

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307676

REAL-TIME CONTROL ACTION FORMATION FOR PREDICTING POST-ACCIDENT ELECTRICAL MODES CONSIDERING PERMISSIBLE STABILITY MARGINS (p. 6–18)**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>**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>**Yerlan Kenessov**Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3428-6433>**Daniil Vassilyev**Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8512-7941>**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>

The object of the research is an emergency control system for ensuring the stability of electric power systems (EPS) in case of emergency unbalances. The relevance of the problem of ensuring EPS stability is due to the need to improve the efficiency of emergency control to reduce the risk of system accidents with significant damage. To solve this problem, we propose an algorithm for selecting the volume of control actions based on the principles of adaptive control for predicting the post-emergency mode with an acceptable stability margin. The algorithm of forming the volume of control actions is based on the dependence of the value of control actions on the value of stability reserves estimation by the value of the Jacobi determinant. To build this dependence, the algorithm of searching for the limiting mode by the trajectory of change in the equilibrium position of the steady state of the system from the initial to the limiting one is used. In contrast to the existing algorithms, the proposed algorithm establishes a functional dependence of the control value on the current parameters of the regime or the stability margin, which increases the efficiency of calculations for selecting control actions. Realization of the proposed algorithm is carried out on the basis of the functional scheme according to the data of the vector measurement system.

The advantage and novelty of the proposed algorithm is the possibility of eliminating the disadvantages of existing systems of mode automation, the main of which are:

- the necessity to perform numerous variant calculations for selecting the volume of control actions;
- possible excessive volume of control actions in case of a mismatch of the actual mode with the calculated one.

Keywords: power system stability, stability margin, emergency control systems, control actions.

References

1. Kundur, P. (2007). Power system stability. Power system stability and control.
2. Kundur, P., Malik, P. (2022). Power System Stability and Control. McGraw-Hill. Available at: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260473544>
3. Cutsem, T., Vournas, C. (1998). Voltage Stability of Electric Power Systems. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-75536-6>
4. Gluskin, I. Z., Iofiev, B. I. (2009). History of development of emergency control automation. J. Relayschik, 2.
5. Wang, H., Zhang, B., Hao, Z. (2015). Response Based Emergency Control System for Power System Transient Stability. Energies, 8 (12), 13508–13520. <https://doi.org/10.3390/en81212381>
6. Tang, C., Dong, S., Ren, X., Yin, L., Ju, L. (2018). Improved Jacobi Pretreatment Method for Solving Iterative Power Flow Calculation. Automation of Electric Power Systems, 42 (12), 81–86.
7. Gluskin, I. Z., Vasiliev, A. N., Melnikov, P. V., Bogachenko, D. D., Efreмова, I. Yu. (2015). Issues of overload fixation in multi-machine scheme of power system. Eurasian Scientific Journal, 11.
8. Machowski, J., Lubosny, Z., Bialek, J. W., Bumby, J. R. (2020). Power system dynamics: stability and control. John Wiley & Sons, 896.
9. Pourdaryaei, A., Shahriari, A., Mohammadi, M., Aghamohammadi, M. R., Karimi, M., Kauhaniemi, K. (2023). A New Approach for Long-Term Stability Estimation Based on Voltage Profile Assessment for a Power Grid. Energies, 16 (5), 2508. <https://doi.org/10.3390/en16052508>
10. Hoseinzadeh, B., Leth Bak, C. (2018). Centralized coordination of emergency control and protection system using online outage sensitivity index. Electric Power Systems Research, 163, 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.07.016>
11. Efreмова, I. U., Glouskin, I. Z. (2017). Development of an adaptive fault detector structural scheme of automatic stability control system. Vestnik IGEU, 6, 15–24. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2017.6.015-024>
12. Gunin, A., Tokhtibakiev, K., Saukhimov, A., Bektimirov, A., Didenko, E. (2023). Improving the efficiency of mode automation using synchrophasor measurements to identify stability disturbance. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (8 (122)), 18–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275515>
13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.08.031>
14. 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. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2018.2872505>
15. Bento, M. E. C. (2021). Monitoring of the power system load margin based on a machine learning technique. Electrical Engineering, 104 (1), 249–258. <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01274-w>
16. Bento, M. E. C. (2022). A method for monitoring the load margin of power systems under load growth variations. Sustainable Energy, Grids and Networks, 30, 100677. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2022.100677>
17. 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. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2020.2999102>
18. Altukhova, M. K., Lyulina, M. A., Ryndina, I. E., Chudny, V. S., Ivanova, E. A., Chilibeв, A. G. (2023). Computational Methods for Electric Power Systems Marginal Steady-State Modes and Algorithms of Implementation. 2023 Seminar on Industrial Electronic Devices and Systems (IEDS). <https://doi.org/10.1109/ieds60447.2023.10425966>

19. Altukhova, M. K., Lyulina, M. A., Ryndina, I. E., Chudny, V. S., Ivanova, E. A., Pershikov, G. A. (2024). Methodology for Identifying Sensing Elements in Electric Power System Using Marginal Mode Equations. 2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon). <https://doi.org/10.1109/elcon61730.2024.10468081>
20. Guk, O. M., Odintsov, M. V., Sevastyanova, A. V., Smolovik, S. V. (2012). Investigations of the possibility of using the numerical value of the determinant of the Jacobi matrix for analysing the static stability of power systems. *Problems of Power Engineering*, 3-4.
21. Dusabimana, E., Yoon, S.-G. (2020). A Survey on the Micro-Phasor Measurement Unit in Distribution Networks. *Electronics*, 9 (2), 305. <https://doi.org/10.3390/electronics9020305>
22. Boussadia, F., Belkhat, S. (2021). A New Adaptive Underfrequency Load Shedding Scheme to Improve Frequency Stability in Electric Power System. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 54 (2), 263–271. <https://doi.org/10.18280/jesa.540208>
23. Li, H., Ma, Z., Weng, Y. (2022). A Transfer Learning Framework for Power System Event Identification. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37 (6), 4424–4435. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2022.3153445>
24. Hong, Q., Ji, L., Blair, S. M., Tzelepis, D., Karimi, M., Terzija, V., Booth, C. D. (2022). A New Load Shedding Scheme With Consideration of Distributed Energy Resources' Active Power Ramping Capability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 37 (1), 81–93. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2021.3090268>
25. Khrushchev, Yu. V. (2005). *Methods of calculation of stability of power systems*. Tomsk, 176.
26. Pawar, P. S., Mishra, D. R., Dumka, P. (2022). Solving first order ordinary differential equations using least square method: a comparative study. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 7 (3), 857–864. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6418458>
27. Kenessov, Y., Tokhtibakiev, K., Saukhimov, A., Vassilyev, D., Gunin, A., Iliyaso, A. (2024). Construction of a recurrent neural network-based electrical load forecasting model for a 110 kV substation: a case study in the Western Region of The Republic of Kazakhstan. *Energy-Saving Technologies and Equipment*, 2 (8 (128)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299192>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310103

INCREASING THE ACCURACY OF ELECTRICAL ENERGY ACCOUNTING AT REDUCED LOAD (p. 19–30)

Sviatoslav Vasylets

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

Kateryna Vasylets

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7590-0754>

Volodymyr Ilchuk

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9682-6066>

The object of research is a three-phase electricity metering unit, which includes a digital meter and measuring current transformers. The reduction of non-technological energy losses is restrained due to the insufficient accuracy of the accounting of electric energy in distribution power networks under a reduced load current of the metering unit. The possibility of representing the dependence of the relative error of electricity measurement on current values by a fuzzy function at reduced load has been confirmed. The boundaries of such a function are approximated with sufficient accuracy

by the sum of two exponents, which is explained by its significant nonlinearity in the range of reduced current. The proposed EMRL software allows to estimate the real consumption and the most possible level of underaccounting based on the array of electricity meter readings. The accuracy of estimating by the EMRL the amount of electricity consumed with a probability of 0.7 can be estimated with a relative error not exceeding 2 %. The probability of psychophysical assessments of the accuracy of EMRL «very good» and «good» is at least 0.833. The trend of a significant decrease in the relative value of underaccounting with an increase in the level of electricity consumption was revealed. With a daily consumption of up to 10 kW·h, the amount of underaccounting can reach 18 %, and with a consumption of more than 20 kW·h, it does not exceed 6 %. The adequacy of the results of estimating the amount of consumed electricity at reduced load using the EMRL was confirmed by experimental data at a significance level of 0.05. The software capabilities allow to increase the accuracy of the accounting of electrical energy in distribution networks with a reduced load current of the metering unit. The program can be used as part of automated systems of commercial electricity metering or advanced metering infrastructure to determine the most possible underaccounting due to the operation of metering units at a reduced load.

Keywords: current transformer, electricity meter, reduced load, measurement uncertainty, membership function.

References

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. REPowerEU Plan (COM(2022) 230 final) (2022). European Commission. Available at: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF
2. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Digitalising the energy system – EU action plan (COM(2022) 552 final) (2022). European Commission. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0552>
3. Smart electricity meter market value worldwide 2020-2027 (2024). Statista Research Department. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1304126/global-smart-electricity-meter-market-value/>
4. Current Transformers Market Size, Share, Growth Analysis, By Type(Wound, bar, and window), By Application (Metering, protection, and control), By Region – Industry Forecast 2024-2031 (2024). SkyQuest Technology. Available at: <https://www.skyquestt.com/report/current-transformers-market>
5. Smart metering in Europe (2024). Berg Insight. Available at: <https://www.berginsight.com/smart-metering-in-europe>
6. Cheng, H., Wang, Z., Cai, Q., Lu, X., Gao, Y., Song, R. et al. (2019). Error analysis of the three-phase electrical energy calculation method in the case of voltage-loss failure. *Metrology and Measurement Systems*, 26 (3), 505–516. <https://doi.org/10.24425/mms.2019.129575>
7. Kalinchik, V., Pobigaylo, V., Kalinchyk, V., Filjanin, D. (2021). Use of statistical analysis methods in processing population survey data. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 1 (5), 58–60. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2021.1.11>
8. Carr, D., Thomson, M. (2022). Non-Technical Electricity Losses. *Energies*, 15 (6), 2218. <https://doi.org/10.3390/en15062218>
9. Update on technical and non-technical losses (MED22-34 GA 4.5.1) (2021). MEDREG. Available at: https://egyptera.org/ar/Down-load/report/CUS_Report_Final.pdf
10. Jimenez Mori, R. A., Serebrisky, T., Mercado Díaz, J. E. (2014). Power Lost: Sizing Electricity Losses in Transmission and Distribution

- Systems in Latin America and the Caribbean. *IDM*. <https://doi.org/10.18235/0012798>
11. Díaz, S., Moreno, C., Berdugo, K., Silva, J., Caicedo, J., Ruiz, J., Gordon, J. (2021). Electric power losses in distribution networks. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12 (12), 581–591. Available at: <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/7417>
 12. Yadav, R., Kumar, Y. (2021). Detection of Non-Technical Losses in Electric Distribution Network by Applying Machine Learning and Feature Engineering. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 54 (3), 487–493. <https://doi.org/10.18280/jesa.540312>
 13. Kong, X., Zhao, X., Liu, C., Li, Q., Dong, D., Li, Y. (2021). Electricity theft detection in low-voltage stations based on similarity measure and DT-KSVM. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125, 106544. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106544>
 14. Haq, E. U., Pei, C., Zhang, R., Jianjun, H., Ahmad, F. (2023). Electricity-theft detection for smart grid security using smart meter data: A deep-CNN based approach. *Energy Reports*, 9, 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.072>
 15. Fei, K., Li, Q., Zhu, C., Dong, M., Li, Y. (2022). Electricity frauds detection in Low-voltage networks with contrastive predictive coding. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 137, 107715. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107715>
 16. Liang, C., Liu, F., He, Q., Teng, Z., Li, J. (2019). Remote estimation of measurement error of smart meters based on AMI. 23rd IMEKO TC4 International Symposium Electrical & Electronic Measurements Promote Industry 4.0. Xi'an. Available at: <https://acta.imeko.org/index.php/acta-imeko/article/download/IMEKO-AC-TA-09%20%282020%29-02-06/2393>
 17. Xia, T., Liu, C., Lei, M., Xia, S., Li, D., Ming, D. (2022). Measurement Error Estimation for Distributed Smart Meters Through a Modified BP Neural Network. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.928681>
 18. Wu, Z., Zhu, E., Lin, F., Xu, Y. (2021). Error Self-Detection of Smart Electric Meter Base on DFT processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1971 (1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1971/1/012027>
 19. Liu, C., Lei, M., Ming, D., Ding, L., Xia, T. (2023). Error Estimation of Distributed Electric Metering Devices Based on the Least-Squared Error Fitting. *The Proceedings of the 17th Annual Conference of China Electrotechnical Society*, 849–860. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0408-2_92
 20. Teng, J., Wang, S., Jiang, L., Xie, W., Fang, C., Liu, S. (2022). An on-line self-correction method to improve accuracy of split-core current transformer in low-voltage distribution networks. *Measurement*, 195, 111052. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111052>
 21. Kaczmarek, M. (2017). Inductive current transformer accuracy of transformation for the PQ measurements. *Electric Power Systems Research*, 150, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.05.006>
 22. IEC 61869-2:2012. Instrument transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers (2012). International Electrotechnical Commission. Available at: <https://webstore.iec.ch/publication/6050>
 23. BS EN 50160:2022. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks. European Standard. Available at: <https://www.en-standard.eu/bs-en-50160-2022-voltage-characteristics-of-electricity-supplied-by-public-electricity-networks/>
 24. Vasylets, K., Kvasnikov, V., Vasylets, S. (2022). Determining the static characteristic of a measuring current transformer at a reduced load of the metering unit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (119)), 13–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265068>
 25. Vasylets, K., Kvasnikov, V., Vasylets, S. (2022). Refinement of the mathematical model of electrical energy measurement uncertainty in reduced load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (118)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262260>
 26. Xia, X., Wang, Z., Gao, Y. (2000). Estimation of non-statistical uncertainty using fuzzy-set theory. *Measurement Science and Technology*, 11 (4), 430–435. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/11/4/314>
 27. Drevetskiy, V. V., Vasylets, S. V., Akhromkin, A. O., Vasylets, K. S., Stasiuk, R. S. (2020). Zvit z naukovo-doslidnoi roboty «Vymiriuvannya ta oblik elektrychnoi enerhiyi iz zastosuvanniam vymiriuvalnykh transformatoriv strumu v umovakh znyzhenoho navantazhennia». Rivne: NUVHP, 176. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/25021/>
 28. Montgomery, D. C. (2019). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, 688.
 29. Ploussard, Q. (2024). Piecewise linear approximation with minimum number of linear segments and minimum error: A fast approach to tighten and warm start the hierarchical mixed integer formulation. *European Journal of Operational Research*, 315 (1), 50–62. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.11.017>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310514

REGULATION OF THE POWER OF A WIND TURBINE OF A SPECIAL DESIGN BY CHANGING THE LENGTH OF THE BLADES (p. 31–41)

Pyotr Antipov

QSM Resources LLP, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3667-8191>

Sultanbek Issenov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Marat Koshumbayev

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

Marat Auelbek

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8055-5018>

Gulim Nurmaganbetova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Dauren Issabekov

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

The object of this research is a model of a wind turbine with retractable blades. This model allows for the adjustment of the turbine's screw radius by extending or retracting the blades, providing a basis for examining the impact of blade radius on turbine performance.

The primary problem addressed by this study is to determine how changes in the screw radius, achieved by altering the blade length, affect the wind turbine's performance, specifically its electrical output (voltage and current) and rotational speed, under constant wind conditions.

The experimental results showed that when the turbine blades are fully extended ($R1$), the wind turbine generates higher voltage and current compared to when the blades are retracted ($R2$). This confirms that the turbine's electrical output is significantly influenced by the screw radius.

These results are explained by the aerodynamic principles governing wind turbines. An increased screw radius allows the turbine blades to capture more wind energy, leading to greater force applied to the blades, thus increasing the rotational speed and the amount of electrical energy generated. The linear relationship between the

screw radius and the turbine's performance was as summed to simplify the analysis, though the actual relationship may be more complex.

The finding soft its study can be practically applied in the design and operation of wind turbines. Turbines with adjust table blade lengths can optimize performance across varying wind conditions, maximizing efficiency and power output. These results are particularly useful in environments where wind speed is variable, as turbine scan adjust their blade radius to maintain optimal performance. The study assumes consistent wind conditions and uniform air flow for the results to be accurate, so these conditions should be considered when implementing the findings in real-world scenarios.

Keywords: wind turbine, wind wheels, length of the blades, critical speed, turbine safety.

References

- Astanto, I., Arifin, F., Bow, Y., Sirajuddin. (2022). Study of Effect Changing the Blade Shape and Lift Angles on Horizontal Wind Turbine. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJR-VOCAS)*, 2 (1), 33–37. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v2i1.92>
- Chen, J., Yin, F., Li, X., Ye, Z., Tang, W., Shen, X., Guo, X. (2022). Unsteady aerodynamic modelling for dual-rotor wind turbines with lifting surface method and free wake model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2265 (4), 042055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2265/4/042055>
- Koehuan, V. A., Sugiyono, Kamal, S. (2017). Investigation of Counter-Rotating Wind Turbine Performance using Computational Fluid Dynamics Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 267, 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/267/1/012034>
- Kubo, K., Kanemoto, T. (2011). Performances and acoustic noise of intelligent wind power unit. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 760–765. <https://doi.org/10.24084/repqj09.445>
- Kubo, K., Kanemoto, T. (2008). Development of Intelligent Wind Turbine Unit with Tandem Wind Rotors and Double Rotational Armatures (2nd Report, Characteristics of tandem wind rotors). *Journal of Fluid Science and Technology*, 3 (3), 370–378. <https://doi.org/10.1299/jfst.3.370>
- Maduka, M., Li, C. W. (2022). Experimental evaluation of power performance and wake characteristics of twin flanged duct turbines in tandem under bi-directional tidal flows. *Renewable Energy*, 199, 1543–1567. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.067>
- Mucsi, V., Ayub, A. S., Muhammad-Sukki, F., Zulkipli, M., Muhtazaruddin, M. N., Mohd Saudi, A. S., Ardila-Rey, J. A. (2020). Lightning Protection Methods for Wind Turbine Blades: An Alternative Approach. *Applied Sciences*, 10 (6), 2130. <https://doi.org/10.3390/app10062130>
- Valaker, E. A., Armada, S., Wilson, S. (2015). Droplet Erosion Protection Coatings for Offshore Wind Turbine Blades. *Energy Procedia*, 80, 263–275. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.430>
- Mishnaevsky, L., Tempelis, A., Kuthe, N., Mahajan, P. (2023). Recent developments in the protection of wind turbine blades against leading edge erosion: Materials solutions and predictive modelling. *Renewable Energy*, 215, 118966. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118966>
- Finnegan, W., Dasan Keeryadath, P., Ó Coistealbhá, R., Flanagan, T., Flanagan, M., Goggins, J. (2020). Development of a numerical model of a novel leading edge protection component for wind turbine blades. *Wind Energy Science*, 5 (4), 1567–1577. <https://doi.org/10.5194/wes-5-1567-2020>
- Chetan, M., Yao, S., Griffith, D. T. (2022). Flutter behavior of highly flexible blades for two- and three-bladed wind turbines. *Wind Energy Science*, 7 (4), 1731–1751. <https://doi.org/10.5194/wes-7-1731-2022>
- Schubel, P. J., Crossley, R. J. (2012). Wind Turbine Blade Design Review. *Wind Engineering*, 36 (4), 365–388. <https://doi.org/10.1260/0309-524x.36.4.365>
- Fukami, K. (2013). Pat. No. US9581134B2. Wind turbine blade and manufacturing method thereof. Available at: <https://patents.google.com/patent/US9581134B2/en>
- Wang, G., Petitjean, B. P. A., Drobietz, R. (2019). Pat. No. EP3553307B1. Serrated noise reducer for a wind turbine rotor blade. Available at: <https://patents.google.com/patent/EP3553307B1/en>
- Pat. No. CN109690072B. Wind turbine rotor blade (2017). Available at: <https://patents.google.com/patent/CN109690072B/en>
- Barber, G. L. (2010). Pat. No. US20100266412A1. Wind turbine. Available at: <https://patents.google.com/patent/US20100266412A1/en?q=Pat.+N+US2010%2f0266412A1.+Wind+turbine>
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119992714>
- Issenov, S., Antipov, P., Koshumbayev, M., Issabekov, D. (2024). Development of a wind turbine with two multidirectional wind wheels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (127)), 47–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299128>
- Issabekov, D., Issenov, S. (2024). Alternative Resource-Saving Current Protections for Electric Motors. 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). <https://doi.org/10.1109/smartindustrycon61328.2024.10515681>
- Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K., Inoue, M. (2008). Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96 (5), 524–539. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.01.006>
- Ang, T.-Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
- Pfeiffer, B., Mulder, P. (2013). Explaining the diffusion of renewable energy technology in developing countries. *Energy Economics*, 40, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.005>
- Samadi, S. (2018). The experience curve theory and its application in the field of electricity generation technologies – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2346–2364. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.077>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310140

THE INFLUENCE OF THE ROTOR SHAPE ON THE EFFICIENCY OF THE HYDRODYNAMIC HEATER (p. 42–49)

Bekbolat Nussupbekov

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

Yerlan Oshanov

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

Mikhail Ovcharov

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

Moldir Duisenbayeva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3733-7662>

Adilzada Sharzadin

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7898-540X>

Aitkul Kongyrbayeva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4241-0346>

Makpal Amanzholova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3079-1412>

The paper discusses issues related to the design of a hydrodynamic throttle type heater. The maximum angular velocities for cylindrical and conical shapes are determined from the condition of non-spilling of liquid from a rotating vessel.

Theoretical studies have shown that the conical shape of the skirt is more optimal, since with an increase in the liquid level in the vessel within 0.02–0.09 m, the angular velocity decreases from 37.566 rad/s to 17.709 rad/s, respectively. In addition, with a taper of the vessel walls of 5° and a liquid level height of 0.02 m, the volume of the liquid is $11.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$. If to increase the liquid level to 0.09 m, then the volume of liquid will increase to $55.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$. At a taper of 10°, respectively, there is also an increase in the volume of liquid from $6.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ to $42.0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$.

To establish a small increase in the temperature of the liquid when it is forced through the throttle holes, a transparent mock-up was made. Experimental studies have shown the locking of air during the formation of a ring of liquid in the rotor cavity. In addition, it was found that the smaller the inner radius of the liquid ring, the higher the temperature of the pressed liquid through the throttle openings. For this purpose, a system for removing air from its rotor was provided in the hydrodynamic heater.

When the rotor is running, the lateral outer walls of the conical skirt interact with the liquid, forcing it to rotate. The rotating liquid, rising along the walls of the housing, begins to interact with the lower part of the rotor, which negatively affects the operation of the hydrodynamic heater as a whole. For this purpose, a special flow directing cylinder was provided in the housing.

When the liquid is forced through the throttle opening, there is a decrease in pressure and an increase in the velocity of the liquid. This leads to an increase in its kinetic energy, which is then converted into thermal energy due to friction between the liquid molecules. This principle is used in various systems such as heating systems, industrial processes or laboratory research. However, creating pressure in front of the throttle openings using the inertial forces of a rotating mass of liquid is a promising direction.

Keywords: rotor drum, liquid temperature, cylinder rotation, liquid level, thermal energy.

References

1. Tergemes, K. T., Duisembaev, M. S. (2014). Vortex heat generator with an adjustable energy conversion coefficient for heating farmhouses. Research, results. Available at: <https://articlekz.com/article/12654>
2. Guo, G., Lu, K., Xu, S., Yuan, J., Bai, T., Yang, K., He, Z. (2023). Effects of in-nozzle liquid fuel vortex cavitation on characteristics of flow and spray: Numerical research. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 148, 107040. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2023.107040>
3. Usychenko, V. G. (2012). The Ranque effect as a self-organization phenomenon. *Technical Physics*, 57 (3), 379–385. <https://doi.org/10.1134/s1063784212030164>
4. Aghakashi, V., Saidi, M. H. (2018). Turbulent decaying swirling flow in a pipe. *Heat Transfer Research*, 49 (16), 1559–1585. <https://doi.org/10.1615/heattransres.2018021519>
5. Yurchenko, V. V., Isaev, V. L., Kuchin, V. N., Kalinin, A. A., Zeynulin, A. A. (2014). Pat. No. 31003 KZ. Mechanical heat generator. declared: 13.10.2014; published: 15.03.2016. Available at: <https://kzpatents.com/4-31003-teplogenerator-mehaniceskij.html>
6. Kalinin, A. A., Kuchin, V. N., Breydo, I. V., Isaev, V. L., Yurchenko, V. V. (2016). Pat. No. 31624 KZ. Cavitation vortex heat generator. declared: 04.12.2014; published: 30.09.2016. Available at: <https://kzpatents.com/4-31624-teplogenerator-kavitacionno-vihrevoj.html>
7. Mujtaba, M., Cuntang, W., Yasin, F. M., Xie, F. (2018). Throttle Valve as a Heating Element in Wind Hydraulic Thermal System. *Journal of Advance Research in Mechanical & Civil Engineering (ISSN: 2208-2379)*, 5 (2), 01–11. <https://doi.org/10.53555/nmce.v5i2.304>
8. Ved, V., Nikolsky, V., Oliynyk, O., Lipeev, A. (2017). Examining a cavitation heat generator and the control method over the efficiency of its operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (88)), 22–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108580>
9. Casiano, M. J., Hulka, J. R., Yang, V. (2010). Liquid-Propellant Rocket Engine Throttling: A Comprehensive Review. *Journal of Propulsion and Power*, 26 (5), 897–923. <https://doi.org/10.2514/1.49791>
10. Kapranova, A. B., Lebedev, A. E., Melzer, A. M., Neklyudov, S. V. (2019). About Formation of Elements of a Cyber-Physical System for Efficient Throttling of Fluid in an Axial Valve. *Cyber-Physical Systems: Advances in Design & Modelling*, 109–119. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32579-4_9
11. Kapranova, A. B., Lebedev, A. E., Meltser, A. M., Neklyudov, S. V. (2018). On the influence of the throughput of the axial valve on the parameters of the stochastic model of cavitation. *RHJ Journal of the Chemical Society named after D.I. Mendeleev*, 62 (4), 51–53.
12. Kireev, V., Nizamova, A., Urmancheev, S. (2019). The hydraulic resistance of thermoviscous liquid flow in a plane channel with a variable cross-section. *Journal of Physics: Conference Series*, 1158, 032014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1158/3/032014>
13. Qian, J., Liu, C., Qiu, C., Li, W., Chen, D. (2024). Liquid hydrogen cavitation analysis inside an oblique globe valve. *Flow Measurement and Instrumentation*, 97, 102599. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2024.102599>
14. Hwang, S., Kim, H., Choi, H., Kim, T., Kim, H. (2024). Design evaluation of an immersion heater using a fluid with low Prandtl number based on computation fluid dynamics analysis. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 38 (4), 2151–2159. <https://doi.org/10.1007/s12206-024-0343-2>
15. Ghahramani, E., Ström, H., Bensow, R. E. (2021). Numerical simulation and analysis of multi-scale cavitating flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 922. <https://doi.org/10.1017/jfm.2021.424>
16. Oshanov, E., Abdirova, N., Tusuphanova, A. (2023). Determination of the maximum angular speed rotation of inertial heating hydrodynamic installation rotor. *Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Varna*, 222–226.
17. Nussupbekov, B., Oshanov, Y., Ovcharov, M., Mussenova, E., Ospanova, D., Bolatbekova, M. (2022). Development and creation of a hydrodynamic liquid heating unit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (119)), 62–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.264227>
18. Hoppe, F., Breuer, M. (2020). A deterministic breakup model for Euler-Lagrange simulations of turbulent microbubble-laden flows. *International Journal of Multiphase Flow*, 123, 103119. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.103119>
19. Nussupbekov, B. R., Ovcharov, M. S., Oshanov, E. Z., Yesbergenov, U. B., Duisenbayeva, M. S., Tishbekov, A. A., Amanzholova, M. K. (2023). Determination of the effects of the diameters of the throttle holes on the fluid flow of an inertial hydrodynamic installation. *Bulletin of the Karaganda University «Physics Series»*, 112 (4), 82–90. <https://doi.org/10.31489/2023ph4/82-90>
20. Nussupbekov, B., Oshanov, Y., Ovcharov, M., Kutum, B., Duisenbayeva, M., Kongyrbayeva, A. (2023). Identifying regularities of fluid throttling of an inertial hydrodynamic installation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (126)), 26–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292522>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.307676

ФОРМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ВПЛИВІВ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПІСЛЯАВАРІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ З УРАХУВАННЯМ ДОПУСТИМИХ ЗАПАСІВ СТІЙКОСТІ (с. 6–18)

Karmel Tokhtibakiev, Alexandr Gunin, Yerlan Kenessov, Daniil Vassilyev, Anur Bektimirov

Об'єктом дослідження є система протиаварійної автоматики для забезпечення стійкості електроенергетичних систем (ЕЕС) при аварійних дисбалансах. Актуальність проблеми забезпечення стійкості ЕЕС зумовлена необхідністю підвищення ефективності протиаварійної автоматики для зниження ризику виникнення системних аварій зі значними збитками. Для вирішення даного завдання пропонується алгоритм вибору обсягу керуючих впливів на основі принципів адаптивного управління для прогнозування післяаварійного режиму з прийнятним запасом стійкості. Алгоритм формування обсягу керуючих впливів заснований на залежності величини керуючих впливів від величини оцінки запасів стійкості за значенням визначника Якобі. Для побудови залежності використовується алгоритм пошуку граничного режиму за траєкторією зміни рівноважного положення сталого стану системи від вихідного до граничного. На відміну від існуючих алгоритмів, запропонований алгоритм дозволяє встановити функціональну залежність величини управління від поточних параметрів режиму або запасу стійкості, що дозволяє підвищити ефективність розрахунків при виборі керуючих впливів. Реалізація запропонованого алгоритму здійснюється на основі функціональної схеми за даними системи векторних вимірювань.

Особливостями запропонованого алгоритму є можливість усунення недоліків існуючих систем режимної автоматики, основними з яких є:

- необхідність проведення численних варіантних розрахунків для вибору обсягу керуючих впливів;
- можливий надлишковий обсяг керуючих впливів при невідповідності фактичного режиму розрахунковому.

Ключові слова: стійкість енергосистеми, запас стійкості, системи протиаварійної автоматики, керуючі впливи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310103

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЗНИЖЕНОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 19–30)

С. В. Василюк, К. С. Василюк, В. В. Ільчук

Об'єктом дослідження є трифазний вузол обліку електроенергії, що включає цифровий лічильник та вимірювальні трансформатори струму. Зниження нетехнологічних втрат енергії стримується через недостатню точність обліку електричної енергії в розподільних електромережах при зменшеному струмі навантаження вузла обліку. Підтверджено можливість подання залежності відносної похибки вимірювання електроенергії від величин струмів нечіткою функцією при зниженому навантаженні. Межі такої функції з достатньою точністю апроксимуються сумою двох експонент, що пояснюється її суттєвою нелінійністю в області зниженого струму. Запропонована комп'ютерна програма EMRL за масивом показів лічильника електроенергії дозволяє оцінити реальне споживання та найбільш можливий рівень недообліку. Точність оцінювання спожитого обсягу електроенергії програмою EMRL з імовірністю 0,7 може бути оцінена відносною похибкою, що не перевищує 2%. Імовірність психофізичних оцінок точності EMRL «дуже добра» та «добра» є не менше 0,833. Виявлено тенденцію суттєвого зменшення відносної величини недообліку при збільшенні рівня споживання електроенергії. При добовому споживанні до 10 кВт·год величина недообліку може досягати 18%, а при споживанні більше 20 кВт·год – не перевищує 6%. При рівні значущості 0,05 підтверджено адекватність результатів оцінки обсягу спожитої електроенергії при зниженому навантаженні за допомогою програми EMRL експериментальним даним. Можливості програми дозволяють підвищити точність обліку електричної енергії в розподільних електромережах при зниженому струмі навантаження вузла обліку. Програма може використовуватися у складі автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії або передової вимірювальної інфраструктури для визначення найбільш можливого недообліку через функціонування вузлів обліку при зниженому навантаженні.

Ключові слова: трансформатор струму, лічильник електроенергії, знижене навантаження, невизначеність вимірювання, функція приналежності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310514

РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВІТРОВОЇ ТУРБИНИ СПЕЦІАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШЛЯХОМ ЗМІНИ ДОВЖИНИ ЛОПАТЕЙ (с. 31–41)

Pyotr Antipov, Sultanbek Issenov, Marat Koshumbayev, Marat Auelbek, Gulim Nurmaganbetova, Dauren Issabekov

Об'єктом дослідження є модель вітрогенератора з висувними лопатями. Ця модель дозволяє регулювати радіус гвинта турбіни, висуваючи або втягуючи лопаті, створюючи основу для визначення впливу радіуса лопаті на продуктивність турбіни.

Основна проблема, яка розглядається в цьому дослідженні, полягає в тому, щоб визначити, як зміни в радіусі шнека, досягнуті зміною довжини лопаті, впливають на продуктивність вітряної турбіни, зокрема на її електричну потужність (напругу та струм) і швидкість обертання за постійних умов вітру.

Результати експерименту показали, що коли лопаті турбіни повністю висунуті ($R1$), вітряна турбіна генерує вищу напругу та струм порівняно з тим, коли лопаті втягнуті ($R2$). Це підтверджує, що на електричну потужність турбіни суттєво впливає радіус гвинта.

Ці результати пояснюються аеродинамічними принципами роботи вітрових турбін. Збільшений радіус гвинта дозволяє лопатям турбіни вловлювати більше енергії вітру, що призводить до збільшення сили, що прикладається до лопатей, таким чином збільшуючи швидкість обертання та кількість виробленої електричної енергії. Лінійне співвідношення між радіусом гвинта та продуктивністю турбіни було підсумовано для спрощення аналізу, хоча фактичне співвідношення може бути складнішим.

Його знаходження може бути практично застосоване при проектуванні та експлуатації вітрових турбін. Турбіни з регульованою довжиною столових лопатей можуть оптимізувати продуктивність за різних умов вітру, максимізуючи ефективність і вихідну потужність. Ці результати особливо корисні в середовищах, де швидкість вітру змінна, оскільки сканування турбіни регулює радіус лопатей для підтримки оптимальної продуктивності. Дослідження припускає постійні умови вітру та рівномірний потік повітря для того, щоб результати були точними, тому ці умови слід враховувати під час впровадження результатів у сценарії реального світу.

Ключові слова: вітрогенератор, вітроколеса, довжина лопатей, критична швидкість, безпека турбіни.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310140

ВПЛИВ ФОРМИ РОТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГІДРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАЧА (с. 42–49)

Bekbolat Nussupbekov, Yerlan Oshanov, Mihail Ovcharov, Moldir Duisenbayeva, Adilzada Sharzadin, Aitkul Kongyrbayeva, Makpal Amanzholova

У роботі розглядаються питання, пов'язані з проектуванням гідродинамічного нагрівача дросельного типу. Максимальні кутові швидкості для циліндричних і конічних форм визначаються з умови невитікання рідини з посудини, що обертається.

Теоретичні дослідження показали, що конічна форма спідниці є більш оптимальною, оскільки при збільшенні рівня рідини в посудині в межах 0,02–0,09 м кутова швидкість зменшується відповідно з 37,566 рад/с до 17,709 рад/с. Крім того, при конусності стінок посудини 5° і висоті рівня рідини 0,02 м об'єм рідини становить $11,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. Якщо збільшити рівень рідини до 0,09 м, то об'єм рідини збільшиться до $55,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. При конусності 10° відповідно також спостерігається збільшення об'єму рідини з $6,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ до $42,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$.

Для встановлення невеликого підвищення температури рідини при її продавлюванні через дросельні отвори був виготовлений прозорий макет. Експериментальні дослідження показали блокування повітря при утворенні кільця рідини в порожнині ротора. Крім того, було виявлено, що чим менше внутрішній радіус рідинного кільця, тим вище температура рідини, що продавлюється через дросельні отвори. Для цього в гідродинамічному нагрівачі була передбачена система видалення повітря з його ротора.

Коли ротор працює, бічні зовнішні стінки конічної спідниці взаємодіють з рідиною, змушуючи її обертатися. Обертюва рідина, піднімаючись по стінках корпусу, починає взаємодіяти з нижньою частиною ротора, що негативно позначається на роботі гідродинамічного нагрівача в цілому. Для цього в корпусі був передбачений спеціальний направляючий циліндр.

Коли рідина витісняється через отвір дроселя, відбувається зниження тиску та збільшення швидкості рідини. Це призводить до збільшення його кінетичної енергії, яка потім перетворюється в теплову енергію за рахунок тертя між молекулами рідини. Цей принцип використовується в різних системах, таких як системи опалення, промислові процеси або лабораторні дослідження. Однак створення тиску перед дросельними отворами за допомогою сил інерції обертювої маси рідини є перспективним напрямком.

Ключові слова: барабан ротора, температура рідини, обертання циліндра, рівень рідини, теплова енергія.