh) turbin pelton. *Kinetika*, 8 (2), 1–6. Available at: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/1209>
- Saputra, I. W. B., Weking, A. I., Jasa, L. (2017). Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Menggunakan Kincir Overshot Wheel. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16 (2), 48. doi: <https://doi.org/10.24843/mite.2017.v16i02p09>
- Nadhief, M. I., Prabowoputra, D. M., Hadi, S., Tjahjana, D. D. D. P. (2020). Experimental Study on the Effect of Variation of Blade Arc Angle to the Performance of Savonius Water Turbine Flow in Pipe. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 9 (5), 779–783. doi: <https://doi.org/10.18178/ijmerr.9.5.779-783>
- Gallego, E., Rubio-Clemente, A., Pineda, J., Velásquez, L., Chica, E. (2021). Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 33 (4), 266–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.011>
- Achebe, C. H., Okafor, O. C., Obika, E. N. (2020). Design and implementation of a crossflow turbine for Pico hydropower electricity generation. *Heliyon*, 6 (7), e04523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04523>
- Karre, R. K., Srinivas, K., Mannan, K., Prashanth, B., Prasad, Ch. R. (2022). A review on hydro power plants and turbines. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0081709>

17. Warjito, Adanta, D., Budiarmo, Prakoso, A. P. (2018). The effect of bucket number on breastshot waterwheel performance. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 105, 012031. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012031>
18. Rocha, P. A. C., Carneiro de Araujo, J. W., Lima, R. J. P., Vieira da Silva, M. E., Albiero, D., de Andrade, C. F., Carneiro, F. O. M. (2018). The effects of blade pitch angle on the performance of small-scale wind turbine in urban environments. Energy, 148, 169–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.096>
19. Gopalakrishnan, B., Saravana Kumar, G., Prakash, K. A. (2023). Parametric analysis and optimization of gas-particle flow through axial cyclone separator: A numerical study. Advanced Powder Technology, 34 (2), 103959. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2023.103959>
20. Romaito, P., Safitri, I., Sarida, H., Nisah, H., Uswatun, Hasanah et al. (2021). The Mathematics Learning using Geogebra Software to Improve Students' Creative Thinking Ability. Journal of Physics: Conference Series, 1819 (1), 012008. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1819/1/012008>
21. Ayu Permasari, A., Sukarni, Puspitasari, P., Budi Utama, S., Ainul Yaqin, F. (2019). Experimental Investigation and Optimization of Floating Blade Water Wheel Turbine Performance Using Taguchi Method and Analysis of Variance (ANOVA). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 515, 012086. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/515/1/012086>
22. Lillahulhaq, Z., Sandy, F. D., Mahardika, B. P., Akbar, M. A., Saragih, D. B. (2022). Experimental study of small hydro turbine propeller performance with a variety of blade angles of attack. SINERGI, 26 (3), 273. doi: <https://doi.org/10.22441/sinergi.2022.3.001>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286078**  
**REVEALING PATTERNS OF THERMOPHYSICAL**  
**PARAMETERS IN THE DESIGNED ENERGY-SAVING**  
**STRUCTURES FOR EXTERNAL FENCING WITH AIR**  
**CHANNELS (p. 32–43)**

**Askhat Tagybayev**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5980-7349>

**Nurlan Zhangabay**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>

**Ulanbator Suleimenov**

Shymkent University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7798-1044>

**Konstantin Avramov**

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems  
of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8740-693X>

**Borys Uspenskyi**

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems  
of National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6360-7430>

**Altynsary Umbitaliyev**

Shymkent University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3604-8036>

This study reports the design of new models of energy-saving enclosing structures with air channels. To calculate the thermophysical parameters of external fences, the Maple computer algebra system was used; the value of thermal resistance of structures was determined on the basis of a finite-element method in ANSYS. The result

of the structure analysis showed that the value of thermal inertia of the traditional design and the average value of the thermal inertia of the developed structures were equal. However, the vibration amplitude of the designed enclosing structures was up to 20.72 % more efficient than the traditional one. At the same time, it was revealed that the air gaps did not affect the thermal inertia of the structure, and its parameters depended only on the total thickness of the material. The analysis showed that the vapor permeability of the inner wall of the designed structures was equal to the traditional one. However, the value of resistance to vapor permeation of the fence of the developed structures was 3.21 % more effective. At the same time, the use of a closed air layer with a heat-reflecting screen makes it possible to shift the possible condensation zone towards the outer surface of the fence. An analysis of the check for the non-condensation of condensate in the ventilated air gap showed that condensate did not fall out in the ventilated air gap in all the considered schemes, and the results of the analysis by the air permeability value showed that all fencing schemes met the requirements for air permeability. Solving the problems of energy saving in construction through the development of new energy-efficient designs of enclosing structures help reduce the cost of thermal energy of buildings, which is an urgent task all over the world today.

**Keywords:** heat resistance of an external fence, humidity regime of an external fence, air regime of an external fence, closed air channels, heat-reflecting screen.

**References**

1. Mirovoe potreblenie elektroenergii mozhet vyrasti na 50% k 2035 godu. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/4557505>
2. World Energy Assessment (2000). Available at: <https://web.archive.org/web/20201112004050/http://www.undp.org/content/dam/aplaws/publication/en/publications/environment-energy/www-ee-library/sustainable-energy/world-energy-assessment-energy-and-the-challenge-of-sustainability/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf>
3. Johansson, T. B., McCormick, K., Neij, L., Turkenburg, W. (2004). The Potentials of Renewable Energy. Proceedings for the International Conference for Renewable Energies. Bonn.
4. de Vries, B. J. M., van Vuuren, D. P., Hoogwijk, M. M. (2007). Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach. Energy Policy, 35 (4), 2590–2610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.002>
5. Zhangabay, N., Abshenov, K., Bakhbergen, S., Zhakash, A., Moldagaliyev, A. (2022). Evaluating the Effectiveness of Energy-Saving Retrofit Strategies for Residential Buildings. International Review of Civil Engineering (IRECE), 13 (2), 118. doi: <https://doi.org/10.15866/irece.v13i2.20933>
6. Kudabayev, R., Suleimenov, U., Ristavletov, R., Kasimov, I., Kambarov, M., Zhangabay, N., Abshenov, K. (2022). Modeling the Thermal Regime of a Room in a Building with a Thermal Energy Storage Envelope. Mathematical Modelling of Engineering Problems, 9 (2), 351–358. doi: <https://doi.org/10.18280/mmep.090208>
7. Kudabayev, R., Mizamov, N., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Kostikov, A., Vorontsova, A., Buganova, S. et al. (2022). Construction of a model for an enclosing structure with a heat-accumulating material with phase transition taking into account the process of solar energy accumulation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (8 (120)), 26–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268618>
8. Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utelbayeva, A., Mohamad, N., Moldagaliyev, A., Abshenov, K. et al. (2021). Determining the features of oscillations in prestressed pipelines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (114)), 85–92. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246751>

9. Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. et al. (2022). Strength analysis of prestressed vertical cylindrical steel oil tanks under operational and dynamic loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254218>
10. Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Azmi Murad, M. A., Dosmakanbetova, A., Abshenov, K. et al. (2022). Estimation of the strength of vertical cylindrical liquid storage tanks with dents in the wall. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 6–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252599>
11. Suleimenov, U., Zhangabay, N., Abshenov, K., Utebayeva, A., Imanaliyev, K., Mussayeva, S. et al. (2022). Estimating the stressed-strained state of the vertical mounting joint of the cylindrical tank wall taking into consideration imperfections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258118>
12. Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. (2022). Influence of the parameters of the pre-stressed winding on the oscillations of vertical cylindrical steel oil tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265107>
13. Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Kamarov, M., Abildabekov, A. et al. (2023). Oscillation frequencies of the reinforced wall of a steel vertical cylindrical tank for petroleum products depending on winding pre-tension. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (123)), 14–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279098>
14. Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Suleimenov, U., Abshenov, K., Utebayeva, A., Kolesnikov, A. et al. (2022). Analysis of Stress-Strain State for a Cylindrical Tank Wall Defected Zone. *Materials*, 15 (16), 5732. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15165732>
15. Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Aldiyarov, Z., Dossybekov, S. et al. (2022). Experimental Analysis of the Stress State of a Prestressed Cylindrical Shell with Various Structural Parameters. *Materials*, 15 (14), 4996. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15144996>
16. Zhangabay, N., Ibraimova, U., Suleimenov, U., Moldagaliyev, A., Buganova, S., Jumabayev, A. et al. (2023). Factors affecting extended avalanche destructions on long-distance gas pipe lines: Review. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02376>
17. Mavromatidis, L. E., Bykalyuk, A., Mankibi, M. E., Michel, P., Santamouris, M. (2012). Numerical estimation of air gaps' influence on the insulating performance of multilayer thermal insulation. *Building and Environment*, 49, 227–237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.029>
18. Alhefnawi, M. A. M., Abdu-Allah Al-Qahtany, M. (2016). Thermal Insulation Efficiency of Unventilated Air-Gapped Facades in Hot Climate. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42 (3), 1155–1160. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2370-5>
19. Abdullah, H. K., Faraj, S. H. (2021). Experimental study for the effect of air gap in building walls on heat gain reduction. *Materials Today: Proceedings*, 61, 1043–1051. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.308>
20. Zhangabay, N., Baidilla, I., Tagybayev, A., Suleimenov, U., Kurganbekov, Z., Kamarov, M. et al. (2023). Thermophysical indicators of elaborated sandwich cladding constructions with heat-reflective coverings and air gaps. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02161>
21. Zhu, L., Yang, Y., Chen, S., Sun, Y. (2018). Numerical study on the thermal performance of lightweight temporary building integrated with phase change materials. *Applied Thermal Engineering*, 138, 35–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.103>
22. Zhangabay, N., Tagybayev, A., Utebayeva, A., Buganova, S., Tolganbayev, A., Tulesheva, G. et al. (2023). Analysis of the influence of thermal insulation material on the thermal resistance of new facade structures with horizontal air channels. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02026. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02026>
23. Zhangabay, N., Baidilla, I., Tagybayev, A., Sultan, B. (2023). Analysis of Thermal Resistance of Developed Energy-Saving External Enclosing Structures with Air Gaps and Horizontal Channels. *Buildings*, 13 (2), 356. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings13020356>
24. Zhangabay, N., Tagybayev, A., Baidilla, I., Sapargaliyeva, B., Shakeshev, B., Baibolov, K. et al. (2023). Multilayer External Enclosing Wall Structures with Air Gaps or Channels. *Journal of Composites Science*, 7 (5), 195. doi: <https://doi.org/10.3390/jcs7050195>
25. Pelletier, K., Wood, C., Calautit, J., Wu, Y. (2023). The viability of double-skin façade systems in the 21st century: A systematic review and meta-analysis of the nexus of factors affecting ventilation and thermal performance, and building integration. *Building and Environment*, 228, 109870. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109870>
26. Jankovic, A., Goia, F. (2021). Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour. *Building and Environment*, 196, 107796. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107796>
27. Roosmalen, M., Herrmann, A., Kumar, A. (2021). A review of prefabricated self-sufficient facades with integrated decentralised HVAC and renewable energy generation and storage. *Energy and Buildings*, 248, 111107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111107>
28. Ibañez-Puy, M., Vidaurre-Arbizu, M., Sacristán-Fernández, J. A., Martín-Gómez, C. (2017). Opaque Ventilated Façades: Thermal and energy performance review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 180–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.059>
29. Ndiaye, K., Ginestet, S., Cyr, M. (2018). Thermal energy storage based on cementitious materials: A review. *AIMS Energy*, 6 (1), 97–120. doi: <https://doi.org/10.3934/energy.2018.1.97>
30. Utebaeva, A. B., Ermakhanov, M. N., Zhanabai, N. Zh., Utebaev, B. T., Mel'deshov, A. A. (2013). Hydrogenation of benzene in the presence of ruthenium on a modified montmorillonite support. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 87 (9), 1478–1481. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036024413090276>
31. Nakashydz, L., Gabrinets, V., Mitikov, Y., Alekseyenko, S., Liashenko, I. (2021). Determination of features of formation of energy supply systems with the use of renewable energy sources in the transition period. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (113)), 23–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.243112>
32. Hilorme, T., Nakashydz, L., Mazurik, S., Gabrinets, V., Kolbunov, V., Gomilko, I. (2022). Substantiation for the selection of parameters for ensuring electrothermal protection of solar batteries in spacecraft power systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (117)), 17–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258480>
33. Hilorme, T., Nakashydz, L., Tonkoshkur, A., Kolbunov, V., Gomilko, I., Mazurik, S., Ponomarov, O. (2023). Devising a calculation method for determining the impact of design features of solar panels on performance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (123)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280740>
34. Gagliano, A., Aneli, S. (2020). Analysis of the energy performance of an Opaque Ventilated Façade under winter and summer weather conditions. *Solar Energy*, 205, 531–544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.078>

35. Astorqui, J. S. C., Porras-Amores, C. (2017). Ventilated Façade with double chamber and flow control device. *Energy and Buildings*, 149, 471–482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.063>
36. Soudian, S., Berardi, U. (2022). Experimental performance evaluation of a climate-responsive ventilated building façade. *Journal of Building Engineering*, 61, 105233. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105233>
37. Lin, Z., Song, Y., Chu, Y. (2022). An experimental study of the summer and winter thermal performance of an opaque ventilated facade in cold zone of China. *Building and Environment*, 218, 109108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109108>
38. De Masi R. E., Festa, V., Gigante, A., Ruggiero, S., Vanoli, G. P. (2022). Experimental analysis of grills configuration for an open joint ventilated facade in summertime. *Journal of Building Engineering*, 54, 104608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104608>
39. SP RK 2.04-107-2013. Stroitel'naya teplotekhnika: Gosudarstvennyye normativy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. Svod pravil respubliky Kazakhstan. Available at: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=38080689&show\\_di=1&sub\\_id=0&pos=5;-106#pos=5;-106](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=38080689&show_di=1&sub_id=0&pos=5;-106#pos=5;-106)
40. SN RK 2.04-04-2011. Teplovaya zaschita zdaniy: Gosudarstvennyye normativy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. Available at: [https://hoffmann.kz/files/12\\_SN\\_RK\\_2-04-04-2011.pdf](https://hoffmann.kz/files/12_SN_RK_2-04-04-2011.pdf)
41. SP RK 2.04-106-2012. Proektirovanie teplovoy zaschity zdaniy: Gosudarstvennyye normativy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=35957424](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35957424)
42. Thermal Convection in Heat Transfer - Course Overview. Available at: <https://courses.ansys.com/index.php/courses/thermal-convection-in-heat-transfer/>
43. Kupriyanov, V. N., Safin, I. Sh. (2016). Proektirovanie teplozaschity naruzhnykh sten s uchedom kondensatsii vodyanogo para. Kazan', 32. Available at: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/d13/Proektirovanie-teplozaschity-naruzhnykh-sten-s-uchedom-kondensatsii-vodyanogo-para.pdf>
44. SP RK 2.04-01-2017. Stroitel'naya klimatologiya: Gosudarstvennyye normativy v oblasti arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'stva. Available at: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=33546556#sub\\_id=0](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=33546556#sub_id=0)
45. Stena vsya namokla? Kak izbezhat' «tochki rosy» i vybrat' uteplitel'. Available at: <https://dzen.ru/media/id/5c891947c35b2c00b3aee308/stena-vsya-namokla-kak-izbejat-tochki-rosy-i-vybrat-uteplitel-5e1cd2233d008800afe2d6c1>
46. SP 50.13330.2012. Teplovaya zaschita zdaniy. Available at: <https://aluprof.su/index.php/dokumentatsiya/gosty-i-snipy>
47. Metodika rascheta norm potrebleniya szhizhennogo uglevodorodnogo gaza naseleniem pri otsustvii priborov ucheta gaza. Prilozhenie 7. Algoritm opredeleniya uslovnogo koeffitsienta teploperedachi zdaniya s uchedom teplopoter' za schet infil'tratsii i ventilyatsii. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824749.pdf>
48. Gagarin, V. G. (2005). O nekotorykh teplotekhnicheskikh oshibkakh, dopuskaemykh pri proektirovanii ventiliruemykh fasadov. *AVOK*, 2, 52–60. Available at: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2785](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2785)
49. Umnyakova, N. P. (2014). Heat Protection of Cloused Air Spaces with Reflective Insulation. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*, 1-2, 16–20. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/teplozaschita-zamknutyh-vozdushnyh-prosloek-s-otrazhatelnoy-teploizolyatsiey>
50. Khoshev, Yu. V. (2008). Dachnye bani i pechi. Printsipy konstruirovaniya. Moscow: ZAO «Kniga i biznes», 640. Available at: [http://www.gornilo.ru/08art-im/fHoshev/p1\\_31gl12.pdf](http://www.gornilo.ru/08art-im/fHoshev/p1_31gl12.pdf)
51. Sakhin, V. V., Gerliman, E. M., Brykov, N. A. (2019). Teploperedacha v primerakh i zadachakh. Sankt-Peterburg, 165. Available at: <http://www.library.voenmeh.ru/cnau/8yCJlPwJVElpmHv.pdf>
52. Isachenko, V. P., Osipov, V. A., Sukomel, A. S. (1981). Teploperedacha. Moscow: Energoizdat, 416.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282830

**РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ОСНОВІ ПІД-РЕГУЛЯТОРА ПІДВІЙНОЇ ЛОГІКИ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМУ HARMONY SEARCH (с. 6–14)**

Salam Ibrahim Khather, Muhammed A Ibrahim, Mustafa Hussein Ibrahim

У цьому документі обговорюється реалізація пропорційно-інтегрально-похідного (ПІД) контролера для регулювання швидкості двигуна постійного струму з чотириквADRANTНИМ переривником замкнутого циклу. ПІД-контролер поєднується з подвійним контролером нечіткої логіки, щоб утворити контролер ПІПІД для підвищення ефективності керування швидкістю двигуна постійного струму. DFCL оптимізовано за допомогою метаевристичного алгоритму, відомого як алгоритм гармонійного пошуку (АГП). Основною метою цього дослідження є отримання ефективного контролю над швидкістю двигуна в середовищі замкнутого циклу. Щоб досягти цього, параметри для ПІПІД вибираються за допомогою аналізу в часовій області, який має на меті задовольнити такі вимоги, як час встановлення та пікове перевищення. Спочатку контролер нечіткої логіки в ПІПІД контролює коефіцієнти досягнення ПІД, ефективний контроль над системною помилкою та швидкістю зміни помилки. Крім того, ПІПІД вдосконалюється за допомогою АГП для отримання точної корекції. Рішення, отримані шляхом налаштування контролера ПІПІД, оцінюються за допомогою аналізу моделювання, проведеного на платформі MATLAB/SIMULINK. Продуктивність замкнутого циклу аналізується як у часовій, так і в частотній області, а продуктивність ПІПІД оптимізується за допомогою алгоритму АГП для отримання точного значення процесу керування. Як видно з аналізу моделювання, ПІПІД-АГП генерує оптимізовані керуючі сигнали для двигуна постійного струму для керування швидкістю. Ефективність передбачуваного підходу регулювання швидкості аналізується з точки зору різних оціночних показників, таких як швидкість двигуна, крутний момент і струм якоря. Експериментальні результати показують, що запропонований підхід забезпечує кращу продуктивність керування та більшу швидкість двигуна постійного струму порівняно зі звичайними ПІД-контролерами та контролерами SMC.

**Ключові слова:** ПІД-контролер, двигун постійного струму, подвійний регулятор нечіткої логіки, керування ковзним режимом, оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286464

**ВИЯВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВКИ НЕРУХОМИХ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ТА МОДУЛІВ ІЗ РІЗНИМИ ВАРІАНТАМИ ТРЕКІНГУ (с. 15–25)**

Г. А. Голуб, Н. М. Цивенкова, О. А. Яременко, О. А. Марус, І. С. Омаров, А. А. Голубенко

Об'єктом дослідження є фотоелектричні модулі в різних варіантах установки. Уточнено фізичну модель освітленості Землі паралельним потоком сонячних променів. Визначена залежність косинуса кута падіння променів Сонця від кутової протяжності дня, а також середньорічна ефективність установки фотоелектричних модулів як нерухомих, так і з різними варіантами трекінгу. Уточнення фізичної моделі полягає у визначенні кута схилення, як кута між похилою віссю Землі та її проекцією на вертикальну площину, перпендикулярну лінії, що з'єднує центри Землі та Сонця. Ця лінія проходить через центр Землі. Введено поняття середньорічної ефективності установки фотоелектричних модулів як величини річного середньозваженого значення косинуса кута падіння сонячних променів на площину фотоелектричного модуля. Проаналізовано різні варіанти встановлення фотоелектричних модулів: нерухомий горизонтальний на екваторі; нерухомий, встановлений під кутом до горизонту; такий, що здійснює трекінг у горизонтальній (вертикальній) площинах; із повним трекінгом. Ефективність установки фотоелектричного модуля на кожній широті може дорівнювати ефективності установки цього модуля на екваторі, тобто 47,93 % при установці модуля під кутом нахилу до горизонту, який дорівнює широті. Трекінг у вертикальній площині дозволяє підвищити ефективність установки фотоелектричного модуля до 50 %. Порівняно із повним трекінгом, трекінг у горизонтальній площині під кутом широти дозволяє отримати ефективність установки фотоелектричного модуля на рівні 97,93 %.

Результати можуть бути покладені в основу оцінки ефективності установки фотоелектричних модулів на різних широтах при різних способах їх встановлення, а також при подальшому виробництві електроенергії.

**Ключові слова:** фотоелектричний модуль, кут падіння сонячних променів, кут схилення, кут нахилу до горизонту, ефективність установки модулів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286040

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ТА КУТА АТАКИ ЛОПАТЕЙ НА МІКРОГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЮ ІЗ СЕРЕДНЬОБІЙНОЮ ГІДРОТУРБИНОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ANOVA (с. 26–31)**

Adi Syuriadi, Ahmad Indra Siswantara, Dewin Purnama, Gun Gun Ramdhan Gunadi, Iwan Susanto, Sulaksana Permana

Дане дослідження спрямоване на оптимізацію продуктивності мікрогідроелектростанції, зокрема із середньобійною гідротурбіною. Обмежена доступність невідновлюваних джерел енергії та висока вартість розробки відновлюваних джерел енергії в енергетичному секторі створюють проблеми, що робить необхідним пошук нових джерел енергії та підвищення енергоефективності. Національний план електропостачання на 2004–2022 роки спрямований на розширення доступу до електроенергії в сільській місцевості, включаючи віддалені регіони, такі як Богорське Регентство, з обмеженим доступом до електроенергії. Багато жителів побудували власні мікрогідроелектростанції, але їх вразливість до стихійних лих викликає занепокоєння. У роботі вивчається потенціал технології середньобійної гідротурбіни для мікрогідроелектростанції.

Дослідження включало випробування мікрогідроелектростанції з 6, 8 і 10 лопатями і кутами нахилу лопатей 0°, 30° і 45°. Поточне дослідження зосереджено на оптимізації продуктивності, включаючи використання дисперсійного аналізу (ANOVA) для визначення значного впливу кількості та кута нахилу лопатей на обертання турбіни.



Максимальна швидкість обертання досягалася при використанні 10 лопатей і кутах атаки  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  і  $45^\circ$  при відповідних швидкостях 153,59 об/хв, 155,84 об/хв і 164,95 об/хв. Дослідження показує, що чим більше кількість та кут атаки лопатей, тим більше обертання середньобійної гідротурбіни. Дисперсійний аналіз (ANOVA) показав, що кількість лопатей має значний вплив на обертання турбіни, при цьому значення F-тесту становило 6,32, а р-значення 0,012. З іншого боку, кут атаки лопаті не мав істотного впливу, при цьому значення F-тесту становило 3,20, а р-значення 0,067.

**Ключові слова:** середньобійна гідротурбіна, дисперсійний аналіз (ANOVA), кількість лопатей, кут атаки.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286078

### ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЕНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНЬОГО ОГОРОДЖЕННЯ З ПОВІТРЯНИМИ КАНАЛАМИ (с. 32–43)

Askhat Tagybayev, Nurlan Zhangabay, Ulanbator Suleimenov, K. B. Аврамов, Б. В. Успенский, Altynsary Umbitaliyev

У дослідженні розроблено нові моделі енергозберігаючих конструкцій з повітряними каналами. Для розрахунку теплофізичних параметрів зовнішніх огорожень застосовувалася система комп'ютерної алгебри Maple, при цьому значення термічного опору конструкції визначено на основі кінцево-елементного методу ANSYS. Результат аналізу конструкції показав, що значення теплової інерції традиційної конструкції та усереднене значення теплової інерції розроблених конструкцій дорівнюють. Проте амплітуда коливання розроблених зовнішніх огорожень до 20,72 % ефективніше відносно традиційної. При цьому виявлено, що повітряні прошарки не впливають на теплову інерцію огороження, а її параметри залежать лише від сумарної товщини матеріалу. Аналіз показав, що значення паропроникнення внутрішньої стіни розроблених конструкцій дорівнюють традиційній. Проте значення опору паропроникненню огороження розроблених конструкцій на 3,21 % ефективніше. При цьому використання замкнутого повітряного прошарку з тепловідбиваючим екраном дозволяє зрушити можливу зону конденсації в бік зовнішньої поверхні огороження. Аналіз перевірки на невідпадання конденсату у вентилярованому повітряному прошарку показав, що у вентилярованому повітряному прошарку у всіх аналізованих схемах конденсат не випадає, а результати аналізу за значенням повітропроникності показали, що всі схеми огороження задовольняють вимогам по повітропроникності. Вирішення проблем енергозбереження у будівництві через розробку нових енергоефективних конструкцій зовнішніх огорожень сприяє скороченню витрат на теплову енергію будівель, що є актуальним завданням у всьому світі на сьогоднішній день.

**Ключові слова:** теплостійкість зовнішнього огороження, режим вологості зовнішніх огорожень, повітряний режим зовнішніх огорожень, замкнуті повітряні канали, тепловідбиваючий екран.