

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275088

IDENTIFICATION AND DAMPING OF LOW-FREQUENCY OSCILLATIONS BASED ON WAMS DATA AND THE REVISITED RESIDUE METHOD – PART I (p. 6–17)**Anur Bektimirov**Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-6206>**Om Parkash Malik**University of Calgary, Calgary, Canada
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4925-1276>**Almaz Saukhimov**Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-9200>**Eugene Didorenko**Kazakhstan Electricity Grid Operating Company (KEGOC), Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7198-4314>

The results of low-frequency oscillations identification in the Republic of Kazakhstan power grid by using a Wide Area Measurement System are presented and an algorithm for damping low-frequency oscillations is proposed in this paper. Analysis of weakly damped inter-area low-frequency oscillations revealed a constant mode with a frequency range of 0.3–0.4 Hz. It was determined that at these low-frequency oscillations, the amplitude of active power fluctuations along the transmission line was 150 MW with a duration of 9 minutes. The modal analysis calculation of the Republic of Kazakhstan power system model in the «DigSilent Power Factory» software shows the dangerous low-frequency oscillation modes having a damping ratio is 2.2 % and an eigenfrequency 0.328 Hz. These oscillation modes identified by the real data and in the developed model indicate the incorrect tuning of power system stabilizer parameters at power plants. It is necessary to retune the power system stabilizer parameters whenever changing the system's and mode's configurations.

An analysis of existing power system stabilizer tuning methods was performed, and revisited residue method was determined as sufficiently effective. Thus, the developed algorithm for identification and damping of low-frequency oscillation consists of three tasks. The first task is data collection from the Wide Area Measurement System and Supervisory Control and Data Acquisition system and updating the calculation model based on the current status of equipment (generators, transformers, transmission lines, etc.). The second task is the identification of dangerous electromechanical oscillations and modal analysis based on information obtained in real-time. The third task is tuning the power system stabilizer parameters for damping dangerous low-frequency oscillation modes based on the revisited residue method.

Keywords: identification of oscillations, WAMS, power system stabilizer, damping, residue method.

References

- Kundur, P., Malik, O. P. (2022). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill. Available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260473544>
- Gupta, D. P. S., Sen, I. (1993). Low frequency oscillations in power systems: A physical account and adaptive stabilizers. *Sadhana*, 18 (5), 843–868. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03024228>
- Hatziaargyriou, N., Milanovic, J., Rahmann, C., Ajarapu, V., Canizares, C., Erlich, I. et al. (2021). Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36 (4), 3271–3281. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2020.3041774>
- Gonzalez-Longatt, F., Rueda Torres, J. L. (Eds.) (2018). *Advanced Smart Grid Functionalities Based on PowerFactory*. Green Energy and Technology. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50532-9>
- Tokhtibakiev, K., Saukhimov, A., Bektimirov, A., Merekenov, M., Shubekova, K., Murat, A. (2017). Control of steady-state stability of 500 kV transmission lines in the National Electrical Networks of Kazakhstan using PMUs data. 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC). doi: <https://doi.org/10.1109/upec.2017.8231859>
- Zhang, X., Lu, C., Liu, S., Wang, X. (2016). A review on wide-area damping control to restrain inter-area low frequency oscillation for large-scale power systems with increasing renewable generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 45–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.167>
- Zolotas, A. C., Chaudhuri, B., Jaimoukha, I. M., Korba, P. (2007). A Study on LQG/LTR Control for Damping Inter-Area Oscillations in Power Systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 15 (1), 151–160. doi: <https://doi.org/10.1109/tcst.2006.883232>
- Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, P., Jin, X., Fu, C. (2016). Development of a WAMS based test platform for power system real time transient stability detection and control. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 1 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s41601-016-0013-1>
- Karavas, C.-S. G., Plakas, K. A., Krommydas, K. F., Kurashvili, A. S., Dikaiakos, C. N., Papaioannou, G. P. (2021). A Review of Wide-Area Monitoring and Damping Control Systems in Europe. 2021 IEEE Madrid PowerTech. doi: <https://doi.org/10.1109/powertech46648.2021.9495037>
- Sallam, A. A., Malik, O. P. (2015). Power system stabiliser. *Power System Stability: Modelling, Analysis and Control*, 277–310. doi: https://doi.org/10.1049/pbpo076e_ch11
- Prasertwong, K., Mithulananthan, N., Thakur, D. (2010). Understanding Low-Frequency Oscillation in Power Systems. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 47 (3), 248–262. doi: <https://doi.org/10.7227/ijeee.47.3.2>
- Klein, M., Rogers, G. J., Kundur, P. (1991). A fundamental study of inter-area oscillations in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 6 (3), 914–921. doi: <https://doi.org/10.1109/59.119229>
- Technical background and recommendations for defence plans in the Continental Europe synchronous area (2010). Available at: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/pre2015/publications/entsoe/RG_SOC_CE/RG_CE_ENTSO-E_Defence_Plan_final_2011_public.pdf
- Schleif, F., White, J. (1966). Damping for the Northwest - Southwest Tieline Oscillations - An Analog Study. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-85 (12), 1239–1247. doi: <https://doi.org/10.1109/tpas.1966.291642>
- Ashton, P. (2014). Exploiting Phasor Measurement Units for Enhanced Transmission Network Operation and Control. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20151.62883>
- Hsu, Y.-Y., Shyue, S.-W., Su, C.-C. (1987). Low Frequency Oscillations in Longitudinal Power Systems: Experience with Dynamic Stability of Taiwan Power System. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2 (1), 92–98. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.1987.4335079>
- Venkatasubramanian, V. (M.), Li, Y. (2004). Analysis of 1996 Western American Electric Blackouts. *Bulk Power System Dynamics and Con-*

- trol – VI, 685–721. Available at: https://www.academia.edu/9198860/Analysis_of_1996_Western_American_Electric_Blackouts
18. Phadke, A. G., Volskis, H., de Moraes, R. M., Bi, T., Nayak, R. N., Sehgal, Y. K. et al. (2008). The Wide World of Wide-area Measurement. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6 (5), 52–65. doi: <https://doi.org/10.1109/mpe.2008.927476>
 19. Xie, X., Xin, Y., Xiao, J., Wu, J., Han, Y. (2006). WAMS applications in Chinese power systems. *IEEE Power and Energy Magazine*, 4 (1), 54–63. doi: <https://doi.org/10.1109/mpae.2006.1578532>
 20. Anderson, P. M., Fouad, A. A. (2002). *Power System Control and Stability*. Wiley-IEEE Press. doi: <https://doi.org/10.1109/9780470545577>
 21. Gataric, S., Garrigan, N. R. (1999). Modeling and design of three-phase systems using complex transfer functions. 30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. Record. (Cat. No. 99CH36321). doi: <https://doi.org/10.1109/pesc.1999.785584>
 22. Temgenevskaya, T. V. (2017). Methods of setting automatic excitation regulators of synchronous generators. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*, 3 (55). doi: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2017.3\(55\).84-94](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2017.3(55).84-94)
 23. Labdelaoui, H., Boudjema, F., Boukhetala, D. (2016). A multi-objective tuning approach of power system stabilizers using particle swarm optimization. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 3898–3909. doi: <https://doi.org/10.3906/elk-1411-200>
 24. Rodrigues, F., Molina, Y., Silva, C., Naupari, Z. (2021). Simultaneous tuning of the AVR and PSS parameters using particle swarm optimization with oscillating exponential decay. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 133, 107215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107215>
 25. Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 – International Conference on Neural Networks*. doi: <https://doi.org/10.1109/icnn.1995.488968>
 26. Sedghi, M., Aliakbar-Golkar, M., Haghifam, M.-R. (2013). Distribution network expansion considering distributed generation and storage units using modified PSO algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 52, 221–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.03.041>
 27. Adepoju, G. A., Aderemi, B. A., Salimon, S. A., Alabi, O. J. (2023). Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation for Power Loss Minimization in Distribution Network using Particle Swarm Optimization Technique. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 8 (1), 19–25. doi: <https://doi.org/10.24018/ejeng.2023.8.1.2886>
 28. Cai, L. J., Erlich, I. (2005). Simultaneous Coordinated Tuning of PSS and FACTS Damping Controllers in Large Power Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20 (1), 294–300. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2004.841177>
 29. Francois, D. (2015). An application of modal analysis in electric power systems to study inter-area oscillations. KTH Royal Institute of Technology, School of Electrical Engineering. Stockholm. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:800004/FULLTEXT01.pdf>
 30. Grebe, E., Kabouris, J., Lopez Barba, S., Sattinger, W., Winter, W. (2010). Low frequency oscillations in the interconnected system of Continental Europe. *IEEE PES General Meeting*. doi: <https://doi.org/10.1109/pes.2010.5589932>
 31. 421.2-2014 - IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems (2014). doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2014.6845300>
 32. Marinescu, B. (2019). Residue phase optimization for power oscillations damping control revisited. *Electric Power Systems Research*, 168, 200–209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2018.11.007>
 33. Oscullo, J. A., Gallardo, C. F. (2020). Residue Method Evaluation for the Location of PSS with Sliding Mode Control and Fuzzy for Power Electromechanical Oscillation Damping Control. *IEEE Latin America Transactions*, 18 (01), 24–31. doi: <https://doi.org/10.1109/tla.2020.9049458>
 34. Merekenov, M., Tokhtibakiev, K., Bektimirov, A., Nigmatullin, R. (2020). The advancing assessment of power system stability using smart grid technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 994 (1), 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/994/1/012014>
 35. Yazdani, L., Aghamohammadi, M. R. (2015). Damping inter-area oscillation by generation rescheduling based on wide-area measurement information. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 138–151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.11.018>
 36. Ranjbar, S., Aghamohammadi, M., Haghjoo, F. (2018). A new scheme of WADC for damping inter-area oscillation based on CART technique and Thevenin impedance. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 94, 339–353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.07.010>
 37. Alinezhad, M. J., Radmehr, M., Ranjbar, S. (2020). Adaptive wide area damping controller for damping inter-area oscillations considering high penetration of wind farms. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30 (6). doi: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12392>
 38. Gore, R., Kande, M. (2015). Analysis of Wide Area Monitoring System architectures. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). doi: <https://doi.org/10.1109/icit.2015.7125272>
 39. Huang, T., Wu, M., Xie, L. (2018). Prioritization of PMU Location and Signal Selection for Monitoring Critical Power System Oscillations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33 (4), 3919–3929. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2776103>
 40. Chaudhuri, B., Majumder, R., Pal, B. C. (2004). Wide-Area Measurement-Based Stabilizing Control of Power System Considering Signal Transmission Delay. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19 (4), 1971–1979. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2004.835669>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275515
IMPROVING THE EFFICIENCY OF MODE
AUTOMATION USING SYNCHROPHASOR
MEASUREMENTS TO IDENTIFY STABILITY
DISTURBANCE (p. 18–26)

Alexandr Gunin

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
 named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-3709>

Karmel Tokhtibakiev

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
 named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6157-0037>

Almaz Saukhimov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
 named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-9200>

Anur Bektimirov

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications
 named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5609-6206>

Eugene Didorenko

Kazakhstan Electricity Grid Operating Company (KEGOC),
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7198-4314>

The paper presents new approaches and principles for identifying the conditions of stability disturbance based on detecting

dangerous disturbances in the early stages using information about changes in regime parameters and their Rate of Change. As a mode parameter, the mutual voltage angle between the controlled 500 kV substation and its Rate of Change was selected in the study. It is suggested to take the values of the mentioned parameters from the Wide Area Measurements System (WAMS). The relevance of the research is due to the need to improve the efficiency and eliminate the drawbacks of existing revealing devices of regime automatics, which will reduce the number of accidents due to disturbances of the power system stability. The proposed principle of predicting stability violation is based on using the provision of Lyapunov's stability theory, according to which the assessment of stability is carried out by the total system energy consisting of kinetic and potential. In contrast to the existing principles of detecting stability violation, where the exit from the stability area is determined by the main parameter (potential energy), the prediction principle allows evaluating stability by its rate of change (kinetic energy), which provides the early detection of stability disturbance.

Calculations were performed on modeling power surges in the North-South interconnection of the Kazakhstan Unified Energy System in the «DigSILENT Power Factory» software on the model, which was verified by real perturbations in the power system according to the WAMS data. The calculations confirmed the effectiveness of the proposed principles and the possibility of using WAMS data for detecting emergency power surges on transit power networks in the initial stage.

Keywords: mutual voltage angle, emergency control system, synchrophasor measurements, electric power systems stability, WAMS.

References

- Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Order No. 210 of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan dated December 18, 2014 on approval of the Electric Power Grid Rules. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010899>
- Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. Draft Order On Approval of the Smart Grid Concept in Kazakhstan. Available at: https://www.gov.kz/uploads/2023/2/13/bac54cd77302c01aab-2a81c14ad5fc56_original.2132142.docx
- IEEE C37.118.1-2011. IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems. Available at: <https://standards.ieee.org/ieee/C37.118.1/4902/>
- Novosel, D., Vu, K. (2006). Benefits of PMU technology for various applications. Zbornik radova sedmog simpozija o sustavu vođenja EES-a HK CIGRE, Cavtat, 5 (8.11). Available at: https://www.ieee.hr/_download/repository/Pozivno_predavanja_Novosel_Vu_Cigre_06.pdf
- Joint Stock Company «Kazakhstan Electricity Grid Operating Company» (2019). Annual report 2019. National Electrical Grid. Available at: https://ar2019.kegoc.kz/pdf/AR2019_KEG-OC_rus_site.pdf
- Phadke, A. G., Thorp, J. S. (2017). Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Power Electronics and Power Systems. Springer, 285. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50584-8>
- De La Ree, J., Centeno, V., Thorp, J. S., Phadke, A. G. (2010). Synchronized Phasor Measurement Applications in Power Systems. IEEE Transactions on Smart Grid, 1 (1), 20–27. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2010.2044815>
- Sobbouhi, A. R., Vahedi, A. (2021). Transient stability prediction of power system; a review on methods, classification and considerations. Electric Power Systems Research, 190, 106853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106853>
- Wei, S., Yang, M., Qi, J., Wang, J., Ma, S., Han, X. (2018). Model-Free MLE Estimation for Online Rotor Angle Stability Assessment With PMU Data. IEEE Transactions on Power Systems, 33 (3), 2463–2476. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2761598>
- Sobbouhi, A. R., Vahedi, A. (2020). Online synchronous generator out-of-step prediction by ellipse fitting on acceleration power – Speed deviation curve. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 119, 105965. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.105965>
- Robak, S., Machowski, J., Skwarski, M. M., Smolarczyk, A. (2021). Transient Stability Improvement by Generator Tripping and Real-Time Instability Prediction Based on Local Measurements. IEEE Access, 9, 130519–130528. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3111967>
- Yang, H., Zhang, W., Shi, F., Xie, J., Ju, W. (2019). PMU-based model-free method for transient instability prediction and emergency generator-shedding control. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 105, 381–393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.08.031>
- Gupta, A., Gurralla, G., Sastry, P. S. (2019). An Online Power System Stability Monitoring System Using Convolutional Neural Networks. IEEE Transactions on Power Systems, 34 (2), 864–872. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2018.2872505>
- Azman, S. K., Isbeih, Y. J., Moursi, M. S. E., Elbassioni, K. (2020). A Unified Online Deep Learning Prediction Model for Small Signal and Transient Stability. IEEE Transactions on Power Systems, 35 (6), 4585–4598. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2020.2999102>
- Bashiri Mosavi, A., Amiri, A., Hosseini, S. H. (2018). A Learning Framework for Size and Type Independent Transient Stability Prediction of Power System Using Twin Convolutional Support Vector Machine. IEEE Access, 6, 69937–69947. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2880273>
- Kundur, P., Malik, O. P. (2022). Power System Stability and Control. McGraw-Hill. Available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260473544>
- Machowski, J., Lubosny, Z., Bialek, J. W., Bumby, J. R. (2020). Power system dynamics: stability and control. John Wiley & Sons, 888. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Power+System+Dynamics%3A+Stability+and+Control%2C+3rd+Edition-p-9781119526360>
- Tokhtibakiev, K. K., Sauhimov, A. A. (2015). Capacity control of transport lines of Kazakhstan national electric grid in real time using synchronized phasor data measurements. Tekhnichna elektrodynamika, 4, 62–65. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/134102>
- Merekenov, M., Tokhtibakiev, K., Bektimirov, A., Nigmatullin, R. (2020). The advancing assessment of power system stability using smart grid technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 994 (1), 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/994/1/012014>
- Tokhtibakiev, K., Saukhimov, A., Bektimirov, A., Merekenov, M., Shubekova, K., Murat, A. (2017). Control of steady-state stability of 500 kV transmission lines in the National Electrical Networks of Kazakhstan using PMUs data. 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC). doi: <https://doi.org/10.1109/upec.2017.8231859>
- Gore, R., Kande, M. (2015). Analysis of Wide Area Monitoring System architectures. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). doi: <https://doi.org/10.1109/icit.2015.7125272>
- Huang, T., Wu, M., Xie, L. (2018). Prioritization of PMU Location and Signal Selection for Monitoring Critical Power System Oscillations. IEEE Transactions on Power Systems, 33 (4), 3919–3929. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2776103>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277908
POWER ANALYSIS OF THYRISTOR-REGULATED REACTOR WITH FULLY CONTROLLED SEMICONDUCTOR VALVES (p. 27–35)

Yevhen Fediv

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0974-1342>

Olha Sivakova

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4665-0784>

Flexible AC transmission systems that are built by using modern advances in power electronics are key components of smart grids. The object of research is a thyristor-controlled reactor, which is used as part of a static reactive power compensator to control the reactive power in the transmission and distribution electrical networks of power supply systems. It is proposed to use two-operation semiconductor gates in the regulator, which made it possible to obtain qualitatively new adjusting properties. The analysis of reactor power under the mode of phase control of the conductive state of gates by setting the moments of their closing time was carried out. Analytical expressions for angular power characteristics of the main harmonic were derived. It was revealed that by regulating, based on the phase principle, the conductive state of ideal semiconductor gates, which are switched on in series with ideal inductance, along with the adjustment of reactive power, the phenomenon of consumption of active power from the grid at the main harmonic is observed. It is shown that the reason for this is artificially obtained, with the help of semiconductor gates, active-inductive nature of the angle of displacement of the main harmonic of the current in the reactor relative to the voltage of the power supply. The study results prove the effect of adjusting the active power by a thyristor-regulated reactor. Research involving a virtual model illustrated the adjustment of the active power component of a synchronous generator by the effect on the rotor speed during gate adjustment of reactor power. The active power resource obtained in the process of thyristor adjustment of the reactor is commensurate with its installed capacity.

Keywords: thyristor-controlled reactor, two-operation semiconductor gate, static reactive power compensator.

References

- Singh, B., Verma, K., Mishra, P., Maheshwari, R., Srivastava, U., Baranwal, A. (2012). Introduction to FACTS Controllers: A Technological Literature Survey. *International Journal of Automation and Power Engineering*, 1 (9), 193–234. Available at: https://www.academia.edu/27492103/Introduction_to_FACTS_Controllers_A_Technological_Literature_Survey
- Xia, T., He, J., Ye, Y., Li, W., Huang, J., Yang, J., Liu, D. (2018). Application of Advanced Power Electronic Technology in Smart Grid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 394, 042017. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/394/4/042017>
- Bayoumi, E. H. E. (2015). Power electronics in smart grid power transmission systems: a review. *International Journal of Industrial Electronics and Drives*, 2 (2), 98. doi: <https://doi.org/10.1504/ijied.2015.069784>
- Souza Junior, M. E. T., Freitas, L. C. G. (2022). Power Electronics for Modern Sustainable Power Systems: Distributed Generation, Microgrids and Smart Grids-A Review. *Sustainability*, 14 (6), 3597. doi: <https://doi.org/10.3390/su14063597>
- Tyll, H. K., Schettle, F. (2009). Historical overview on dynamic reactive power compensation solutions from the begin of AC power transmission towards present applications. 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. doi: <https://doi.org/10.1109/psce.2009.4840208>
- Brian, K., Johnson. (2018). *Fundamental Concepts of Dynamic Reactive Compensation and HVDC Transmission*. University of Idaho.
- Sampath, R. K. (2012). Dynamic compensation of reactive power in Various Faults in Power System. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3 (3), 01–07. doi: <https://doi.org/10.9790/1676-0330107>
- Bengtsson, C., Gajic, Z., Khoram, I. M. (2012). Dynamic Compensation of Reactive Power by Variable Shunt Reactors. *Control Strategies and Algorithms*. CIGRE-2012. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Zoran-Gajic-2/publication/343125484_Dynamic_Compensation_of_Reactive_Power_by_Variable_Shunt_Reactors_-_Control_Strategies_and_Algorithms/links/5f17db09a6fdcc9626a689c6/Dynamic-Compensation-of-Reactive-Power-by-Variable-Shunt-Reactors-Control-Strategies-and-Algorithms.pdf
- Hingorani, N. G., Gyugyi, L. (2017). *Static Shunt Compensators: SVC and STATCOM. Understanding FACTS*. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5264273>
- Yang, J., Yang, L., Su, Z. (2017). A Hybrid Static Compensator for Dynamic Reactive Power Compensation and Harmonic Suppression. *Journal of Power Electronics*, 17 (3), 798–810. doi: <https://doi.org/10.6113/jpe.2017.17.3.798>
- Mathad, V., Ronad, B., Jangamshetti, S. (2013). Review on Comparison of FACTS Controllers for Power System Stability Enhancement. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3 (3). Available at: <https://www.ijrsrp.org/research-paper-0313/ijrsrp-p15141.pdf>
- Sode-Yome, A., Mithulananthan, N. (2004). Comparison of Shunt Capacitor, SVC and STATCOM in Static Voltage Stability Margin Enhancement. *The International Journal of Electrical Engineering & Education*, 41 (2), 158–171. doi: <https://doi.org/10.7227/ijeee.41.2.7>
- Sanjeevikumar, P., Sharmeeela, C., Holm-Nielsen, J. B., Sivaraman, P. (Eds.) (2021). *Power Quality in Modern Power Systems*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2019-0-05409-x>
- Moghbel, M., Masoum, M. A. S., Fereidouni, A., Deilami, S. (2018). Optimal Sizing, Siting and Operation of Custom Power Devices With STATCOM and APLC Functions for Real-Time Reactive Power and Network Voltage Quality Control of Smart Grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9 (6), 5564–5575. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2017.2690681>
- Hock, R. T., de Novaes, Y. R., Batschauer, A. L. (2018). A Voltage Regulator for Power Quality Improvement in Low-Voltage Distribution Grids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33 (3), 2050–2060. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2017.2693239>
- Mitra, P., Venayagamoorthy, G. K., Corzine, K. A. (2011). SmartPark as a Virtual STATCOM. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2 (3), 445–455. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2011.2158330>
- Bekri, O., Fellah, M. (2008). The Static Var Compensator (SVC) Device in the power systems Using Matlab/SimPowerSystems. ICEEA'08 – International Conference on Electrical Engineering and its Applications. Sidi Bel-Abbès. Available at: https://www.researchgate.net/publication/272294293_The_Static_Var_Compensator_SVC_Device_in_the_power_systems_Using_MatlabSimPowerSystems
- Fediv, Y., Sivakova, O., Korchak, M. (2019). Model of Virtual Source of Reactive Power for Smart Electrical Supply Systems. 2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). doi: <https://doi.org/10.1109/cpee47179.2019.8949159>
- Fediv, Y., Sivakova, O., Korchak, M. (2020). Multi Operated Virtual Power Plant in Smart Grid. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5 (6), 256–260. doi: <https://doi.org/10.25046/aj050630>

20. Fediv, Y., Sivakova, O. (2022). Determining the mode characteristics of voltage regulator with capacitive load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (117)), 28–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259935>
21. 1459-2010 – IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2010.5439063>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277759

DETERMINATION OF THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A WIND POWER PLANT WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION (p. 36–43)

Nazgul Tanasheva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4273-0960>

Akmaral Tleubergerova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0316-4222>

Ainura Dyusembaeva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6627-7262>

Amangeldy Satybaldin

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Elmira Mussenova

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

Asem Bakhtybekova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2018-8966>

Nurgul Shuyushbayeva

Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7166-6449>

Sholpan Kyzdarbekova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9985-4636>

Saniya Suleimenova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2673-6938>

Ardak Tussyrbayeva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5402-3434>

Wind energy is a commercially proven and rapidly developing type of electricity generation. Wind power plants with a vertical axis are more attractive and better suited for use in cities and urban environments where wind flow is less predictable compared to widespread wind power plants with a horizontal axis of rotation. This makes them a much better choice for both ground installation and/or for mounting on buildings and roofs that would otherwise limit the installation of higher horizontal turbine structures.

The paper describes an experimental study of the drag force and its coefficient for wind turbines with a vertical axis of rotation. The object of the study is a laboratory model of a wind turbine with blades made in the form of rotating cylinders with a fixed blade. Experimental studies were carried out in the T-1-M wind tunnel, measurements of aerodynamic force were carried out using three-component scales. A distinctive feature of the work is the

combined use of the lifting force of the cylinders, as well as the lifting force of the fixed plate. Due to this solution, when comparing with existing wind turbines with a vertical axis of rotation, it was found that the wind turbine in question prevails by 25–100 % in the number of revolutions. The dependences of the drag force on the flow velocity and the drag coefficient on the Reynolds number from $1 \cdot 10^4$ to $4 \cdot 10^4$ are obtained. An uncertainty analysis was also carried out in order to determine the uncertainty by type A, B and the total uncertainty, from which it was found that the measurement error was 1.13 %. The field of the practical application of the results obtained in laboratory studies will be useful in the development of prototypes of wind turbines with a vertical axis of rotation.

Keywords: aerodynamics, flow, combined blade, flow velocity, drag force, thrust force.

References

- Rosales-Asensio, E., Borge-Diez, D., Blanes-Peiró, J. J., Pérez-Hoyos, A., Comenar-Santos, A. (2019). Review of wind energy technology and associated market and economic conditions in Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 415–427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.029>
- Strielkowski, W., Civiń, L., Tarkhanova, E., Tvaronavičienė, M., Petrenko, Y. (2021). Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical Power Sector: A Review. *Energies*, 14 (24), 8240. doi: <https://doi.org/10.3390/en14248240>
- Amano, R. S. (2017). Review of Wind Turbine Research in 21st Century. *Journal of Energy Resources Technology*, 139 (5). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4037757>
- Li, Y., Zhao, S., Qu, C., Tong, G., Feng, F., Zhao, B., Kotaro, T. (2020). Aerodynamic characteristics of Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine with a curved-outline wind gathering device. *Energy Conversion and Management*, 203, 112249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112249>
- Kumar, R., Raaheemifar, K., Fung, A. S. (2018). A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 281–291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.033>
- Peng, Y., Guo, Y., Wan, K., Gao, Y. (2020). Study on the Performance of Vertical Axis Wind Turbine with Two Sets of Blades. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 746 (1), 012031. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/746/1/012031>
- Meena, H. (2022). Design and Construction of Vertical Axis Wind Turbine Blades. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10 (6), 2673–2675. doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.44170>
- Didane, D. H., Rosly, N., Zulkaffi, M. F., Shamsudin, S. S. (2018). Performance evaluation of a novel vertical axis wind turbine with coaxial contra-rotating concept. *Renewable Energy*, 115, 353–361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.070>
- Douak, M., Aouachria, Z., Rabehi, R., Allam, N. (2018). Wind energy systems: Analysis of the self-starting physics of vertical axis wind turbine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1602–1610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.238>
- Rolin, V. F.-C., Porté-Agel, F. (2018). Experimental investigation of vertical-axis wind-turbine wakes in boundary layer flow. *Renewable Energy*, 118, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.105>
- Qasemi, K., Azadani, L. N. (2020). Optimization of the power output of a vertical axis wind turbine augmented with a flat plate deflector. *Energy*, 202, 117745. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117745>
- Wong, K. H., Chong, W. T., Sukiman, N. L., Shiah, Y.-C., Poh, S. C., Sopian, K., Wang, W.-C. (2018). Experimental and simulation investigation into the effects of a flat plate deflector on vertical axis wind turbine. *Energy Conversion and Management*, 160, 109–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.029>

13. Ogawa, S., Kimura, Y. (2018). Performance Improvement by Control of Wingtip Vortices for Vertical Axis Type Wind Turbine. *Open Journal of Fluid Dynamics*, 08 (03), 331–342. doi: <https://doi.org/10.4236/ojfd.2018.83021>
14. Lukin, A., Demidova, G. L., Lukichev, D. V., Rassolkin, A., Kallaste, A., Vaimann, T., Belahcen, A. (2020). Experimental Prototype of High-Efficiency Wind Turbine Based on Magnus Effect. 2020 27th International Workshop on Electric Drives: MPEI Department of Electric Drives 90th Anniversary (IWED). doi: <https://doi.org/10.1109/iwed48848.2020.9069565>
15. Japan pavilion. Available at: <http://copjapan.env.go.jp/cop/cop24/en/pavilion/04/#:~:text=that%20harnesses%20energy%20from%20typhoon,-%22Supply%20safe%20electricity&text=The%20Magnus%20Vertical%20Axis%20Wind,under%20the%20research%20and%20development>
16. Tanasheva, N. K., Bakhtybekova, A. R., Shaimerdenova, G. S., Sakipova, S. E., Shuyushbaeva, N. (2022). Modeling Aerodynamic Characteristics of a Wind Energy Installation with Rotating Cylinder Blades on the Basis of the Ansys Suite. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 95 (2), 457–463. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-022-02500-3>
17. Tanasheva, N. K., Bakhtybekova, A. R., Shuyushbayeva, N. N., Tusupbekova, A. K., Tleubergenova, A. Zh. (2022). Calculation of the Aerodynamic Characteristics of a Wind-Power Plant with Blades in the Form of Rotating Cylinders. *Technical Physics Letters*, 48 (2), 51–54. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063785022020092>
18. Tanasheva, N. K., Bakhtybekova, A. R., Sakipova, S. E., Minkov, L. L., Shuyushbaeva, N. N., Kasimov, A. R. (2021). Numerical simulation of the flow around a wind wheel with rotating cylindrical blades. *Eurasian Physical Technical Journal*, 18 (1), 51–56. doi: <https://doi.org/10.31489/2021no1/51-56>
19. Bakhtybekova, A. R., Tanasheva, N. K., Shuyushbayeva, N. N., Minkov, L. L., Botpaev, N. K. (2022). Analysis of velocity and pressure vector distribution fields in a three-dimensional plane around a wind power plant. *Bulletin of the Karaganda University. «Physics» Series*, 107 (3), 108–114. doi: <https://doi.org/10.31489/2022ph3/108-114>
20. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995). Available at: https://www.bsigroup.com/contentassets/fb7f1499fa6f43c6b9084be8c2378bc9/iso_iec_guide_98-3_2008e---uncertainty-of-measurement---part-3-guide-to-the-expression-of-uncertainty-in-measurement-gum1995.pdf
21. Didane, D. H., Maksud, S. M., Zulkafli, M. F., Rosly, N., Shamsudin, S. S., Khalid, A. (2019). Experimental Study on the Performance of a Savonius-Darrius Counter-Rotating Vertical Axis Wind Turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 268 (1), 012060. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/268/1/012060>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277896

DETERMINING A MODEL OF THE BLADE IN A WIND TURBINE FOR REGIONS WITH LOW WIND SPEEDS (p. 44–52)

Oleksandr Yurchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3047-6654>

Oleg Radchuk

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8228-2499>

Hanna Barsukova

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4261-2182>

Marina Savchenko-Pererva

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8498-3272>

Oleksandr Ivchenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-7693>

Vitaliy Kolodnenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-6759>

Denys Fesenko

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6201-7751>

The object of research is the shape of the blade of a vertical-axis installation. The problem solved in this work is to find the optimal shape of the blade for a wind power installation for operation at low wind speeds or in areas where its flow is limited. In the course of the work, the interaction between each blade option and the wind flow depending on the shape of the blade was considered. With the help of a reduced model of the wind turbine, a flat blade, a blade with a «pocket», and a blade with a «pocket» and a slit were tested. The test results prove the effectiveness of the designed and manufactured blade with a «pocket» and a slit. This was confirmed by the study results, according to which, during the experiment, the number of revolutions of a wind turbine with blades made with a «pocket» and a slit was the largest. In comparison with flat-shaped blades, the increase was 20 %, and, in comparison with blades with a «pocket», the increase was 10 %. In order to compare wind turbines that have flat-shaped blades and blades with a «pocket» and a slit, experimental studies and calculations of the power factor C_p were carried out. A flat-blade wind wheel has $C_{p1}=24$; a blade with a «pocket» – $C_{p2}=52.9$; a blade that has a «pocket» and a slit – $C_{p3}=58.7$. Therefore, one can assume that the power generated by the wind wheel with the above blades is also the largest, $P_3=98$ W, compared to two other shapes of blades: flat, $P_1=32.3$ W; with a «pocket», $P_2=88.2$ W. It would increase during the test time from zero speed to reaching a constant rotational speed.

The studies confirm that the wind wheel, which has blades with a «pocket» and a slit, has the highest speed of rotation over the entire period of time when measurements were performed.

Keywords: wind power, blades with slit, rotational force of wind wheel, vertical axial wind turbine.

References

1. Yurchenko, O. Y., Barsukova, H. V., Tymoshenko, H. A. (2022). Development of a wind turbine blade for areas with low wind speed. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 2 (48), 94–100. doi: <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.14>
2. Sabadash, S., Savchenko-Pererva, M., Radchuk, O., Rozhkova, L., Zahorulko, A. (2020). Improvement of equipment in order to intensify the process of drying dispersed food products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (11 (103)), 15–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.192363>
3. Sukmanov, V., Radchuk, O., Savchenko-Pererva, M., Budnik, N. (2020). Optical piezometer and precision researches of food properties at pressures from 0 to 1000 MPa. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (1), 68–87. doi: <https://doi.org/10.15421/082009>
4. Savchenko-Pererva, M. Yu., Yakuba, O. R. (2015). Improving the efficiency of the apparatus with counter swirling flows for the food industry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (75)), 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43785>
5. Barsukova, H. V., Savchenko-Pererva, M. Y. (2020). Reducing the technogenic load on the environment due to the technical solution for the disposal of iron sulphate. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (2), 168–176. doi: <https://doi.org/10.15421/082018>

6. Savchenko-Pererva, M., Radchuk, O., Rozhkova, L., Barsukova, H., Savoiskyi, O. (2021). Determining heat losses in university educational premises and developing an algorithm for implementing energy-saving measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (114)), 48–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245794>
7. Yurchenko, O. Yu., Barsukova, H. V. (2021). *Suchasna sytuatsiia enerhetyky ukrainy: haluzi, vidsotky, konkurentospromozhnist. Fundamental and applied research in the modern world*. Boston: Bo-Science Publisher, 660–663.
8. Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., Gao, G. (2019). Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures. *Resources Policy*, 63, 101470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101470>
9. Potić, I., Joksimović, T., Milinčić, U., Kićović, D., Milinčić, M. (2021). Wind energy potential for the electricity production – Knjaževac Municipality case study (Serbia). *Energy Strategy Reviews*, 33, 100589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100589>
10. Lu, X., McElroy, M. B. (2017). Chapter 4 – Global Potential for Wind-Generated Electricity. *Wind Energy Engineering*, Academic Press, 51–73. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809451-8.00004-7>
11. McKenna, R., Pfenninger, S., Heinrichs, H., Schmidt, J., Staffell, I., Bauer, C. et al. (2022). High-resolution large-scale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs. *Renewable Energy*, 182, 659–684. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.027>
12. Kudelin, A., Kutcherov, V. (2021). Wind ENERGY in Russia: The current state and development trends. *Energy Strategy Reviews*, 34, 100627. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100627>
13. Rozhkova, L., Savchenko-Pererva, M., Radchuk, O., Sabadash, S., Kuznetsov, E. (2022). Innovative Hybrid Power Plant Design. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. Vol. 2: Mechanical and Chemical Engineering*. Poznan 299–308. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_29
14. Rotter, Ch. (2019). Collapse of Wind Power Threatens Germany's Green Energy Transition. WUWT. Available at: <https://www.netzerowatch.com/collapse-of-wind-power-threatens-germanys-green-energy-transition/>
15. Fried, L., Shukla, Sh., Sawye, S. (2017). Growth Trends and the Future of Wind Energy. Chapter 26 – Global Wind Energy Council. *Wind Energy Engineering*, 559–586. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/wind-energy-engineering/9780128094297/xhtml/chp026.xhtml>
16. Ueckerdt, F., Pietzcker, R., Scholz, Y., Stetter, D., Giannousakis, A., Luderer, G. (2017). Decarbonizing global power supply under region-specific consideration of challenges and options of integrating variable renewables in the REMIND model. *Energy Economics*, 64, 665–684. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.05.012>
17. Bhattacharya, S., Wang, L., Liu, J., Hong, Y. (2017). Chapter 13 – Civil Engineering Challenges Associated With Design of Offshore Wind Turbines With Special Reference to China. *Wind Energy Engineering*. Academic Press, 243–273. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809451-8.00013-8>
18. Dai, H., Fujimori, S., Silva Herran, D., Shiraki, H., Masui, T., Matsuoka, Y. (2017). The impacts on climate mitigation costs of considering curtailment and storage of variable renewable energy in a general equilibrium model. *Energy Economics*, 64, 627–637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.03.002>
19. Msuya, R., Kainkwa, R., Mgwatu, M. (2017). Design of a Small Scale Wind Generator for Low Wind Speed Areas. *Tanzania Journal of Science*, 43 (1), 136–150. doi: <https://tjs.udsm.ac.tz/index.php/tjs/article/view/294>
20. Peimani, H. (2021). Appropriate Technologies for Removing Barriers to the Expansion of Renewable Energy in Asia: Vertical Axis Wind Turbines. ADBI Working Paper 1250. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available at: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/696291/adbi-wp1250.pdf>
21. Adeyeye, K. A., Ijumba, N., Colton, J. S. (2021). Multi-Parameter Optimization of Efficiency, Capital Cost and Mass of Ferris Wheel Turbine for Low Wind Speed Regions. *Energies*, 14 (19), 6217. doi: <https://doi.org/10.3390/en14196217>
22. Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
23. Akbari, R., Izadian, A. (2021). Modelling and Control of Flywheels Integrated in Wind Turbine Generators. 2021 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 9491886, 106–114. doi: <https://doi.org/10.1109/eit51626.2021.9491886>
24. Jauch, C. (2021). Grid Services and Stress Reduction with a Flywheel in the Rotor of a Wind Turbine. *Energies*, 14 (9), 2556. doi: <https://doi.org/10.3390/en14092556>
25. Tanasheva, N. K. (2021). Numerical simulation of the flow around a wind wheel with rotating cylindrical blades. *Eurasian Physical Technical Journal*, 18 (1), 51–56. doi: <https://doi.org/10.31489/2021no1/51-56>
26. Syuhada, A., Maulana, M. I., Syahriza, Sani, M. S. M., Mamat, R. (2020). The potential of wind velocity in the Banda Aceh coast to the ability to generate electrical energy by horizontal axis wind turbines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 788 (1), 012082. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/788/1/012082>
27. Li, J., Li, Z., Jiang, Y., Tang, Y. (2022). Typhoon Resistance Analysis of Offshore Wind Turbines: A Review. *Atmosphere*, 13 (3), 451. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos13030451>
28. Wong, K. H., Chong, W. T., Sukiman, N. L., Poh, S. C., Shiah, Y.-C., Wang, C.-T. (2017). Performance enhancements on vertical axis wind turbines using flow augmentation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 904–921. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.160>
29. Chyzhma, S. N., Molchanov, S. V., Zakharov, A. Y. (2018). Criteria for choosing the type of windmills for mobile wind-solar power plants. *Vestnyk Baltyskoho federalnoho unyversyteta ym. Y. Kanta. Seriya: Fyzyko-matematycheskye y tekhnicheskye nauky*, 1, 53–62. Available at: <https://journals.kantiana.ru/eng/vestnik/3930/10941/>
30. Pytel, K., Gumula, S., Dudek, P., Bielik, S., Szpin, S., Hudy, W. et al. (2019). Testing the performance characteristics of specific profiles for applications in wind turbines. *E3S Web of Conferences*, 108, 01015. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910801015>
31. Kern, L., Seebaß, J. V., Schlüter, J. (2019). The Potential of Vertical Wind Turbines in the Context of Growing Land use Conflicts and Acceptance Problems of the Wind Energy Sector. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 43, 289–302. doi: <https://doi.org/10.1007/s12398-019-00264-7>
32. Bashir, M. B. A. (2021). Principle Parameters and Environmental Impacts that Affect the Performance of Wind Turbine: An Overview. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47 (7), 7891–7909. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06357-1>
33. Zhang, L., Zhao, X., Wang, H., Liu, Y. (2018). Study on the Real time and Efficient Adjustment Law for H-Type Vertical Axis Wind Turbine. *Journal of Mechanical Engineering*, 54 (10), 173–181. doi: <https://doi.org/10.3901/jme.2018.10.173>
34. Li, Z., Yu, X., Han, R. (2017). Modeling and wake characteristics analysis of a new vertical axis wind generation system. *IECON 2017 – 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 8590–8595. doi: <https://doi.org/10.1109/iecon.2017.8217509>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276431
OPTIMIZING BIOGAS PRODUCTION USING
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (p. 53–64)

Bohdana Komarysta

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-6597>

Iryna Dzhygryey

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8360-447X>

Vladyslav Bendiuh

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3295-4637>

Olha Yavorovska

JSC «Vinnytsiagaz», Vinnytsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5304-1389>

Antonina Andreeva

Admiral Makarov National University
 of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0361-5436>

Kateryna Berezenko

Luhansk Taras Shevchenko National University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3975-5278>

Iryna Meshcheriakova

Prydniprovsk State Academy
 of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1538-2932>

Oksana Vovk

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7531-9847>

Sofia Dokshyna

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8136-8779>

Ivan Maidanskyi

National Technical University of Ukraine
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0014-0834>

The object of this study is the operating parameters of the anaerobic digestion unit. The study aims to increase the potential of biogas production. The task to select the optimal parameters of the working process of anaerobic digestion has been solved.

A model of cumulative biogas and methane output in the process of anaerobic waste digestion has been constructed, which is conceptualized using the method of artificial neural network. The model is built on the basis of 11 process-related variables, such as hydraulic retention time, pH, operating temperature, etc.

The plant parameters, leading to the highest volume of biogas production, were selected. It was determined that the optimal amount of biogas can be brought to 90 %, which exceeds the maximum value obtained from factory records by 12.6 % to 700 m³/t. Working conditions that led to optimal methane production were defined as the temperature of 39 °C, the total solids of 4.5 %, the organic percentage of 97.8 %, and pH 8.0.

It was found that biogas production is the highest at temperature within the thermophilic range while the local maximum is achieved in the mesophilic temperature range.

The model built serves to determine the optimal operating parameters for maximum biogas production and could be used to optimize biogas production productivity using limited experimental data. The model also makes it possible to predict the performance of anaerobic digestion under untested conditions.

It is possible to practically use the developed biogas production model when monitoring the operation of the anaerobic digestion unit, to increase the efficiency of the process, and when adjusting the working conditions of the methane tank.

Keywords: biogas plant, artificial neural network, biogas yield potential, anaerobic digestion.

References

- Optimal use of biogas from waste streams. an assessment of the potential of biogas from digestion in the EU beyond 2020 (2016). Available at: https://energy.ec.europa.eu/optimal-use-biogas-waste-streams-assessment-potential-biogas-digestion-eu-beyond-2020_en
- Supply, transformation and consumption of renewables and wastes. Eurostat. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_CB_RW/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_cb
- European Biogas Association (EBA) (2016). Available at: https://issuu.com/europeanbiogasassociationeba/docs/eba_annual_report_2016
- Pavliukh, L., Shamanskyi, S., Boichenko, S., Jaworski, A. (2020). Evaluation of the potential of commercial use of microalgae in the world and in Ukraine. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93 (3), 429–436. doi: <https://doi.org/10.1108/aeat-08-2020-0181>
- Topilnytskyy, P., Romanchuk, V., Boichenko, S., Golych, Y. (2014). Physico-Chemical Properties and Efficiency of Demulsifiers based on Block Copolymers of Ethylene and Propylene Oxides. *Chemistry & Chemical Technology*, 8 (2), 211–218. doi: <https://doi.org/10.23939/chct08.02.211>
- Shkilniuk, I., Boichenko, S. (2020). Biological Risk of Aviation Fuel Supply. *Studies in Systems, Decision and Control*, 179–199. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_12
- Abbasi, T., Tauseef, S. M., Abbasi, S. A. (2012). *Biogas Energy*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1040-9>
- Batstone, D. J., Puyol, D., Flores-Alsina, X., Rodriguez, J. (2015). Mathematical modelling of anaerobic digestion processes: applications and future needs. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14 (4), 595–613. doi: <https://doi.org/10.1007/s11157-015-9376-4>
- Zaher, U., Li, R., Jeppsson, U., Steyer, J.-P., Chen, S. (2009). GIS-COD: General Integrated Solid Waste Co-Digestion model. *Water Research*, 43 (10), 2717–2727. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.018>
- Dudar, I. N., Yavorovska, O. V., Zlepko, S. M., Vinnichuk, A. P., Kisała, P., Shortanbayeva, A., Borankulova, G. (2021). Predicting Volume and Composition of Municipal Solid Waste Based on ANN and ANFIS Methods and Correlation-Regression Analysis. *Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals*, 13–23. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003177593-2>
- Ali Abdoli, M., Falah Nezhad, M., Salehi Sede, R., Behboudian, S. (2011). Longterm forecasting of solid waste generation by the artificial neural networks. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31 (4), 628–636. doi: <https://doi.org/10.1002/ep.10591>
- Azadi, S., Karimi-Jashni, A. (2016). Verifying the performance of artificial neural network and multiple linear regression in predicting the mean seasonal municipal solid waste generation rate: A case study of Fars province, Iran. *Waste Management*, 48, 14–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.034>
- Palamar, M. I., Strembitskyi, M. O., Pasternak, Yu. V. (2013). Doslidzhennia efektyvnosti zastosuvannya neironnoi merezhi v systemi keruvannya neliniynymy dynamichnymy ob'ektamy. *Visnyk Natsio-*

- nalnoho universytet «Lvivska politekhnik», 753, 9–14. Available at: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/3094>
14. Palaniswamy, D., Ramesh, G., Sivasankaran, S., Kathiravan, N. (2017). Optimising biogas from food waste using a neural network model. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Municipal Engineer*, 170 (4), 221–229. doi: <https://doi.org/10.1680/jmuen.16.00008>
 15. Almomani, F. (2020). Prediction of biogas production from chemically treated co-digested agricultural waste using artificial neural network. *Fuel*, 280, 118573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118573>
 16. Dahunsi, S. O., Oranusi, S., Owolabi, J. B., Efevbokhan, V. E. (2016). Comparative biogas generation from fruit peels of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) and its optimization. *Bioresource Technology*, 221, 517–525. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.065>
 17. Mougari, N. E., Largeau, J. F., Himrane, N., Hachemi, M., Tazerout, M. (2021). Application of artificial neural network and kinetic modeling for the prediction of biogas and methane production in anaerobic digestion of several organic wastes. *International Journal of Green Energy*, 18 (15), 1584–1596. doi: <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1914630>
 18. Abu Qdais, H., Bani Hani, K., Shatnawi, N. (2010). Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (6), 359–363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.012>
 19. Connaughton, S., Collins, G., O’Flaherty, V. (2006). Development of microbial community structure and activity in a high-rate anaerobic bioreactor at 18 °C. *Water Research*, 40 (5), 1009–1017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.026>
 20. Huber-Humer, M. et al. (2020). Klimagasmonitoring zur Optimierung der Energiebilanz und Verfahrenseffizienz bei Biogasanlagen. Available at: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/BGR0032014EneueEnergien2020.pdf>
 21. Kothari, R., Pandey, A. K., Kumar, S., Tyagi, V. V., Tyagi, S. K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 174–195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>
 22. Panigrahi, S., Dubey, B. K. (2019). A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable Energy*, 143, 779–797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.040>
 23. Rohstoffe, F. N. (2012). *Guide to Biogas from Production to Use*. Gülzow.
 24. Gil, A., Siles, J. A., Martín, M. A., Chica, A. F., Estévez-Pastor, F. S., Toro-Baptista, E. (2018). Effect of microwave pretreatment on semi-continuous anaerobic digestion of sewage sludge. *Renewable Energy*, 115, 917–925. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.112>
 25. Chen, Y., Cheng, J. J., Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99 (10), 4044–4064. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
 26. Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., Thurston, R. V. (1975). Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32 (12), 2379–2383. doi: <https://doi.org/10.1139/f75-274>
 27. Braun, R., Weiland, P., Wellinger, A. (2009). *Biogas from energy crop digestion*. IEA Bioenergy. Available at: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2011/10/Update_Energy_crop_2011.pdf

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275088

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ЗГАСАННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ WAMS ТА ПЕРЕГЛЯНУТОГО МЕТОДУ ЗАЛИШКІВ – ЧАСТИНА I (с. 6–17)

Anur Bektimirov, Om Malik, Almaz Saukhimov, Eugene Didorenko

Наведено результати ідентифікації низькочастотних коливань в електромережі Республіки Казахстан за допомогою широкозонної вимірювальної системи та запропоновано алгоритм демпфування низькочастотних коливань. Аналіз слабо затухаючих міжзональних низькочастотних коливань виявив сталу моду з діапазоном частот 0,3–0,4 Гц. Визначено, що при цих низькочастотних коливаннях амплітуда коливань активної потужності вздовж ЛЕП становила 150 МВт тривалістю 9 хвилини. Розрахунок модального аналізу моделі енергосистеми Республіки Казахстан у програмному забезпеченні «DigSilent Power Factory» показує небезпечні низькочастотні режими коливань з коефіцієнтом загасання 2,2 % і власною частотою 0,328 Гц. Ці режими коливань, ідентифіковані за реальними даними та в розробленій моделі, свідчать про некоректне налаштування параметрів стабілізатора енергосистеми на електростанціях. Необхідно перенастроювати параметри стабілізатора енергосистеми при кожній зміні конфігурації системи та режиму.

Проведено аналіз існуючих методів налаштування стабілізатора енергосистеми та визнано достатньо ефективним повторно розглянутий метод залишку. Таким чином, розроблений алгоритм ідентифікації та демпфування низькочастотних коливань складається з трьох задач. Першим завданням є збір даних із системи глобального вимірювання та системи диспетчерського контролю та збору даних та оновлення розрахункової моделі на основі поточного стану обладнання (генератори, трансформатори, лінії електропередачі тощо). Друге завдання – ідентифікація небезпечних електромеханічних коливань і модальний аналіз на основі інформації, отриманої в реальному часі. Третє завдання – налаштування параметрів стабілізатора енергосистеми для демпфування небезпечних низькочастотних режимів коливань на основі методу переглянутого залишку.

Ключові слова: ідентифікація коливань, WAMS, стабілізатор енергосистеми, демпфування, метод залишків.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275515

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕЖИМІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИНХРОФАЗОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОРУШЕНЬ СТІЙКОСТІ (с. 18–26)

Alexandr Gunin, Karmel Tokhtibakiev, Almaz Saukhimov, Anur Bektimirov, Eugene Didorenko

У роботі представлені нові підходи та принципи визначення умов порушення стійкості на основі виявлення небезпечних порушень на ранніх стадіях з використанням інформації про зміну режимних параметрів і швидкості їх зміни. В якості режимного параметра у дослідженні обрано взаємний кут напруги між керованою підстанцією 500 кВ та швидкістю його зміни. Значення зазначених параметрів пропонується брати з системи моніторингу перехідних режимів (СМІР). Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності та усунення недоліків існуючих пристроїв виявлення режимної автоматики, що дозволить знизити кількість аварій через порушення стійкості енергосистеми. Запропонований принцип прогнозування порушення стійкості заснований на використанні положення теорії стійкості Ляпунова, згідно з яким оцінка стійкості проводиться за сумарною енергією системи, що складається з кінетичної та потенційної. На відміну від існуючих принципів виявлення порушення стійкості, де вихід з області стійкості визначається основним параметром (потенційною енергією), принцип прогнозування дозволяє оцінювати стійкість за швидкістю її зміни (кінетичної енергії), що забезпечує раннє виявлення порушення стійкості.

Виконано розрахунки з моделювання стрибків напруги в Північно-Південному об'єднанні єдиної енергосистеми Казахстану в програмному забезпеченні «DigSILENT Power Factory» на моделі, апробованій реальними порушеннями в енергосистемі за даними СМІР. Розрахунки підтвердили ефективність запропонованих принципів та можливість використання даних СМІР для виявлення аварійних стрибків напруги в транзитних електромережах на початковому етапі.

Ключові слова: взаємний кут напруги, протиаварійна система, синхрофазорні вимірювання, стійкість електроенергетичних систем, СМІР.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277908

АНАЛІЗ ПОТУЖНОСТІ ТИРИСТОРНО РЕГУЛЬОВАНОГО РЕАКТОРА З ПОВНІСТЮ КЕРОВАНИМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ВЕНТИЛЯМИ (с. 27–35)

Є. І. Федів, О. М. Сівакова

Гнучкі системи передачі змінного струму, побудовані з використанням сучасних досягнень в галузі силовій електроніки, є ключовими компонентами інтелектуальних мереж. Об'єктом дослідження є тиристорно регульований реактор, який використовують в складі статичного компенсатора реактивної потужності для регулювання реактивної потужності в передавальних та розподільних електричних мережах систем електропостачання. Запропоновано використати в регуляторі двоопераційні напівпровідникові вентиля, що дозволило отримати якісно нові регульовальні властивості. Проведено аналіз потужності реактора в режимі фазового керування провідним станом вентилів заданим моментом часу їх закривання. Отримано аналітичні вирази для кутових характеристик потужності за основною гармонікою. Виявлено, що регулюючи за фазовим принципом провідним станом ідеальних напівпровідникових вентилів, які увімкнені послідовно з ідеальною індуктивністю, поряд з регулюванням реактивної потужності спостерігається явище

споживання з мережі живлення активної потужності за основною гармонікою. Показано, що причиною вказаного є штучно отриманий за допомогою напівпровідникових вентилів активно-індуктивний характер кута зсуву основної гармоніки струму в реакторі відносно напруги джерела живлення. Наведено результати дослідження, які доводять ефект регулювання активної потужності тиристорно регульованим реактором. Дослідженням на віртуальній моделі проілюстровано регулювання активної складової потужності синхронного генератора впливом на частоту обертання ротора під час вентилятного регулювання потужності реактора. Отриманий в процесі тиристорного регулювання реактора ресурс активної потужності співмірний з його встановленою потужністю.

Ключові слова: тиристорно регульований реактор, двоопераційний напівпровідниковий вентилю, статичний компенсатор реактивної потужності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277759

ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ (с. 36–43)

Nazgul Tanasheva, Akmaral Tleubergenova, Ainura Dyusembaeva, Amangeldy Satybaldin, Elmira Mussenova, Asem Bakhtybekova, Nurgul Shuyushbayeva, Sholpan Kyzdarbekova, Saniya Suleimenova, Ardak Tussybayeva

Вітроенергетика є комерційно перевіреним видом виробництва електроенергії, що швидко розвивається. Вітрові електростанції з вертикальною віссю є більш привабливими і краще підходять для використання в містах та міському середовищі з менш передбачуваним потоком вітру в порівнянні з поширеними вітроелектростанціями з горизонтальною віссю обертання. Це робить їх набагато кращим варіантом як для наземної установки, так і/або для установки на будівлях і дахах, що в іншому випадку обмежувало б установку більш високих горизонтальних турбінних конструкцій.

У роботі описано експериментальне дослідження сили лобового опору та її коефіцієнта для вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. Об'єктом дослідження є лабораторна модель вітрогенератора з лопатями, виконаними у вигляді обертових циліндрів з нерухою лопаттю. Експериментальні дослідження проводилися в аеродинамічній трубі Т-1-М, вимірювання аеродинамічної сили виконані з використанням трикомпонентних ваг. Відмінною рисою роботи є комбіноване використання підйомної сили циліндрів, а також підйомної сили нерухої плити. Завдяки такому рішенню при порівнянні з існуючими вітрогенераторами з вертикальною віссю обертання встановлено, що розглянутий вітрогенератор переважає на 25–100 % за кількістю обертів. Отримано залежності сили лобового опору від швидкості потоку та коефіцієнта лобового опору від числа Рейнольдса від $1 \cdot 10^4$ до $4 \cdot 10^4$. Також проведено аналіз невизначеності для визначення невизначеності за типом А, В та загальної невизначеності, з якого встановлено, що похибка вимірювання становить 1,13 %. Область практичного застосування результатів лабораторних досліджень буде корисна при розробці дослідних зразків вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання.

Ключові слова: аеродинаміка, потік, комбінована лопать, швидкість потоку, сила лобового опору, сила тяги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277896

ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ЛОПАТІ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЙОНІВ ІЗ МАЛОЮ ШВИДКІСТЮ ВІТРІВ (с. 44–52)

О. Ю. Юрченко, О. В. Радчук, Г. В. Барсукова, М. Ю. Савченко-Перерва, О. В. Івченко, В. М. Колодненко, Д. І. Фесенко

Об'єктом дослідження є форма лопаті вертикально-осьової установки. Проблема, що вирішується в роботі, полягає у пошуку оптимальної форми лопаті вітроенергетичної установки для роботи за малої швидкості вітру або на ділянках, де його потік є обмеженим. У ході роботи розглянуто взаємодію кожного з варіантів лопатей з потоком вітру в залежності від форми лопаті. За допомогою зменшеної моделі вітроустановки проведено випробування плоскої лопаті, лопаті з «карманом» і лопаті з «карманом» та щілиною. Отримані результати випробувань доводять ефективність спроектованої та виготовленої лопаті з «карманом» та щілиною. Це підтверджено результатами проведеного дослідження, згідно яких за час експерименту кількість обертів вітротурбіни з лопатями, виготовленими з «карманом» та щілиною найбільша. У порівнянні з лопатями плоскої форми збільшення на 20 %, і у порівнянні з лопатями з «карманом» збільшення на 10 %. З метою порівняння вітроустановок, які мають лопаті плоскої форми та лопаті з «карманом» та щілиною, проведено експериментальні дослідження і розрахунки коефіцієнта потужності C_p . Вітроколесо з плоскою лопаттю має $C_{p1}=24$, з лопаттю, яка має «карман» – $C_{p2}=52,9$, з лопаттю, яка має «карман» і щілину – $C_{p3}=58,7$. Тому можна вважати, що і потужність, яку розвиває вітроколесо з вище зазначеними лопатями, також найбільша $P_3=98$ Вт, в порівнянні із двома іншими формами лопатей: плоскою – $P_1=32,3$ Вт, і з «карманом» – $P_2=88,2$ Вт. Вона зростатиме протягом часу випробування від нульової швидкості до розвинення сталої швидкості обертання.

Проведені дослідження підтверджують, що вітроколесо, яке має лопаті з «карманом» та щілиною, має найбільшу швидкість обертання на всьому проміжку часу, коли проводилися вимірювання.

Ключові слова: вітроенергетика, лопаті з щілиною, обертова сила вітроколеса, вертикально осьова вітроустановка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276431

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ (с. 53–64)

Б. М. Комариста, І. М. Джигирей, В. І. Бендіог, О. В. Яворовська, А. В. Андрєєва, К. С. Березенко, І. В. Мещерякова, О. О. Вовк, С. Ю. Докшина, І. Я. Майданський

Об'єктом дослідження є робочі параметри установки анаеробного зброджування. Дослідження полягає в підвищенні потенціалу виробництва біогазу. Вирішено завдання підбору оптимальних параметрів робочого процесу анаеробного зброджування.

Розроблено модель кумулятивного виходу біогазу та метану в процесі анаеробного зброджування відходів, яка концептуалізована на методі штучної нейронної мережі. Модель побудовано ґрунтуючись на 11 змінних, пов'язаних із процесом, таких як гідравлічний час утримання, рН, робоча температура, інші.

Було підбрано параметри установки, що призводять до найвищого об'єму виробництва біогазу. Визначено, що оптимальна кількість біогазу може бути доведеною до 90 %, що перевищує максимальне значення, отримане з заводських записів на 12,6 % до 700 м³/т. Робочі умови, які призвели до оптимального виробництва метану, були визначені як температура 39 °С, загальна кількість твердих речовин 4,5 %, відсоток органіки 97,8 % і рН 8,0.

Виявлено, що виробництво біогазу є найвищим за температури в межах термофільного діапазону, а локальний максимум досягається за мезофільного діапазону температур.

Розроблена модель слугує для визначення оптимальних експлуатаційних параметрів для максимального виробництва біогазу та може використовуватись для оптимізації продуктивності виробництва біогазу з використанням обмежених експериментальних даних. Модель також дає можливість прогнозувати продуктивність анаеробного зброджування за неперевірених умов.

Практичне використання розробленої моделі виробництва біогазу можливе при моніторингу роботи установки анаеробного зброджування, для підвищення ефективності процесу та при коригуванні умов роботи метантенка.

Ключові слова: біогазова установка, штучна нейронна мережа, потенціал виходу біогазу, анаеробне зброджування.