

## ABSTRACT AND REFERENCES

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213246

**MODELLING AND SIMULATION OF SELF-EXCITED INDUCTION GENERATOR DRIVEN BY A WIND TURBINE (p. 6–16)****Ammar Shamil Ghanim**

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3602-5491>**Ahmed Nasser B. Alsammak**

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1248-4538>

The excellent specifications of the isolated squirrel cage self-excited induction generator (SEIG) make it the first choice for use with renewable energy sources. However, poor voltage and frequency regulation (under load and speed perturbations) are the main problems with isolated SEIGs. Wide dependence on the SEIG requires prior knowledge of its behaviour with regard to variations in the input of mechanical power and output of electrical power to develop a control system that is capable of maintaining the voltage and frequency at rated values, as far as possible, with any change in the input or output power of the SEIG. In this paper, a mathematical model of a wind energy conversion system (WECS) based on a squirrel cage SEIG with a generalized impedance control (GIC) was built using the Matlab/Simulink environment in a d-q stationary reference frame. A fuzzy logic controller (FLC) was used to control the parameters of the GIC. The training of the FLC was conducted by a neural network through Matlab's Neuro-Fuzzy designer. The results of this paper showed that the trained FLC succeeded in controlling the real and reactive power flow between the SEIG and the GIC system, in which the maximum variation for both magnitude and frequency of the generated voltage with any load or wind speed perturbation will not exceed (0.2 %) for the frequency and (3 %) for the voltage magnitude in both directions. The SEIG model was validated by comparing the results obtained with those of well-known studies with the same rating and operating conditions.

**Keywords:** induction generator, wind turbine, isolated system, dynamic model, ANFIS, GIC.

**References**

- Chen, J., Wang, F., Stelson, K. A. (2018). A mathematical approach to minimizing the cost of energy for large utility wind turbines. *Applied Energy*, 228, 1413–1422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.150>
- Chatterjee, S., Chatterjee, S. (2018). Review on the techno-commercial aspects of wind energy conversion system. *IET Renewable Power Generation*, 12 (14), 1581–1608. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5197>
- Kaniuk, G., Vasylets, T., Varfolomiyev, O., Mezerya, A., Antonenko, N. (2019). Development of neuralnetwork and fuzzy models of multimass electromechanical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (99)), 51–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169080>
- Murthy, S. S., Pinto, A. J. P. (2005). A generalized dynamic and steady state analysis of self excited induction generator (SEIG) based on MATLAB. 2005 International Conference on Electrical Machines and Systems, 3, 1933–1938. doi: <https://doi.org/10.1109/icems.2005.202898>
- Basic, M., Vukadinovic, D. (2016). Online Efficiency Optimization of a Vector Controlled Self-Excited Induction Generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 31 (1), 373–380. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2015.2492601>
- Mahajan, S. M., Senthil Kumar, S., Kumaresan, N., Ammasai Gounden, N. G., Rajkumar, E. (2016). Decoupled control strategy for the operation of capacitor-excited induction generator for DC power applications. *IET Power Electronics*, 9 (13), 2551–2561. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2015.0830>
- Scherer, L. G., de Camargo, R. F., Tambara, R. V. (2016). Voltage and frequency regulation of standalone self-excited induction generator for micro-hydro power generation using discrete-time adaptive control. *IET Renewable Power Generation*, 10 (4), 531–540. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2015.0321>
- Ezzeddine, T. (2020). Reactive power analysis and frequency control of autonomous wind induction generator using particle swarm optimization and fuzzy logic. *Energy Exploration & Exploitation*, 38 (3), 755–782. doi: <https://doi.org/10.1177/0144598719886373>
- Seyoum, D., Grantham, C., Rahman, M. F. (2003). The dynamic characteristics of an isolated self-excited induction generator driven by a wind turbine. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 39 (4), 936–944. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2003.813738>
- Jayalakshmi, N. S., Gaonkar, D. N. (2012). Dynamic modeling and analysis of an isolated self excited induction generator driven by a wind turbine. 2012 International Conference on Power, Signals, Controls and Computation. doi: <https://doi.org/10.1109/epsicon.2012.6175250>
- Wang, H., Wu, X., You, R., Li, J. (2018). Modeling and analysis of SEIG-STATCOM systems based on the magnitude-phase dynamic method. *Journal of Power Electronics*, 18 (3), 944–953. doi: <https://doi.org/10.6113/JPE.2018.18.3.944>
- Chilipi, R. R., Singh, B., Murthy, S. (2012). A New Voltage and Frequency Controller for Standalone Parallel Operated Self Excited Induction Generators. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 13 (1), 1–17. doi: <https://doi.org/10.1515/1553-779x.2809>
- Dhanapal, S., Anita, R. (2016). Voltage and Frequency Control of Stand Alone Self-Excited Induction Generator Using Photovoltaic System Based STATCOM. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 25 (04), 1650031. doi: <https://doi.org/10.1142/s0218126616500316>
- Singh, B., Kasal, G. K. (2008). Solid State Voltage and Frequency Controller for a Stand Alone Wind Power Generating System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23 (3), 1170–1177. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2008.921190>
- Ishchenko, A., Myrzik, J. M. A., Kling, W. L. (2007). Linearization of Dynamic Model of Squirrel-Cage Induction Generator Wind Turbine. 2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting. doi: <https://doi.org/10.1109/pes.2007.386079>
- Venkatesa Perumal, B., Chatterjee, J. K. (2006). Analysis of a self excited induction generator with STATCOM/battery energy storage system. 2006 IEEE Power India Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/poweri.2006.1632596>
- Chatterjee, J. K., Perumal, B. V., Gopu, N. R. (2007). Analysis of Operation of a Self-Excited Induction Generator With Generalized Impedance Controller. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22 (2), 307–315. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2006.875432>
- Dalei, J., Mohanty, K. B. (2016). An approach to estimate and control SEIG voltage and frequency using CORDIC algorithm. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 39 (6), 861–871. doi: <https://doi.org/10.1177/0142331215621374>
- Farret, F. A., Palle, B., Simoes, M. G. (2004). State space modeling of parallel self-excited induction generators for wind farm simulation. Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Confer-

- ence, 2004. 39th IAS Annual Meeting, 4, 2801–2807. doi: <https://doi.org/10.1109/ias.2004.1348870>
20. Xia, Y., Ahmed, K. H., Williams, B. W. (2013). Wind Turbine Power Coefficient Analysis of a New Maximum Power Point Tracking Technique. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60 (3), 1122–1132. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2012.2206332>
  21. Goel, P. K., Singh, B., Murthy, S. S., Kishore, N. (2011). Isolated Wind-Hydro Hybrid System Using Cage Generators and Battery Storage. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58 (4), 1141–1153. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2009.2037646>
  22. Singh, B., Murthy, S. S., Gupta, S. (2004). Analysis and Design of STATCOM-Based Voltage Regulator for Self-Excited Induction Generators. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19 (4), 783–790. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2004.827710>
  23. Sakkoury, K. S., Emara, S., Ahmed, M. K. (2017). Analysis of wind driven self-excited induction generator supplying isolated DC loads. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 4 (1), 257–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.08.003>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214829**

**JUSTIFICATION OF EFFICIENCY OF PLAIN SHAPED HEAT EXCHANGE SURFACES TO INCREASE THE COMPACTNESS OF POWER PLANTS (p. 17–24)**

**Valerii Kuznetsov**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3678-595X>

Substantiation of using non-circular plain shaped surfaces to increase the compactness of power plants is presented. The criterion of thermohydraulic compactness is justified, which takes into account the layout and arrangement of heat transfer elements and their thermohydraulic efficiency. To simulate heat movement and transfer processes in elements of power plants, the computational fluid dynamics method is used. Verification is carried out with available literature data, the discrepancy of results does not exceed 2.4 %. For single elliptical and plane-oval shapes, there is a local maximum of efficiency, achieved at the axis ratio of 2.5 for elliptical and 2.75 for plane-oval. Studies of the change of the heat transfer coefficient in the tube bank rows are carried out. For the elliptical tube bank, heat transfer is stabilized from the fifth row. Heat transfer surfaces of circular, elliptical and plane-oval tubes with different combinations of geometric characteristics are considered. It is found that on the basis of elliptical tubes it is possible to reduce the volume of the heat transfer surface and increase the compactness of the entire power plant by 18.3 % compared to circular tubes and 2.4 % compared to flat-oval ones. Dimensionless indices of mass, volume, functional efficiency and service life of the heat exchanger are substantiated, allowing them to be compared as part of various power plants. It is advisable to continue studies of the features of heat transfer processes in close, with the relative longitudinal and transverse pitch ratio less than 1.5, banks of elliptical tubes with an axis ratio of 2.5.

**Keywords:** power plant, compactness, heat exchanger, thermohydraulic efficiency, shaped surface, RSM turbulence model.

**References**

1. Reliable gas turbines. Available at: [new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines](http://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines)
2. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI. MAN Diesel & Turbo. Available at: <https://mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/waste-heat-recovery-system.pdf>
3. Arkhipov, G. A., Borovikova, I. A., Danilovsky, A. G. (2019). Composition and location of maritime equipment transport ships. *Morskije intelektualnye tekhnologii*, 2 (44), 136–142.
4. Pysmennyi, Ye. M., Kondratiuk, V. A., Terekh, O. M., Rudenko, O. I., Baraniuk, O. V. (2015). Analysis of experimental data on aerodynamic drag of flat-oval tube bundles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (78)), 19. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.55529>
5. Cherednichenko, O., Serbin, S., Dzida, M. (2019). Investigation of the Combustion Processes in the Gas Turbine Module of an FPSO Operating on Associated Gas Conversion Products. *Polish Maritime Research*, 26 (4), 149–156. doi: <http://doi.org/10.2478/pomr-2019-0077>
6. Wong, H. Y. (1977). *Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers*. Longman: Technology & Engineering, 236.
7. Pis'mennyi, E. N. (2012). Ways for improving the tubular heaters used in gas turbine units. *Thermal Engineering*, 59 (6), 485–490. doi: <http://doi.org/10.1134/s0040601512060080>
8. Sajadi, A. R., Yamani Douzi Sorkhabi, S., Ashtiani, D., Kowsari, F. (2014). Experimental and numerical study on heat transfer and flow resistance of oil flow in alternating elliptical axis tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 77, 124–130. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.014>
9. Shahane, A., Ghodake, L., Kashid, D. T., Ghodake, D. S. (2019). Enhancement of Heat Transfer Coefficient through Forced Convection Apparatus by Using Circular and Elliptical Pipe. *International Journal of New Technology and Research*, 5 (4), 38–43. doi: <http://doi.org/10.31871/ijntr.5.4.22>
10. Lopata, S., Oclon, P., Stelmach, T., Markowski, P. (2019). Heat transfer coefficient in elliptical tube at the constant heat flux. *Thermal Science*, 23 (4), 1323–1332. doi: <http://doi.org/10.2298/tsci19s43231>
11. Hasan, A. (2005). Thermal-hydraulic performance of oval tubes in a cross-flow of air. *Heat and Mass Transfer*, 41 (8), 724–733. doi: <http://doi.org/10.1007/s00231-004-0612-7>
12. Khan, W. A., Culham, J. R., Yovanovich, M. M. (2005). Fluid Flow Around and Heat Transfer From Elliptical Cylinders: Analytical Approach. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 19 (2), 178–185. doi: <http://doi.org/10.2514/1.10456>
13. Khalatov, A. A. (2005). *Heat Transfer and Fluid Mechanics over Surface Indentation (Dimples)*. Kyiv: National Academy of Science of Ukraine. Institute of Engineering Thermophysics.
14. Kuznetsov, V. V. (2020). Mnogourovnevaia otsenka effektivnosti protsessov perenosy teploty v elementakh energeticheskikh ustanovok. *Problemy regionalnoi energetiki*, 3 (47), 28–38.
15. Bystrov, Iu. A., Isaev, S. A., Kudriavtsev, N. A., Leontev, A. I. (2005). Chislennoe modelirovanie vikhrevoi intensivifikatsii teploobmena v paketakh trub. *Saint Petersburg: Sudostroenie*, 398.
16. Patankar, S. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere Publishing Corporation, New York, 152. doi: <http://doi.org/10.1201/9781482234213>
17. Bronshtein, I. N., Semendiaev, K. A. (1986). *Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchaschikhsia vtuzov*. Moskva: Fiz.-mat. Lit., 544.
18. Kuznetsov, V. V., Solomoniuk, D. N. (2008). Proektirovanie teploobmennykh apparatov dlia GTU slozhnykh tsiklov. *Visnik NTU „KHPI”*, 35, 78–88.
19. Gukhman, A. A. (2010). Primenenie teorii podobii k issledovaniiu protsessov teplo-massoobmena: Protssesy perenosy v dvizhusheisia srede. *LKI*, 330.
20. Kutateladze, S. S. (1990). *Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie*. Moscow: Energoatomizdat, 367.
21. Martynenko, O. G. (1987). *Spravochnik po teploobmennikam*. Vol. 2. Moscow: Energoatomizdat, 352.
22. Product & Specification (Marine division): Catalog. Available at: [http://www.kangrim.com/\\_kang/Catalog.pdf](http://www.kangrim.com/_kang/Catalog.pdf)
23. Exhaust Gas Heat Exchanger. Available at: <https://www.kelvion.com/products/product/exhaust-gas-heat-exchanger/>

24. Waste heat boiler. Available at: <https://www.viessmann.ae/en/industry/waste-heat-boilers.html>
25. Waste heat recovery heater. Available at: <https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/heaters/waste-heat-recovery-heater/>
26. DNV GL. Rules For Classification. Ships. Part 4 Systems and components. Chapter 7 Pressure equipment. Available at: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt4Ch7.pdf>
27. ISO 16528-1:2007. Boilers and pressure vessels. Part 1: Performance requirements. Available at: <https://www.iso.org/standard/41079.html>
28. EN 13445-3:2018-12. Unfired pressure vessels – Part 3: Design. German version EN 13445-3:2014. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/80b1e81a-4621-4fa3-937e-26b1003246b4/en-13445-3-2014>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217239

### DETERMINING A CHANGE IN THE COMPRESSED AIR TEMPERATURE DURING THE OPERATION OF A ROTARY PISTON ENGINE (p. 25–31)

**Oleksandr Mytrofanov**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3460-5369>

**Arkadii Proskurin**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5225-6767>

Experimental studies of change in the air temperature in a power unit with a prototype RPD-4.4/1.75 rotary-piston pneumatic motor were carried out to solve the problem of the negative impact of low temperatures of exhaust air on the pneumatic motor performance.

It has been established that an increase in rpm by 62 % leads to a drop of air temperature after reducer by 33 %. In this case, the maximum temperature drop during throttling is 21 K under conditions of maximum rpm and pressure of 0.8 MPa in the inlet receiver. It was found that under experimental conditions, the average differential Joule-Thomson effect is in the range of 0.8...3.9 K/MPa when throttling in the reducer for the pressure range of 0.4...0.8 MPa in the inlet receiver.

It was found that the temperature drop caused by air expansion in the working cylinder of the pneumatic motor is about 22 K in absence of regulation of the filling degree. At the same time, temperature fluctuations do not exceed 4.5 % depending on the change in the motor rpm and pressure in the inlet receiver.

A maximum temperature decrease in the power unit was obtained experimentally. Under the experimental conditions and depending on the study mode, the temperature drop from the initial storage value is from 35 to 43 K.

It was found that the amount of energy required for heating air at the inlet to the inlet receiver with a pressure of 0.6 MPa in the air storage temperature range of  $-5...-20$  °C is 0.14...1.99 kW. In this case, the ratio  $Q_p/N_c$  can reach 0.1...0.58, that is, in some operating modes, more than half of the produced power will actually be spent on air heating. Accordingly, the results obtained are useful and necessary when choosing conditions and operating modes of the pneumatic motor.

**Keywords:** rotary piston pneumatic motor, storage pressure, Joule-Thomson effect, air heating.

#### References

1. Degtiarev, V. I., Mialkovskii, V. I., Borisenko, K. S. (1979). *Shakhtnye pnevmomotory*. Moscow: Nedra, 192.
2. Zinevich, V. D., Iarmolenko, G. Z., Kalita, E. G. (19575). *Pnevmaticheskie dvigateli gornykh mashin*. Moscow: Nedra, 344.
3. Zinevich, V. D., Geshlin, L. A. (1982). *Porshnevye i shesterennye pnevmodvigateli gornoshakhtnogo oborudovaniia*. Moskva: Nedra, 200.
4. Yuan, Q., Guo, Z., Xie, X., Li, W., Duan, Q., Hao, H. (201). Effects of Low Temperature on Performance of Reciprocating Pneumatic Motor. International Conference on Computer, Mechatronics and Electronic Engineering (CMEE), 672–677. doi: <http://doi.org/10.12783/dtcese/cmee2017/20055>
5. Verma, S. S. (2013). Latest Developments of a Compressed Air Vehicle: A Status Report. *Global Journal of Researches in Engineering Automotive Engineering*, 13 (1), 14–23. Available at: [https://globaljournals.org/GJRE\\_Volume13/2-Latest-Developments-of-a-Compressed-Air.pdf](https://globaljournals.org/GJRE_Volume13/2-Latest-Developments-of-a-Compressed-Air.pdf)
6. Szablowska, L., Milewski, J. (2011). Dynamic analysis of compressed air energy storage in the car. *Journal of Power Technologies*, 91 (1), 23–36. Available at: <http://papers.its.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/196>
7. Liu, C., Xu, Y., Hu, S., Chen, H. (2015). Techno-economic analysis of compressed air energy storage power plant. *Energy Storage Science and Technology*, 4, 158–168. Available at: <http://www.energystorage-journal.com/EN/10.3969/j.issn.2095-4239.2015.02.006>
8. Wang, J., Lu, K., Ma, L., Wang, J., Dooner, M., Miao, S. et al. (2017). Overview of Compressed Air Energy Storage and Technology Development. *Energies*, 10 (7), 991. doi: <http://doi.org/10.3390/en10070991>
9. Diyoke, C., Aneke, M., Wang, M., Wu, C. (2018). Techno-economic analysis of wind power integrated with both compressed air energy storage (CAES) and biomass gasification energy storage (BGES) for power generation. *RSC Advances*, 8 (39), 22004–22022. doi: <http://doi.org/10.1039/c8ra03128b>
10. Budt, M., Wolf, D., Span, R., Yan, J. (2016). A review on compressed air energy storage: Basic principles, past milestones and recent developments. *Applied Energy*, 170, 250–268. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.108>
11. Sciacovelli, A., Li, Y., Chen, H., Wu, Y., Wang, J., Garvey, S., Ding, Y. (2017). Dynamic simulation of Adiabatic Compressed Air Energy Storage (A-CAES) plant with integrated thermal storage – Link between components performance and plant performance. *Applied Energy*, 185, 16–28. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.058>
12. Guo, Z., Deng, G., Fan, Y., Chen, G. (2016). Performance optimization of adiabatic compressed air energy storage with ejector technology. *Applied Thermal Engineering*, 94, 193–197. doi: <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.047>
13. Voronkov, A. I., Teslenko, E. V., Udovik, T. A. (2016). Opredelenie minimalno neobkhodimogo podogreva szhatogo vozdukh na vkhode v avtomobilnii pnevmodvigatel pri razlichnykh usloviakh ekspluatatsii. *Vestnik KHNADU*, 75, 100–108.
14. Voronkov, A. I., Nikitchenko, I. N. (2016). Influence of compressed heated air on effective performance of the pneumoengine workflow. *Internal Combustion Engines*, 2, 19–24. doi: <http://doi.org/10.20998/0419-8719.2016.2.04>
15. Voronkov, A. I. (2015). Zmnenie po skorostnym kharakteristikam pokazatelei rabocheho protsessa pri podogreve szhatogo vozdukh na vkhode v pnevmodvigatel. *Vestnik KHNADU*, 71, 13–16.
16. Voronkov, A. I. (2016). Vliianie podogreva szhatogo vozdukh na eksergeticheskii effektivnii KPD i nadezhnost raboty avtomobilnogo pnevmaticheskogo dvigatelja. *Vestnik TADI*, 2/3, 42–46.
17. Mytrofanov, O. S., Shabalin, Yu. V., Biriuk, T. F., Yefenina, L. O. (2019). Pat. No. 120489 UA. Porshneva mashyna. MPK: A23C 19/00. No. a201902189; declared: 10.09.2019; published: 10.12.2019, Bul. No. 23.
18. Mytrofanov, O. S. (2019). Stand for test and research of rotor-piston engines. *Collection of Scientific Publications NUS*, 1 (475), 51–57. doi: [http://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).7](http://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).7)
19. Anurov, S. A. (2017). *Kriogennye tekhnologii razdeleniia gazov*. Moscow: OOO «AR-Konsalt», 233. Available at: <http://co2b.ru/uploads/mon.2017.08.01.pdf>

20. Voronkov, O. I., Nikitchenko, I. M., Teslenko, E. V., Linkov, O. Yu., Nazarov, A. O. (2015). Pat. No. 101604 UA. Kombinovana sylova ustanovka avtotransportnoho zasobu. MPK: 7 V60K 6/00 V60K 5/00 F28C 3/00. No. u201502228; declared: 13.03.2015; published: 25.09.2015, Bul. No. 18.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218695

**INCREASING THE EFFICIENCY OF HEAT AND MASS EXCHANGE IN AN IMPROVED ROTARY FILM EVAPORATOR FOR CONCENTRATION OF FRUIT-AND-BERRY PUREE (p. 32–38)**

**Andrii Zahorulko**

Kharkiv State University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7768-6571>

**Aleksey Zagorulko**

Kharkiv State University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1186-3832>

**Maryna Yancheva**

Kharkiv State University of Food Technology and Trade,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6143-529X>

**Natalia Ponomarenko**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8263-2914>

**Hennadii Tesliuk**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4541-5720>

**Ekaterina Silchenko**

Luhansk National Agrarian University, Starobilsk, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7499-850X>

**Mariia Paska**

Ivan Boberskyj Lviv State University of Physical Culture,  
Lviv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9208-1092>

**Svetlana Dudnyk**

Poltava University of Economics and Trade, Poltava, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8228-7276>

An improved model of a rotary film evaporator with a cutting blade having a reflective surface and equipped with an autonomous heating system which is fed by a power supply from Peltier elements. The reflective surface of the advanced cutting blade had an area of 0.06 m<sup>2</sup> and was heated by a flexible film resistive electric heater of radiating type with a ~15...20 W power supply. This solution provides additional heating and mixing and helps to capture the cut-off layer of puree while reducing the useful surface of the working chamber by 7 %.

Most evaporators have a low heat transfer coefficient reducing the energy content of the process and final quality of the product. The heat exchange efficiency can be increased by improving the design of the film-forming element of the rotary film evaporator.

The use of the proposed cutting blade with a reflective surface enables an increase in the heat transfer coefficient by approximately 20 % compared to the basic rectangular blade design. When comparing the calculated data, it can be concluded that the main indicator of resource efficiency, namely specific energy consumption for heating a unit volume of product in the RFE amounts to 408 kJ/kg compared to 1,019 kJ/kg with the basic vacuum evaporator which means a 1.97 times consumption reduction. The duration of heat treatment in the RFE

is 60 s compared to 1 h in the basic VE which shows a significant reduction of raw material exposure to high temperatures. The obtained data show the effectiveness of engineering and technological solutions. The engineering and technological component of any heat and mass exchange processes, in particular the concentration of fruit-and-berry raw materials, is the main component in the production of semi-finished food products of a high degree of readiness.

**Keywords:** evaporation, rotary film evaporator, heat and mass exchange, heat transfer coefficient, fruit-and-berry raw materials.

**References**

- Alabina, N. M., Drozdova, V. I., Volodz'ko, G. V. et. al. (2006). Plodoovoshchnye konservy profilakticheskogo naznacheniya. Pishchevaya promyshlennost', 11, 78–79.
- Bakke, A. J., Carney, E. M., Higgins, M. J., Moding, K., Johnson, S. L., Hayes, J. E. (2020). Blending dark green vegetables with fruits in commercially available infant foods makes them taste like fruit. *Appetite*, 150, 104652. doi: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104652>
- Terpou, A., Papadaki, A., Bosnea, L., Kanellaki, M., Kopsahelis, N. (2019). Novel frozen yogurt production fortified with sea buckthorn berries and probiotics. *LWT*, 105, 242–249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.024>
- Shkuratov, O. I., Drebot, O. I., Chudovska, V. A. et. al. (2014). Kontseptsiya rozvytku orhanichnoho zemlerobstva v Ukraini do 2020 roku. Kyiv: TOV «Ekoinvestkom», 16.
- Vyrobnystvo orhanichnoi silhosproduktsiyi ta syrovyny (2014). Ahrobiznes sohodni. Available at: <http://agro-business.com.ua/agro/u-pravovomu-poli/item/1858-vyrobnystvo-orhanichnoi-silhosproduktsii-ta-syrovyny.html>
- Zahorulko, A., Zagorulko, A., Kasabova, K., Shmatchenko, N. (2020). Improvement of zefir production by addition of the developed blended fruit and vegetable paste into its recipe. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (104)), 39–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.185684>
- Pashniuk, L. O. (2012). Food industry of Ukraine: state, tendencies and perspectives of development. *Ekonomichniy chasopys-XXI*, 9-12, 60–63. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/48329/18-Pashniuk.pdf?sequence=1>
- Sashnova, M., Zahorulko, A., Savchenko, T., Gakhovich, S., Parkhomenko, I., Pankov, D. (2020). Improving the quality of the technological process of packaging shape formation based on the information structure of an automated system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 28–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205226>
- Silveira, A. C. P. (2015). Thermodynamic and hydrodynamic characterization of the vacuum evaporation process during concentration of dairy products in a falling film evaporator. *Food and Nutrition. Agrocampus Ouest*. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01342521>
- Ahmetović, E., Ibrić, N., Kravanja, Z., Grossmann, I. E., Maréchal, F., Čuček, L., Kermani, M. (2018). Simultaneous optimisation and heat integration of evaporation systems including mechanical vapour recompression and background process. *Energy*, 158, 1160–1191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.046>
- Cokgezme, O. F., Sabanci, S., Cevik, M., Yildiz, H., Icier, F. (2017). Performance analyses for evaporation of pomegranate juice in ohmic heating assisted vacuum system. *Journal of Food Engineering*, 207, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.03.015>
- Zahorulko, A., Zagorulko, A., Fedak, N., Sabadash, S., Kazakov, D., Kolodnenko, V. (2019). Improving a vacuum-evaporator with enlarged heat exchange surface for making fruit and vegetable semi-finished products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (11 (102)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178764>

13. Crespi-Llorens, D., Vicente, P., Viedma, A. (2018). Experimental study of heat transfer to non-Newtonian fluids inside a scraped surface heat exchanger using a generalization method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 75–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.115>
14. Imran, A., Rana, M. A., Siddiqui, A. M. (2017). Study of a Eyring–Powell Fluid in a Scraped Surface Heat Exchanger. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 4 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s40819-017-0436-z>
15. Acosta, C. A., Yanes, D., Bhalla, A., Guo, R., Finol, E. A., Frank, J. I. (2020). Numerical and experimental study of the glass-transition temperature of a non-Newtonian fluid in a dynamic scraped surface heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119525. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119525>
16. Hernández-Parra, O. D., Plana-Fattori, A., Alvarez, G., Ndoye, F.-T., Benkhelifa, H., Flick, D. (2018). Modeling flow and heat transfer in a scraped surface heat exchanger during the production of sorbet. *Journal of Food Engineering*, 221, 54–69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.027>
17. Liao, M., He, Z., Jiang, C., Fan, X., Li, Y., Qi, F. (2018). A three-dimensional model for thermoelectric generator and the influence of Peltier effect on the performance and heat transfer. *Applied Thermal Engineering*, 133, 493–500. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.080>
18. Zahorulko, A. M., Zahorulko, O. Ye. (2016). Pat. No. 108041 UA. Hnuchkyi plivkovyi rezystyvnyi elektronahrivach vprominiuyuchoho typu. No. u201600827; declared: 02.02.2016; published: 24.06.2016, Bul. No. 12. Available at: <http://uapatents.com/5-108041-gnuchkij-plivkovijj-rezistivnijj-elektronagrivach-vprominyuyuchogo-tipu.html>
19. Vakuum-vyparnoy apparat MZS-320. Available at: <https://www.mzko.com.ua/2015-08-03-00-59-07/vacuum-vyparnoy-apparat.html>
20. Cherevko, A., Mayak, O., Kostenko, S., Sardarov, A. (2019). Experimental and simulation modeling of the heat exchange process while boiling vegetable juice. *Prohresy vni tekhnika ta tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli*, 1 (29), 75–85.

DOI: [10.15587/1729-4061.2020.217274](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217274)

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING R718 FOR A HEAT PUMP OF A HEATING SYSTEM BASED ON A LIQUID-VAPOR EJECTOR (p. 39–44)**

**Serhii Sharapov**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8433-8580>

**Danylo Husiev**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4505-9084>

**Vitalii Panchenko**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9228-4888>

**Viktor Kozin**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9821-7774>

**Vadym Baha**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0131-631X>

The study explores the possibility of using water (R718) as a refrigerant for a heat pump installation of a heating system. This unit is a vapor compression heat pump with a regenerative heat exchanger in which the vacuum unit based on a liquid-vapor ejector is used instead of a scroll refrigeration compressor. The working

process of such an apparatus is based on implementing a fundamentally new cycle that does not require the supply of working steam from the outside. Instead, steam is generated inside the vacuum unit. The article describes the proposed installation and its differences from the traditional one, both in terms of circuit solutions and in terms of the operating cycle. A thermodynamic calculation was performed for the proposed installation with R718 as the working medium and the traditional heat pump systems operating on refrigerants R142b, R254fa, and R410a. As a result of the calculation, the parameters of all the devices included in these schemes were obtained, and the conversion factors of the cycles were determined. To assess the feasibility of using R718 as a working substance and replacing the scroll refrigeration compressor with a liquid-vapor ejector, an exergy analysis was performed. This made it possible to fairly accurately determine the effectiveness of each circuit, since it implemented the possibility of comparing systems using several types of energy (for example, electrical and thermal). As a result, the values of exergetic efficiency of traditional and proposed schemes were obtained. The final stage of the study was the performance of a thermoeconomic analysis. The estimated cost was determined for a unit of heat quantity per ton of the product and per unit of the heated area obtained in a unit with the working substance R718 and traditional installations with the working substances R142b, R254fa, and R410a.

**Keywords:** heat pump unit, heating system, liquid-vapor ejector, exergetic efficiency, thermoeconomic analysis.

**References**

1. Dincer, I., Kanoglu, M. (2011). *Refrigeration Systems and Applications*. Wiley, 480. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/Refrigeration+Systems+and+Applications%2C+2nd+Edition-p-9781119956709>
2. Huang, H. (Ed.) (2020). *Heat Pumps for Cold Climate Heating*. CRC Press, 378. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003029366>
3. Kharazi, A. A., Muller, N. (2006). Comparing Water (R718) to Other Refrigerants. *Process Industries*, 85–93. doi: <https://doi.org/10.1115/imece2006-13341>
4. Nyvad, J., Elefsen, F. (1993). Energy Efficient Cooling by Use of Cycloid Water Vapor Compressor. IIR, Proceedings of Ghent Meeting, 67–74.
5. Sarevski, V. N., Sarevski, M. N. (2012). Characteristics Of R718 Thermocompression Refrigerating / Heat Pump Systems With Two-Phase Ejectors. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Available at: <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/1214/>
6. Sharapov, S. O., Arsenyev, V. M., Kozin, V. M. (2017). Application of jet thermal compression for increasing the efficiency of vacuum systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 233, 012028. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/233/1/012028>
7. Arseniev, V. M., Meleichuk, S. S. (2018). *Teplovi nasosy: osnovy teorii i rozrakhunku*. Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet, 364. Available at: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/70532>
8. Tsatsaronis, Dzh. (2002). *Vzaimodeystvie termodinamiki i ekonomiki dlya minimizatsii stoimosti energopreobrazuyushchey sistemy*. Odessa: OOO «Studiya «Negotsiant», 152. Available at: <http://catalog.odnb.odessa.ua/opac/index.php?url=/notices/index/IdNotice:21748/Source:default>
9. Tsatsaronis, G. (2007). *Application of Thermoeconomics to the Design and Synthesis of Energy Plants*. Energy, Energy System Analysis, and Optimization. Available at: <http://www.eolss.net/ebooks/Sample%20Chapters/C08/E3-19-02-07.pdf>
10. Sharapov, S., Arsenyev, V., Protsenko, M. (2013). The use of liquid-vapor ejector in vacuum systems. *Compressors Conferences*. Smolenice. Available at: <https://szchkt.org/compressors/Contents/2013/proceedings.pdf>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218586**  
**ASSESSMENT OF GROUP REGULATION FEASIBILITY**  
**IN THERMAL POWER PLANT AUXILIARIES**  
**CAPACITY CONTROL (p. 45–53)**

**Viktor Vanin**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3523-7505>

**Oleksandr Lasurenko**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4409-629X>

**Mykola Kruhol**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6090-4875>

The method of group capacity regulation of centrifugal mechanisms is proposed to solve the problem of increasing the energy efficiency of thermal power plant auxiliaries. The method is based on using a group frequency converter for basic capacity regulation of centrifugal mechanisms. Additional regulation is commonly carried out by throttling, bypassing or changing the guide vane opening angle.

Analysis of auxiliary power consumption showed that due to ineffective regulation methods, the share of power consumption can reach 50 %.

A mathematical model of the centrifugal mechanism that allows for studying various regulation methods is developed. The task of finding optimal control parameters for a group of centrifugal mechanisms that ensure power boiler operation is stated and solved. By the results obtained, it was determined that group capacity regulation of boiler draft mechanisms is most rational. For the feed pump, an individual variable-frequency drive shall be used.

In contrast to the individual variable-frequency drive, the introduction of the group regulation method requires less investment. This method can significantly reduce the auxiliary power consumption of thermal power plants. The projected decrease in auxiliary power consumption is 10.7 %.

The results show the high efficiency of the group capacity regulation of centrifugal mechanisms, so this method can become a promising direction in increasing the energy efficiency of thermal power plants.

**Keywords:** variable-frequency drive, group regulation, centrifugal mechanism, auxiliaries.

### References

- Mandi, R. P., Yaragatti, U. R. (2012). Energy efficiency improvement of auxiliary power equipment in thermal power plant through operational optimization. 2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). doi: <https://doi.org/10.1109/pedes.2012.6484459>
- Tamminen, J., Viholainen, J., Ahonen, T., Ahola, J., Hammo, S., Vakkilainen, E. (2013). Comparison of model-based flow rate estimation methods in frequency-converter-driven pumps and fans. *Energy Efficiency*, 7 (3), 493–505. doi: <https://doi.org/10.1007/s12053-013-9234-6>
- Narkhede, J., Naik, S. (2016). Boiler feed pump control using variable frequency drive. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3 (4), 2444–2449. Available at: <http://www.academia.edu/download/54639146/IRJET-V3I4583.pdf>
- Kruhol, M., Lasurenko, O., Vanin, V., Tomashevskiy, R. (2019). Group Regulation Efficiency Analysis for Thermal Power Plant Auxiliaries. 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess.2019.8764242>
- Iyer, J., Tabarrae, K., Chiniforoosh, S., Jatskevich, J. (2011). An improved V/F control scheme for symmetric load sharing of multi-machine induction motor drives. 2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). doi: <https://doi.org/10.1109/ccece.2011.6030711>
- Jeftenic, B., Bebic, M., Statkic, S. (2006). Controlled multi-motor drives. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2006. SPEEDAM 2006. doi: <https://doi.org/10.1109/speedam.2006.1649985>
- Mitrovic, N., Kostic, V., Petronijevic, M., Jeftenic, B. (2009). Multi-Motor Drives for Crane Application. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 9 (3), 57–62. doi: <https://doi.org/10.4316/aece.2009.03011>
- Mandi, R. P., Yaragatti, U. R. (2008). Enhancing energy efficiency of Induced Draft Fans in Thermal Power Plants. *Proceedings of the Eighth IASTED International Conference Power and Energy Systems (EuroPES 2008)*. Corfu, 176–182.
- Kanyuk, G. I., Mezerya, A. Yu., Laptinov, I. P. (2014). A model of energy saving control using the discharge units of thermal power stations. *Вісник NTU “KhPI”. Seriya: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia*, 12 (1055), 90–97. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/8964/1/vestnik\\_HPI\\_2014\\_12\\_Kanyuk\\_Model.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/8964/1/vestnik_HPI_2014_12_Kanyuk_Model.pdf)
- Carlson, R. (2000). The correct method of calculating energy savings to justify adjustable-frequency drives on pumps. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36 (6), 1725–1733. doi: <https://doi.org/10.1109/28.887227>
- Mrzljak, V., Blecich, P., Anđelić, N., Lorencin, I. (2019). Energy and Exergy Analyses of Forced Draft Fan for Marine Steam Propulsion System during Load Change. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7 (11), 381. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse7110381>
- Shuping, W., Jiantao, Y., Wei, L., Xiaofeng, D., Zinian, C. (2012). Energy efficiency evaluation investigation on high voltage inverter retrofit for fans and pumps in power plants. Paris.
- Kruhol, N., Lasurenko, O., Vanin, V. (2020). An Algebraic Model of Gas-Hydraulic Network of Mechanisms with Electric Drive in the Problem of Thermal Power Plant Auxiliaries Optimization. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPI-Week). Kharkiv, 188–192. doi: <https://doi.org/10.1109/KhPI-Week51551.2020.9250085>
- Van Huffel, S., Vandewalle, J. (1991). *The Total Least Squares Problem: Computational Aspects and Analysis*. SIAM, 288. doi: <https://doi.org/10.1137/1.9781611971002>
- Vanin, V. A., Vanin, B. V., Kruhol, M. M. (2020). Mathematical modeling of thermal power plant’s boiler air-gas flow path regulation modes. *Вісник NTU “KhPI”. Seriya: Matematychni modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, 1 (1355), 8–15. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/47512/1/vestnik\\_KhPI\\_2020\\_1\\_MMTT\\_Vanin\\_Matematicheskoe.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/47512/1/vestnik_KhPI_2020_1_MMTT_Vanin_Matematicheskoe.pdf)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.219439**

**USING THE CONSTANT CURRENT – CONSTANT VOLTAGE CONVERTERS TO EFFECTIVELY REDUCE VOLTAGE FLUCTUATIONS IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS FOR ELECTRIC ARC FURNACES (p. 54–63)**

**Volodymyr Turkovskiy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1869-8139>

**Anton Malinovskiy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9765-3494>

**Andrii Muzychak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6330-1076>

**Olexandr Turkovskiy**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1402-1588>

AC electric arc furnaces (EAFs) are among the most common technological units for making high-quality steel. The use of furnaces is promising in the future as the production volumes of electric steel increase. These furnaces are powerful electrical installations exposed to the dynamic, asymmetrical, and nonlinear load, which adversely affects the quality indicators of electricity supply. Typically, this negative impact is reduced by connecting EAFs to high power energy systems or, in most cases, by applying different types of static reactive power compensators. Such approaches require considerable investment in the development of the power system or in the equipment of compensatory installations whose rated capacity is several times higher than the capacity of the furnace transformer.

These approaches aim to reduce the effects of negative impact. It is possible to achieve the greater effect of limiting the negative impact, at smaller investments, by using an alternative approach that aims directly at the source of the negative impact. The approach implementation implies forming an external characteristic of the EAF power supply. The characteristic should be rigid in current in the region of furnace operating modes from operational short circuit to the rated load. In the region of modes from the rated load to idling, this characteristic should be rigid in voltage. Underlying the formation of this characteristic is a resonance converter, which ensures almost a stable value of the arc current under the furnace operating modes.

This study has confirmed the significant benefits of the proposed approach, which proves more effective in improving the quality of electricity in the network. This makes it possible to use EAFs in smaller power systems and ensure the development of the industry at a lower investment.

**Keywords:** reducing the flicker dose, voltage fluctuations, electricity quality, electric arc furnace.

**References**

- IEEE Std 1453-2015 - IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2015.7317469>
- Ryzhnev, Yu. L., Mineev, R. V., Miheev, A. P., Smelyanskiy, M. Ya. (1975). Vliyaniye dugovykh elektropetchey na sistemy elektrosnabzheniya. Moscow: Energiya, 185.
- Testa, A., Akram, M. F., Burch, R., Carpinelli, G., Chang, G., Dinavahi, V. et. al. (2007). Interharmonics: Theory and Modeling. IEEE Transactions on Power Delivery, 22 (4), 2335–2348. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwr.2007.905505>
- Zhezhelenko, I. V., Shidlovskiy, A. K., Pivnyak, G. G., Saenko, Yu. L., Noyberger, N. A. (2012). Elektromagnitnaya sovместimost' potrebitel'ey. Moscow: Mashinostroeniye, 351.
- Zhezhelenko, I. V., Saenko, Yu. L., Baranenko, T. K. (2002). Spektral'niy analiz toka nagruzki istochnikov intergarmonik v promyshlennykh elektricheskikh setyah. Visnyk Pryazovskoho Derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, 12, 194–201.
- Yusoff, M. R., Jopri, M. H., Abdullah, A. R., Sutikno, T., Manap, M., Hussin, A. S. (2017). An Analysis of Harmonic and Interharmonic Contribution of Electric Arc Furnace by Using Periodogram. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 7 (6), 3753. doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3753-3760>
- Sarma, P. M., Jayaram Kumar, S. V. (2013). Electric Arc Furnace Flicker Mitigation in a Steel Plant Using a Statcom. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2 (1), 227–231. Available at: [http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%201/IJESIT201301\\_33.pdf](http://www.ijesit.com/Volume%202/Issue%201/IJESIT201301_33.pdf)
- Howroyd, D. C. (1979). Distortion and Unbalance From Abnormal Loads on a Power System. IFAC Proceedings Volumes, 12 (5), 233–240. doi: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)65310-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)65310-2)
- Białek, J., Wąsowski, A. (2005). Advantages of changing 3-phase ARC furnaces asymmetry estimation criteria in international and European standards. Electrical Power Quality and Utilisation, 11 (1), 93–96.
- Salor, O., Gultekin, B., Buhan, S., Boyrazoglu, B., Inan, T., Atalik, T. et. al. (2007). Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey. 2007 IEEE Industry Applications Annual Meeting. doi: <https://doi.org/10.1109/07ias.2007.67>
- Toma, A. I., Popa, G. N., Iagar, A., Deaconu, S. I. (2010). Experimental analysis of electric parameters of a 100 t UHP electric arc furnace. 2010 IEEE International Conference on Industrial Technology. doi: <https://doi.org/10.1109/icit.2010.5472563>
- Lukasik, Z., Olczykowski, Z. (2020). Estimating the Impact of Arc Furnaces on the Quality of Power in Supply Systems. Energies, 13 (6), 1462. doi: <https://doi.org/10.3390/en13061462>
- Khalik, H., Aziz, M. M. A., Farouk, E. (2011). Improvement of Power System Distribution Quality Due to Using Dc-Converter Loads and Electric Arc Furnaces. New York Science Journal, 4 (12), 10–19.
- Mayordomo, J. G., Prieto, E., Hernandez, A., Beites, L. F. (2000). Arc furnace characterization from an off-line analysis of measurements. Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No.00EX441). doi: <https://doi.org/10.1109/ichqp.2000.896877>
- Donsión, M. P., Oliveira, F. (2007). AC arc furnaces flicker measurement with and without a SVC system connected. Renewable Energy and Power Quality Journal, 1 (05), 785–788. doi: <https://doi.org/10.24084/repqj05.383>
- Issouribehere, P. E., Issouribehere, F., Barbera, G. A. (2005). Power quality measurements and operating characteristics of electric arc furnaces. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005. doi: <https://doi.org/10.1109/pes.2005.1489388>
- Lu, C.-W., Huang, S.-J., Huang, C.-L. (2000). Flicker characteristic estimation of an AC electric arc furnace. Electric Power Systems Research, 54 (2), 121–130. doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-7796\(99\)00080-2](https://doi.org/10.1016/s0378-7796(99)00080-2)
- Nikoloski, L., Rafajlovski, G. (2000). Power quality aspects of arc steel melting furnace. A case study. 2000 10th Mediterranean Electrotechnical Conference. Information Technology and Electrotechnology for the Mediterranean Countries. Proceedings. Melcon 2000 (Cat. No.00CH37099). doi: <https://doi.org/10.1109/melcon.2000.879681>
- Larsson, T., Poumarede, C. (1999). STATCOM, an efficient means for flicker mitigation. IEEE Power Engineering Society. 1999 Winter Meeting (Cat. No.99CH36233). doi: <https://doi.org/10.1109/pesw.1999.747380>
- Mustafa, D., Sridhar, P., Bhaskar, V., Aditya, P. (2017). Compensation of Voltage Flicker by Using Statcom and Facts Devices. International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, 5 (8), 122–130. Available at: <https://www.ijireice.com/upload/2017/august-17/IJIREICE%2020.pdf>
- Tadivaka, T., Srikanth, M., Muni, T. V. (2014). THD reduction and voltage flicker mitigation in power system base on STATCOM. International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES2014). doi: <https://doi.org/10.1109/icices.2014.7034161>
- Vorganti, D., Sriram, C. (2014). Implementation of SPWM Technique in D-STATCOM for Voltage Sag and Swell. International Electrical Engineering Journal (IEEJ), 5 (12), 1649–1654.

23. Couvreur, M. (2001). The concept of short-circuit power and the assessment of the flicker emission level. 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2001). doi: <https://doi.org/10.1049/cp:20010765>
24. DeDad, J. (2007). Flicker: Causes, Symptoms, and Cures. Electrical Construction and Maintenance. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/298602970>
25. Igbinovia, F. O., Fandi, G., Svec, J., Muller, Z., Tlustý, J. (2015). Comparative review of reactive power compensation technologies. 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). doi: <https://doi.org/10.1109/epe.2015.7161066>
26. Naderi, Y., Hosseini, S. H., Ghassem Zadeh, S., Mohammadi-Ivatloo, B., Vasquez, J. C., Guerrero, J. M. (2018). An overview of power quality enhancement techniques applied to distributed generation in electrical distribution networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 201–214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.013>
27. Jirange, S. N., Kinge, A. P. (2017). A Review on Power Quality Compensation Devices. *International Journal of Scientific Development and Research (IJSDDR)*, 2 (9), 29–36.
28. Shahgholian, G., Golibagh, M. (2012). Compensation for Power Quality Improvement in Electric Arc Furnace with Considering Economic Index. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 6 (1), 62–69.
29. Chandra, B., Visali, N. (2013). Optimal Placement of SVC with Cost Effective Function Using Particle Swarm Optimization. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 1 (2), 41–45. Available at: <http://warse.org/pdfs/2013/ijeter02122013.pdf>
30. Grunbaum, R., Dosi, D., Rizzani, L. (2005). SVC for maintaining of power quality in the feeding grid in conjunction with an electric arc furnace in a steel plant. 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2005). doi: <https://doi.org/10.1049/cp:20051037>
31. Gajjar, K., Patel, P., Rawal, D. (2017). Modelling and Simulation of STATCOM Device for Voltage Flickering Mitigation. National Conference on Emerging Trends, Challenges & Opportunities in Power Sector. Published by IJSRD, 72–80. Available at: <https://www.academia.edu/31706912>
32. VeeraRaghava, J. H. V., Sekhar, K. C. (2012). Effective Mitigation of Voltage Flicker in Power System using 12-Pulse Converter based Statcom. *International Journal of Computer Applications*, 44 (18), 22–26. doi: <https://doi.org/10.5120/6363-8458>
33. Hackl, G., Renner, H., Krasnitzer, M., Hofbauer, C. (2012). Electric Arc Furnace with Static Var Compensator – Planning and Operational Experience. 10th EEC European Electric Steelmaking Conference. Graz, 457–464.
34. Liberado, E. V., Souza, W. A., Pomilio, J. A., Paredes, H. K. M., Marafao, F. P. (2013). Design of static VAr compensator using a general reactive energy definition. International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation 2013 (ISNCC 2013). doi: <https://doi.org/10.1109/isncc.2013.6604455>
35. Yanushkevich, A., Müller, Z., Švec, J., Tlustý, J., Valouch, V. (2014). Power Quality Enhancement using STATCOM with Energy Storage. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 349–354. doi: <https://doi.org/10.24084/repq12.336>
36. Yazdani, A., Crow, M. L., Guo, J. (2009). An Improved Nonlinear STATCOM Control for Electric Arc Furnace Voltage Flicker Mitigation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24 (4), 2284–2290. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2009.2027508>
37. Pires, I. A., Cardoso, M. M. G., Cardoso Filho, B. J. (2016). An Active Series Reactor for an Electric Arc Furnace: A Flexible Alternative for Power-Flow Control. *IEEE Industry Applications Magazine*, 22 (5), 53–62. doi: <https://doi.org/10.1109/mias.2015.2459093>
38. Samet, H., Ghanbari, T., Ghaisari, J. (2014). Maximizing the transferred power to electric arc furnace for having maximum production. *Energy*, 72, 752–759. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.105>
39. Gała, M. (2019). Praca pieca łukowego AC w systemie elektroenergetycznym. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (12), 248–253. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2019.12.56>
40. Elnady, A., Salama, M. M. A. (2007). Mitigation of the voltage fluctuations using an efficient disturbance extraction technique. *Electric Power Systems Research*, 77 (3-4), 266–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.03.011>
41. Malinovskyi, A., Turkovskiy, V., Muzychak, A., Turkovskiy, Y. (2018). The Efficient Power Supply Scheme of Alternating Current Electric Arc Furnaces. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559585>
42. Turkovskiy, V., Malinovskyi, A., Muzychak, A., Turkovskiy, O. (2019). The Simulation and Analysis of the Probabilistic Characteristics of Schemes for Power Supply of Electric Arc Furnaces in Non-symmetric Modes. 2019 IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). doi: <https://doi.org/10.1109/cpee47179.2019.8949144>
43. Volkov, I. V., Gubarevich, V. N., Isakov, V. N., Kaban, V. P. (1981). Printsipy postroeniya i optimizatsiya shem induktivno-emkostnyh preobrazovateley. Kyiv: Naukova dumka, 173.
44. Volkov, I. V., Styazhkin, V. P., Podol'nyy, S. V. (2009). Sistemy stabilizirovannogo toka dlya avtomatizirovannyh elektroprivodov. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi akademiyi nauk Ukrainy*, 23, 64–71.
45. Malinovskyi, A. A., Turkovskiy, V. H., Muzychak, A. Z., Turkovskiy, Y. V. (2019). Peculiarities of the reactive power flow in the arc furnace supply circuit with improved electromagnetic compatibility. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 79–86. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-2/10>
46. Turkovskiy, V. G., Zhovnir, Yu. M. (2001). Obosnovanie effektivnosti primeneniya ustanovki stabilizatsii rezhima v sisteme elektrosnabzheniya dugovyh staleplavil'nyh pechey peremennogo toka. *Promyshlennaya energetika*, 5, 40–44.
47. IEC 61000-4-15 Ed. 2.0 b:2010. (2010). Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and Measurement Techniques. Flickermeter - Functional and Design Specifications.
48. Ivanov, V. S., Sokolov, V. I. (1987). Rezhimy potrebleniya i kachestvo elektroenergii sistem elektrosnabzheniya promyshlennyh predpriyatiy. Moscow: Energoatomizdat, 336.

## АНОТАЦІЇ

## ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213246****МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОЗБУДЖУВАНОВОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ВІТРЯНОЮ ТУРБІНОЮ (с. 6–16)****Ammar Shamil Ghanim, Ahmed Nasser B. Alsammak**

Завдяки чудовим характеристикам, автономний короткозамкнений асинхронний самозбуджуваний генератор (АСГ) широко використовується з поновлюваними джерелами енергії. Однак основною проблемою автономних АСГ є погане регулювання напруги і частоти (при збуреннях навантаження і швидкості). Широка залежність від АСГ вимагає попередніх знань про його поведінку по відношенню до змін вхідної механічної потужності і вихідної електричної потужності для розробки системи управління, здатної підтримувати напругу і частоту на номінальних значеннях, наскільки це можливо, при будь-якій зміні вхідної або вихідної потужності АСГ. У даній статті з використанням середовища Matlab/Simulink в стаціонарній системі відліку  $d-q$  була побудована математична модель системи перетворення енергії вітру (СПЕВ) на основі короткозамкнутого АСГ з управлінням узагальненим опором (УУО). Для управління параметрами УУО використовувався нечіткий логічний регулятор (НЛР). Навчання НЛР проводилося на нейронній мережі за допомогою Matlab's Neuro-fuzzy designer. Результати даної роботи показали, що навчений НЛР успішно управляє потоком реальної і реактивної потужності між АСГ і системою УУО, в якій максимальна зміна як величини, так і частоти напруги, при будь-якому збуренні навантаження або швидкості вітру не перевищуватиме (0,2 %) для частоти і (3 %) для величини напруги в обох напрямках. Апробація моделі АСГ була проведена шляхом порівняння отриманих результатів з результатами відомих досліджень з аналогічними характеристиками і умовами експлуатації.

**Ключові слова:** асинхронний генератор, вітряна турбіна, автономна система, динамічна модель, ANFIS, УУО.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214829****ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛАДКИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ ТЕПЛОБІМІННИХ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КОМПАКТНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК (с. 17–24)****В. В. Кузнецов**

Представлено обґрунтування використання гладких профільованих поверхонь не круглого поперечного перерізу для підвищення компактності енергетичних установок. Обґрунтовано критерій теплогідрравлічної компактності поверхні, що враховує компоновку і розташування елементів теплопередачі і їх теплогідрравлічну ефективність. Для моделювання процесів руху та переносу теплоти в елементах енергетичних установок використаний метод обчислювальної гідродинаміки. Проведена верифікація з наявними літературними даними, розбіжність результатів не перевищила 2,4 %. Показано, що для поодиноких профілів еліптичного і плоскоовального перерізу існує локальний максимум ефективності, який досягається при співвідношенні осей 2,5 для еліптичного і 2,75 для плоскоовального. Проведено дослідження зміни коефіцієнта тепловіддачі по рядах трубного пучка. Отримано, що для пучка еліптичних труб стабілізація тепловіддачі настає з п'ятого ряду. Розглянуто поверхні теплопередачі, виконані з круглих, еліптичних і плоскоовальних труб з різними поєднаннями геометричних характеристик. Отримано, що на основі еліптичних труб можливе зниження об'єму теплопередавальної поверхні і підвищення компактності всієї енергетичної установки, на 18,3 % в порівнянні з круглими трубами і на 2,4 % в порівнянні з плоскоовальними. Обґрунтовано безрозмірні показники маси, об'єму, функціональної ефективності та ресурсу теплообмінного апарату, що дозволяють проводити їх порівняння в складі різних енергетичних установок. Показано, що доцільно продовжити дослідження особливостей процесів переносу теплоти в стиснених, з співвідношеннями відносних поздовжніх і поперечних кроків менше 1,5, пучках еліптичних труб зі співвідношенням осей 2,5.

**Ключові слова:** енергетична установка, компактність, теплообмінний апарат, теплогідрравлічна ефективність, профільована поверхня, RSM–модель турбулентності.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217239****ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ СТИСНУТОГО ПОВІТРЯ ПРИ РОБОТІ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА (с. 25–31)****О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін**

Проведено експериментальні дослідження зміни температури повітря в енергетичній установці з дослідним зразком роторно-поршневого пневмодвигуна РПД-4,4/1,75, яке направлено на вирішення проблеми негативного впливу низьких температур відпрацьованого повітря на працездатність пневмодвигуна.

Встановлено, що збільшення обертів на 62 % призводить до зниження температури повітря після редуктора на 33 %. При цьому максимальне падіння температури при дроселюванні в умовах максимальних обертів та тиску у впускному ресивері 0,8 МПа складає 21 К. Визначено, що в умовах проведення експерименту середній диференціальний ефект Джоуля–Томсона при дроселюванні в редукторі для діапазону тиску у впускному ресивері 0,4...0,8 МПа знаходиться в межах 0,8...3,9 К/МПа.

Встановлено, що зниження температури внаслідок розширення повітря в робочому циліндрі пневмодвигуна при відсутності регулювання ступеня наповнення становить близько 22 К. При цьому коливання температури в залежності від зміни обертів і тиску у впускному ресивері не перевищує 4,5 %.

Експериментально отримано максимальне зниження температури в енергетичній установці. В умовах проведення експерименту, а також залежно від режиму дослідження, падіння температури від початкового значення зберігання складає від 35 до 43 К.

Встановлено, що необхідну кількість енергії для підігріву повітря на вході в впускний ресивер з тиском 0,6 МПа для діапазону температур зберігання повітря  $-5...-20$  °С становить 0,14...1,99 кВт. При цьому відношення  $Q_{н}/N_{с}$  може досягати 0,1...0,58, тобто на деяких режимах експлуатації більше половини виробленої потужності фактично буде витрачатися на підігрів повітря. Відповідно, отримані результати є корисними та необхідними при виборі умов та режимів експлуатації пневмодвигуна.

**Ключові слова:** роторно-поршневий пневмодвигун, тиск зберігання, ефект Джоуль-Томсона, підігрів повітря.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218695**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІНУ УДОСКОНАЛЕНОГО РОТОРНОГО ПЛІВКОВОГО ВИПАРНИКА ДЛЯ КОНЦЕНТРУВАННЯ ПЛОДОЯГІДНИХ ПЮРЕ (с. 32–38)**

**А. М. Загорулько, О. Є. Загорулько, М. О. Янчева, Н. О. Пономаренко, Г. В. Теслюк, К. П. Сільченко, М. З. Паска, С. О. Дудник**

Удосконалена модель роторного плівкового випарника зі зрізуючою лопаттю забезпеченою відбивальною поверхнею з автономною системою обігрівання за рахунок енергії живлення елементів Пельтье. Площа відбивальної поверхні вдосконаленої зрізуючої лопаті складає (0,06 м<sup>2</sup>), а її обігрів здійснюється гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу з потужністю живлення ~ 15...20 Вт. Це забезпечує додаткове нагрівання, переміщення та сприяє уловлюванню шару пюре, що зрізається, зменшуючи корисну поверхню робочої камери на 7 %.

Більшість випарних апаратів мають невисокий коефіцієнт теплообміну, знижуючи енергоємність процесу та кінцеву якість отриманої продукції. Підвищити ефективності теплообміну можливо шляхом вдосконалення конструкції плівкоутворюючого елементу роторного плівкового випарника.

Використання запропонованої зрізуючої лопаті з відбивальною поверхнею призводить до збільшення коефіцієнта тепловіддачі приблизно на 20 % в порівнянні з базовою конструкцією прямокутної лопаті. Порівнюючи отримані розрахункові дані, можна зробити висновок, що основний показник ресурсоефективності, а саме питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в РПВ, – 408 кДж/кг, в порівнянні з базовим вакуум-випарним апаратом – 1019 кДж/кг, що характеризує зменшення витрат в 1,97 рази. При цьому тривалість термічної обробки в РПВ – 60 с, а в базовому ВВА 1 год, що показує суттєве зниження температурного впливу на сировину. Отримані дані свідчать про ефективність конструктивно-технічних рішень. Інженерно-технологічна складова будь-яких тепломасообмінних процесів, зокрема концентрування плодоягідної сировини, є основною під час виробництва харчових напівфабрикатів високого ступеня готовності.

**Ключові слова:** випарювання, роторний плівковий випарник, тепломасообмін, коефіцієнт тепловіддачі, плодоягідна сировина.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217274**

### **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ R718 ДЛЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ НА БАЗІ РІДИННО-ПАРОВОГО ЕЖЕКТОРА (с. 39–44)**

**С. О. Шарпов, Д. М. Гусєв, В. О. Панченко, В. М. Козін, В. М. Бага**

Розглянуто можливість застосування води (R718) в якості холодильного агента для теплонасосної установки системи опалення. Дана установка є парокompресійним тепловим насосом з регенеративним теплообмінником, у якому замість спірального холодильного компресора застосовується вакуумний агрегат на базі рідинно-парового ежектора. Робочий процес такого апарату заснований на реалізації принципово нового циклу, що не потребує підведення робочої пари ззовні. Натомість пара генерується всередині вакуумного агрегату. Наведено опис запропонованої установки та її відмінностей від традиційної, як за схемним рішенням, так і за робочим циклом. Проведено термодинамічний розрахунок запропонованої установки на робочому середовищі R718 та традиційних теплонасосних систем, які працюють на таких холодильних агентах як R142b, R254fa і R410a. У результаті розрахунку отримано параметри усіх апаратів, що входять до цих схем, та визначено коефіцієнти перетворення циклів. Для оцінки доцільності застосування R718 як робочої речовини для такої установки і заміни спірального холодильного компресора на рідинно-паровий ежектор виконано ексергетичний аналіз. Це дає змогу достатньо точно визначити ефективність кожної з схем, оскільки у ньому реалізовано можливість порівняння систем, які використовують декілька видів енергії (наприклад, електричну і теплову). У результаті ексергетичного аналізу було отримано значення ексергетичної ефективності традиційних та запропонованої схем. Заключним етапом дослідження було виконання термоекономічного аналізу. Отримано оцінку вартість одиниці кількості тепла на тонну продукту та на одиницю опалюваної площі, одержуваного в установці з робочим речовиною R718 і традиційними установками з робочими речовинами R142b, R254fa, R410a.

**Ключові слова:** теплонасосна установка, система опалення, рідинно-паровий ежектор, ексергетична ефективність, термоекономічний аналіз.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218586**

### **ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГРУПОВОГО СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ (с. 45–53)**

**В. А. Ванін, О. П. Лазуренко, М. М. Кругол**

Запропоновано використання групового способу регулювання продуктивності відцентрових механізмів для вирішення задачі підвищення енергоефективності в системах власних потреб теплових електричних станцій. Спосіб базується на використанні гру-

пового перетворювача частоти для базового регулювання продуктивності відцентрових механізмів. Дорегулювання відбувається класичними способами – дроселюванням, байпасуванням або зміною кута відкриття направляючого апарату.

Аналіз споживання електричної енергії на власні потреби показав, що внаслідок використання неефективних способів регулювання частка споживання електричної енергії може досягати 50 %.

Розроблена математична модель відцентрового механізму, що враховує можливість дослідження різних способів його регулювання. Була поставлена і вирішена задача знаходження оптимальних параметрів керування групою відцентрових механізмів, що забезпечують роботу парового енергетичного котла. На основі отриманих результатів було визначено, що найбільш доцільно використовувати групове регулювання продуктивності для тяго-дутьових механізмів котла. Для живильного насосу необхідно використовувати індивідуальний частотно-регульований привод.

На відміну від індивідуального частотно-регульованого приводу, впровадження групового способу регулювання потребує менших капіталовкладень. Використання такого способу дозволяє значно зменшити споживання електричної енергії в системах власних потреб теплових електричних станцій. Прогнозоване зменшення споживання електричної енергії на власні потреби складає 10,7 %.

Отримані результати показують високу ефективність використання групового регулювання продуктивності відцентрових механізмів, а тому даний спосіб може стати перспективним напрямом у підвищенні енергоефективності теплових електричних станцій.

**Ключові слова:** частотно-регульований привід, групове регулювання, відцентровий механізм, система власних потреб.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.219439

## **ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СТАЛИЙ СТРУМ – СТАЛА НАПРУГА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗНИЖЕННЯ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ У МЕРЕЖАХ ЖИВЛЕННЯ ДУГОВИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧЕЙ (с. 54–63)**

**В. Г. Турковський, А. А. Маліновський, А. З. Музичак, О. В. Турковський**

Дугові сталеплавильні печі змінного струму (ЕАФ) є одними з найпоширеніших технологічних агрегатів для отримання високоякісної сталі. Використання печей має перспективу й надалі, позаяк темпи виробництва електросталі зростають. Ці печі є потужними електричними установками з динамічним, несиметричним й нелінійним навантаженням, що негативно впливає на показники якості електроенергії мережі живлення. Традиційно цей негативний вплив знижують живленням ЕАФ від енергосистем великої потужності або, у більшості випадків, використанням різних типів статичних компенсаторів реактивної потужності. Такі підходи потребують значного інвестування у розвиток енергосистеми або у обладнання компенсувальних установок, встановлена потужність яких у декілька разів перевищує потужність пічного трансформатора.

Ці підходи є скеровані на зниження наслідків негативного впливу. Більший ефект обмеження негативного впливу з меншими інвестиціями може дати альтернативний підхід, який спрямований безпосередньо на джерело негативного впливу. Реалізація підходу полягає у формуванні зовнішньої характеристики джерела живлення ЕАФ. Характеристика повинна бути жорсткою за струмом у області робочих для печі режимів від експлуатаційного короткого замикання до номінального навантаження. У області режимів від номінального навантаження до неробочого ходу ця характеристика повинна бути жорсткою за напругою. Основою формування такої характеристики може бути резонансний перетворювач, який забезпечує практично сталі значення струму дуги у робочих режимах печі.

Дослідженнями доведено суттєві переваги запропонованого підходу, який ефективніше покращує якість електроенергії у мережі. Це дає можливість використовувати ЕАФ у енергосистемах меншої потужності й забезпечувати розвиток галузі з меншими інвестиціями.

**Ключові слова:** зниження дози флікера, коливання напруги, якість електроенергії, дугова сталеплавильна піч.