

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254477

BUILDING AN ADAPTIVE HYBRID MODEL FOR SHORT-TERM PREDICTION OF POWER CONSUMPTION USING A NEURAL NETWORK (p. 6–12)**Gulnara Ibrayeva**Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0158-5333>**Yuliya Bulatbayeva**Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3900-5568>**Yermek Sarsikev**S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>

This paper proposes a step-by-step technique for combining basic models that forecast electricity consumption in an artificial neural network by the method of preliminary selection and further hybridization. The reported experiments were conducted using data on hourly electricity consumption at the metallurgical plant AO ArcelorMittal Temirtau in the period from January 1, 2019, to November 30, 2021. The current research is related to the planned introduction of a balancing electricity market. 96 combinations of basic models were compiled, differing in the type of neural network, the set of initial data, the order of lag, the learning algorithm, and the number of neurons in the hidden layer. It has been determined that the NARX-type network is the most optimal architecture to forecast electricity consumption. Based on experimental studies, the number of hidden neurons needed to form a planned daily profile should equal 3 or 4; it is recommended to use the conjugate gradient method as a learning algorithm. When selecting models from three groups, it was revealed that the conjugate gradient method produces better results compared to the Levenberg-Marquardt algorithm. It is determined that the values of the selected RMSE error indicator take values of 23.17, 22.54, and 22.56, respectively, for the first, second, and third data groups. The adaptive hybridization method has been shown to reduce the RMSE error rate to 21.73. However, the weights of the best models with values of 0.327 for the first group of data, and 0.336 for the second and third ones, show that the individual use of a separate combination of models is also applicable. The devised forecasting electricity consumption model can be integrated into an automated electricity metering system.

Keywords: short-term forecasting, weighted average forecast, hybrid model, neural network, electrical load.

References

1. On Electric Power Industry. Law of the Republic of Kazakhstan dated 9 June 2004 No. 588. Available at: https://adilet.zan.kz/eng/docs/Z040000588_
2. Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya toplivno-energeticheskogo kompleksa Respubliki Kazakhstan do 2030 goda. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 28 iyunya 2014 goda No. 724. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1400000724>
3. Ob utverzhdenii Pravil organizatsii i funktsionirovaniya optovogo rynka elektricheskoy energii. Prikaz Ministra energetiki Respubliki Kazakhstan ot 20 fevralya 2015 goda No. 106. Zaregistririvan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 26 marta 2015 goda No. 10531. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010531>
4. Ob utverzhdenii Pravil funktsionirovaniya balansiruyushego rynka elektricheskoy energii. Prikaz Ministra energetiki Respubliki Kazakhstan ot 20 fevralya 2015 goda No. 112. Zaregistririvan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 26 marta 2015 goda No. 10532. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010532>
5. Breido, J. V., Kalinin, A. A., Lissitsyn, D. V. (2018). Algorithms of Energy Efficient Control of Electric Technological Complex for Autonomous Heat Supply. EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 5 (19), 155040. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.10-7-2018.155040>
6. Li, W.-Q., Chang, L. (2018). A combination model with variable weight optimization for short-term electrical load forecasting. Energy, 164, 575–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.027>
7. Ibrayeva, G., Breido, I., Bulatbayeva, J. (2021). Application of Box-Jenkins Methodology in Electric Consumption Forecasting of a Metallurgical Enterprise. DAAAM Proceedings, 0493–0499. doi: <https://doi.org/10.2507/32nd.daaam.proceedings.071>
8. Ahmad, T., Zhang, D., Shah, W. A. (2020). Efficient Energy Planning With Decomposition-Based Evolutionary Neural Networks. IEEE Access, 8, 134880–134897. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3010782>
9. Serikov, T., Zhetpisbayeva, A., Mirzakulova, S., Zhetpisbayev, K., Ibrayeva, Z., Soboleva, L. et. al. (2021). Application of the NARX neural network for predicting a one-dimensional time series. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (4 (113)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242442>
10. Ghofrani, M., Azimi, R., Najafabadi, F. M., Myers, N. (2017). A new day-ahead hourly electricity price forecasting framework. 2017 North American Power Symposium (NAPS). doi: <https://doi.org/10.1109/naps.2017.8107269>
11. Mulesa, O., Povkhan, I., Radivilova, T., Baranovskiy, O. (2021). Devising a method for constructing the optimal model of time series forecasting based on the principles of competition. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (4 (113)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.240847>
12. Georgiou, G. S., Nikolaidis, P., Kalogirou, S. A., Christodoulides, P. (2020). A Hybrid Optimization Approach for Autonomy Enhancement of Nearly-Zero-Energy Buildings Based on Battery Performance and Artificial Neural Networks. Energies, 13 (14), 3680. doi: <https://doi.org/10.3390/en13143680>
13. Pan, L., Feng, X., Sang, F., Li, L., Leng, M., Chen, X. (2017). An improved back propagation neural network based on complexity decomposition technology and modified flower pollination optimization for short-term load forecasting. Neural Computing and Applications, 31 (7), 2679–2697. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3222-2>
14. Mosbah, H., El-hawary, M. (2016). Hourly Electricity Price Forecasting for the Next Month Using Multilayer Neural Network. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, 39 (4), 283–291. doi: <https://doi.org/10.1109/cjece.2016.2586939>
15. Breido, J. V., Bulatbayeva, J. F., Orazgaleyeva, G. D. (2020). Daily load profile analysis of metallurgical production for determining the forecasting model input data. Vestnik PGU, 2, 88–97. Available at: <http://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/journals/80.pdf>
16. Kaytez, F., Taplamacioglu, M. C., Cam, E., Hardalac, F. (2015). Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 67, 431–438. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.12.036>
17. Lee, N. C., Leal, V. M. S., Dias, L. C. (2018). Identification of objectives for national energy planning in developing countries. En-

ergy Strategy Reviews, 21, 218–232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.05.004>

18. López, M., Valero, S., Rodriguez, A., Veiras, I., Senabre, C. (2018). New online load forecasting system for the Spanish Transport System Operator. *Electric Power Systems Research*, 154, 401–412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.09.003>
19. Jimenez, J., Donado, K., Quintero, C. G. (2017). A Methodology for Short-Term Load Forecasting. *IEEE Latin America Transactions*, 15 (3), 400–407. doi: <https://doi.org/10.1109/tla.2017.7867168>
20. Angamuthu Chinnathambi, R., Mukherjee, A., Campion, M., Salehfar, H., Hansen, T., Lin, J., Ranganathan, P. (2019). A Multi-Stage Price Forecasting Model for Day-Ahead Electricity Markets. *Forecasting*, 1 (1), 26–46. doi: <https://doi.org/10.3390/forecast1010003>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255740

ASSESSING THE REGION'S ENERGY PROVISION (p. 13–20)

Igor Kozlov

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0435-6373>

Vyacheslav Kovalchuk

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8696-4414>

Oleksandr Klymchuk

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5207-7259>

Olga Dorozh

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8495-2911>

Alexandr Sigal

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9436-2675>

Inna Aksyonova

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3210-3405>

Yuriy Elkin

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7677-377X>

This paper considers the task of ensuring the energy and environmental security of regions under the conditions of shortage of traditional energy resources. The method of expert assessments has been applied to justify the choice of types of acceptable energy resources that provide an increase in the relative energy supply of the territories of the regions.

A list of factors from 6 groups has been devised and compiled that includes 27 indicators characterizing the technological, environmental, and other consumer characteristics of energy resources available for use.

The maximum and minimum values of the indicator scores, the permissible intervals for their change, and the weighting coefficients that assess the importance of the indicator in the list have been determined.

The method of expert assessments is supplemented by a random number generator for the formation of an information field on the values of the characteristics of energy resources and statistical processing of data on acceptable energy resources under the conditions of the considered regions.

A quantitative comparative analysis of available energy resources and technologies based on them was carried out. It is proposed to use the acceptability index and the environmental conservation index as a criterion for the preference of a resource. Index values equal to or greater than 1 indicate resource preference. It is shown that for the base region under consideration, such resources are nuclear, solar, wind, and hydropower.

The method of expert assessments makes it possible to get an objective idea of the acceptability of using a certain energy resource to ensure energy security, taking into consideration its environmental impact in a particular region of the country.

A quantitative comparative analysis of the state of the existing structure of energy resources in the region and their availability has been carried out.

To conduct a comparative analysis of acceptability by indicators and types of resources, a graphical and analytical methodology was used. The reliability of the results obtained was assessed using a concordance coefficient.

The results could be useful for devising projects for the development and ensuring the energy security of the regions in the context of reforms.

Keywords: expert assessments, applicability, energy resources, energy security, environmental friendliness, acceptability, environmental conservation index.

References

1. Karta raspolozheniya i soedineniya vseh elektrostantsiy Ukrainy. Available at: <https://www.imbf.org/karty/images/elektrostantsiy-ukrainy-hq.jpg>
2. Kolykhaeva, Yu. A., Filyushina, K. E. (2012). Kompleksnaya otsenka effektivnosti funktsionirovaniya sistemy teplosnabzheniya. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 1 (37), 322–325.
3. Polischuk, V., Mironenko, V., Tarasenko, S. (2012). Iskopaemye toplivno-energeticheskie resursy. *MOTROL*, 3, 126–139.
4. Energetika Ukrainy: ee struktura i geografiya. Available at: <https://fb.ru/article/372363/energetika-ukrainyi-struktura-geografiya-problemyi-i-perspektivy-razvitiya-otrasli>
5. Dubovskoy, S. V. (2008). Modern problems and prospects of thermal power development. *The Problems of General Energy*, 18, 7–15. Available at: http://pge.org.ua/index.php?option=com_docman&task=art_details&mid=20082&gid=154&lang=en
6. Popel', O. S. (2008). Vozobnovlyаемые источники энергии: rol' i mesto v sovremennoy i perspektivnoy energetike. *Ros. khim. zh. (Zh. Ros. khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva)*, LII (6).
7. Maxmadiev, B. C., Ochilov, M. A., Mirzaev, Sh. N., Yuldashov, S. Sh. (2019). Types of Energy Resources and Possibilities of Development of Alternative Energy Based on Renewable Energy Sources in Uzbekistan. *International Academy Journal Web of Scholar*, 6 (36), 12–16. doi: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30062019/6550
8. Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2030 r. Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24 lypnia 2013 r. No. 1071-r. Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13/paran3#n3>
9. Skalozubov, V., Chulkin, O., Pirkovskiy, D., Kozlov, I., Komarov, Y. (2019). Method for determination of water hammer conditions and consequences in pressurizers of nuclear reactors. *Turkish Journal of Physics*, 43 (3), 229–235. doi: <https://doi.org/10.3906/fiz-1809-5>
10. Skalozubov, V. I., Kozlov, I. L., Chulkin O. A. (2017). Revision of nuclear power plants safety systems' routine testing assigned periodicity during the design extension period. *Problems of atomic science and technology (PAST)*, 5 (111), 53–56. Available at: http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/6140/2/article_2017_5_53.pdf
11. Artukhov, I. P., Gorbach, N. A., Baksheeva, S. L., Bolshakova, I. A., Zharova, A. V., Lisnyak, M. A., Sherstyanykh, D. M. (2012). Expert

evaluation: methodology and application practice. *Fundamental'nye issledovaniya*, 10, 11–15. Available at: <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2012/10-1/30483.pdf>

12. Poplavskiy, P., Rimko, D., Mikhalevich, A. (2012). Metodika otsenki energeticheskoy bezopasnosti Litvy i Belarusi. *Politikos mokslu almanachas*, 12, 35–48. Available at: <https://portalcris.vdu.lt/server/api/core/bitstreams/23f8c221-e3b3-47ef-ae4d-354fe3fa6ad7/content>
13. V Odesskoy oblasti stroyat chetyre solnechnye elektrostantsii. Available at: <https://biz.liga.net/ekonomika/tek/novosti/v-odesskoy-oblasti-stroyat-chetyre-solnechnye-elektrostantsii>
14. Nazvany oblasti Ukrainy, gde bol'she vsego vetroelektrostantsiy (2021). *EkoPolitika*. Available at: <https://ecopolitic.com.ua/news/nazvano-oblasti-ukraini-de-najbilshe-vitroelektrostancij-2/>
15. Mazurenko, A., Klimchuk, A., Yurkovsky, S., Omeko, R. (2015). Development of the scheme of combined heating system using seasonal storage of heat from solar plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (73)), 15–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36902>
16. Put' izbavleniya kommunal'noy energetiki Ukrainy ot metanovoy zavisimosti (2012). Available at: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/2640/>
17. Myroniuk, K., Voznyak, O., Yurkevych, Y., Gulay, B. (2020). Technical and Economic Efficiency After the Boiler Room Renewal. *Proceedings of EcoComfort 2020*, 311–318. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_38
18. Budushee energoobespecheniya v Germanii, potentsial vobnovlyaemykh vidov energii. Available at: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=247
19. Khalafyan, A. A., Borovikov, V. P., Kalaydina, G. V. (2019). Teoriya veroyatnostey, matematicheskaya statistika i analiz dannykh: Osnovy teorii i praktika na komp'yutere. *STATISTICA. EXCEL. Bolee 150 primerov resheniya zadach*. Moscow, 320.
20. Klymchuk, A. A., Lozhechnikov, V. F., Mykhailenko, V. S., Lozhechnikova, N. V. (2019). Improved Mathematical Model of Fluid Level Dynamics in a Drum-Type Steam Generator as a Controlled Object. *Journal of Automation and Information Sciences*, 51 (5), 65–74. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v51.i5.60>
21. Total primary energy supply. Available at: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Total_primary_energy_supply
22. Koeffitsient konkordatsii: primer rascheta i formula. Chto takoe koeffitsient konkordatsii? Available at: <https://fb.ru/article/349619/koeffitsient-konkordatsii-primer-rascheta-i-formula-chto-takoe-koeffitsient-konkordatsii>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255849

COMPARISON OF THORIUM NITRIDE AND URANIUM NITRIDE FUEL ON SMALL MODULAR PRESSURIZED WATER REACTOR IN NEUTRONIC ANALYSIS USING SRAC CODE (p. 21–28)

Ratna Dewi Syarifah

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

Mila Hidayatul Aula

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7356-8671>

Andini Ardianingrum

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0893-1857>

Laela Nur Janah

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5950-8023>

Wenny Maulina

Universitas Jember, Krajan Timur, Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1854-7800>

Comparison of thorium nitride (ThN) and uranium nitride (UN) fuel on small modular PWR in neutronic analysis has been carried out. PWR in module is one type of reactor that can be utilized because of its small size so that it can be placed on demand. Neutronic calculations were performed using SRAC version 2006, the data library using JENDL 4.0. The first calculation was fuel pin (PIJ) calculation with hexagonal fuel pin cell type. And the second calculation was reactor core (CITATION) calculation using homogeneous and heterogeneous core configurations. ThN and UN fuels use heterogeneous configurations with 3 fuel variations. The reactor geometry was used in two fuels are the same, with diameter and height active core was 300 cm and 100 cm. In this research, Np-237 was added as a minor actinide in the UN fuel to reduce the amount of Np-237 in the world and also reduce the k-eff value. For ThN fuel, Pa-231 also added in the fuel to reduce the k-eff value. The optimum configuration of UN fuel reached when used heterogeneous core configuration case four with percentage of U-235 in F1=5.5 %, F2=7 % and F3=8.5 % also with the addition of Np-237 0.2 % and fuel fraction 56 %. It has a maximum excess reactivity value 12.56 % $\Delta k/k$. And then, the optimum configuration of ThN fuel reached when used heterogeneous core configuration case three with percentage of U-233 in F1=2 %, F2=4 % and F3=6 % with the addition of Pa-231 0.5 % and fuel fraction 53 %. It has a maximum excess reactivity value 7.67 % $\Delta k/k$. The comparison of optimum design of UN and ThN fuel shows that the ThN fuel has the *k-eff* value closer to critical than UN fuel. Therefore, in this study, ThN fuel is more suitable for use in PWR reactors because it has a small excess value and can operate for 10 years without refueling.

Keywords: PWR, SRAC, thorium nitride, uranium nitride, modular reactor, excess reactivity.

References

1. Global electricity demand is growing faster than renewables, driving a strong increase in generation from fossil fuels (2021). IEA. Available at: <https://www.iea.org/news/global-electricity-demand-is-growing-faster-than-renewables-driving-strong-increase-in-generation-from-fossil-fuels>
2. IAEA Increases Projections for Nuclear Power Use in 2050 (2021). IAEA. Available at: <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-increases-projections-for-nuclear-power-use-in-2050>
3. World Energy Outlook 2021. IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
4. Outline History of Nuclear Energy (2020). World Nuclear Association. Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx>
5. Reactor Status Reports (2022). PRIS. Available at: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>
6. Pressurized Water Reactor Simulator. Workshop Material (2005). Vienna, 91. Available at: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TCS-22_2nd_web.pdf
7. Dewita, E. (2012). Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif Pltn. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 14 (1), 45–56. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/124548-none-823ea08b.pdf>
8. Syarifah, R. D., Suud, Z. (2015). The prospect of uranium nitride (UN) and mixed nitride fuel (UN-PuN) for pressurized

- water reactor. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4930788>
9. Subki, I., Pramutadi, A., Rida, S. N. M., Su'ud, Z., Eka Septa, R., Muh. Nurul, S. et. al. (2008). The utilization of thorium for long-life small thermal reactors without on-site refueling. *Progress in Nuclear Energy*, 50 (2-6), 152–156. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2007.10.029>
 10. Subkhi, M. N., Su'ud, Z., Waris, A. (2012). Design study of long-life PWR using thorium cycle. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4725443>
 11. Subkhi, M. N., Su'ud, Z., Waris, A. (2013). Neutronic Design of Small Long-Life PWR Using Thorium Cycle. *Advanced Materials Research*, 772, 524–529. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.772.524>
 12. Subkhi, M. N., Suud, Z., Waris, A., Permana, S. (2015). Studi Desain Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berukuran Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar Thorium. *Jurnal ISTEK*, 9 (1), 32–49. Available at: <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/view/169/185>
 13. Setiadipura, T., Astuti, Y., Su'ud, Z. (2005). Neutronic Design Study of Small Long-live PWR with (Th,U)O₂ Fuel. *Proceedings of GLOBAL*, 510, 155–160.
 14. Ardiansyah, H. (2018). Studi Parameter Desain Teras Integral Pressurized Water Reactor Dengan Bahan Bakar Mixed Oxide Fuel Menggunakan Program SRAC. *Jurnal Forum Nuklir*, 12 (2), 61. doi: <https://doi.org/10.17146/jfn.2018.12.2.5035>
 15. Luthfi, W., Pinem, S. (2020). Calculation of 2-Dimensional PWR MOX/UO₂ Core Benchmark OECD NEA 6048 with SRAC Code. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, 22 (3), 89–96. doi: <https://doi.org/10.17146/tdm.2020.22.3.5955>
 16. Syarifah, R. D., Yulianto, Y., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D. (2017). Neutronic Analysis of Thorium Nitride (Th, U²³³)N Fuel for 500 MWth Gas Cooled Fast Reactor (GFR) Long Life without Refueling. *Key Engineering Materials*, 733, 47–50. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.733.47>
 17. Syarifah, R. D., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D., Pattipawaej, S. C., Ilham, M. (2017). Comparison of uranium plutonium nitride (U-Pu-N) and thorium nitride (Th-N) fuel for 500 MWth gas-cooled fast reactor (GFR) long life without refueling. *International Journal of Energy Research*, 42 (1), 214–220. doi: <https://doi.org/10.1002/er.3923>
 18. Syarifah, R. D., Arkundato, A., Irwanto, D., Su'ud, Z. (2020). Neutronic analysis of comparison UN-PuN fuel and ThN fuel for 300MWth Gas Cooled Fast Reactor long life without refueling. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436 (1), 012132. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012132>
 19. Okumura, K., Kugo, T., Kaneko, K., Tsuchihashi, K. (2002). SRAC (Ver. 2002); The comprehensive neutronics calculation code system. Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI).
 20. Ardisasmita, M. S., Bunjamin, M. (2010). *Komputasi dalam Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir: Konsep Dasar & Model Matematik*. Yogyakarta: BATAN, 161.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255451

CREATION OF A HYBRID POWER PLANT OPERATING ON THE BASIS OF A GAS TURBINE ENGINE (p. 29–37)

Nassim Rustamov

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish/
Turkish–Kazakh University, Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6437-6600>

Oksana Meirbekova

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish/
Turkish–Kazakh University, Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0949-1443>

Adylkhan Kibishov

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish/
Turkish–Kazakh University, Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3056-2584>

Shokhrukh Babakhan

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish/
Turkish–Kazakh University, Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7723-0045>

Askhat Berguzinov

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6954-8259>

This paper considers the issue related to the use of jet gas turbine engines for the generation of thermal and electrical energy, defined as a hybrid energy system powered by biogas. Revealing the main vulnerable points of the use and operation of these systems, it is proposed to use biogas obtained from agricultural, crop and livestock waste as fuel for gas turbine engines.

Analyzing the work of gas turbine engines, it reveals not only the technological advantages of using biogas instead of fuel, but also reducing the cost of heat and electric energy obtained by obtaining a productive land biohumus. This will result, firstly, it is especially emphasized, the usefulness of the resulting ground humus as a waste material, when producing biogas as fuel, for the operation of a hybrid energy system operating on the basis of gas turbine engines. Secondly, during the operation of a hybrid power system, it is possible to simultaneously obtain thermal and electrical energy. Thirdly, the low cost of the heat and electric energy received.

The following are other useful applications of such a power system. The resulting thermal energy is used for heating the greenhouse, and the electrical energy obtained from the operation of the hybrid power system can be used not only for lighting the premises, but can be used for the needs of the greenhouse. It is shown that the proposed hybrid power system consists of two technological structures. The first design is to obtain fuel in the form of biogas for the operation of gas turbine engines, the second design is the connection of the first design with gas turbine engines. A schematic diagram of the general design of the proposed hybrid power system and the principle of its operation is proposed. The difficulties encountered in the design and operation of such hybrid power systems are noted.

Keywords: hybrid power system, gas turbine engine, greenhouse, thermal energy, electric energy, humus soil.

References

1. Yudaev, I., Daus, Yu., Gamaga, V. (2020). *Vozobnovlyaemye istochniki energii*. Moscow: Izd. Lan', 328. Available at: <https://cdn1.ozone.ru/s3/multimedia-l/6086254689.pdf>
2. Rustamov, N. T. (2014). O sozdanii gibridnykh energeticheskikh sistem, ispol'zuyuschikh vozobnovlyaemye istochniki energii (VIE). *Vestnik Natsional'noy inzhenernoy akademii Respubliki Kazakhstan*, 4 (54), 114–116.
3. Odoi-Yorke, F., Owusu, J. J., Atepor, L. (2022). Composite decision-making algorithms for optimisation of hybrid renewable energy systems: Port of Takoradi as a case study. *Energy Reports*, 8, 2131–2150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.118>
4. Berrada, A., Loudiyi, K., El Mrabet, R. (2021). Introduction to hybrid energy systems. *Hybrid Energy System Models*, 1–43. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821403-9.00001-9>
5. Kavadias, K., Triantafyllou, P. (2022). Wind-Based Stand-Alone Hybrid Energy Systems. *Comprehensive Renewable Energy*, 749–793. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819727-1.00162-x>
6. Ahmad, J., Imran, M., Khalid, A., Iqbal, W., Ashraf, S. R., Adnan, M. et. al. (2018). Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-bio-

mass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar. *Energy*, 148, 208–234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.133>

7. Sawle, Y., Gupta, S. C., Bohre, A. K. (2017). Optimal sizing of standalone PV/Wind/Biomass hybrid energy system using GA and PSO optimization technique. *Energy Procedia*, 117, 690–698. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.183>
8. Musa, G., Alrashed, M., Muhammad, N. M. (2021). Development of big data lean optimisation using different control mode for Gas Turbine engine health monitoring. *Energy Reports*, 7, 4872–4881. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2021.07.071>
9. Twaha, S., Ramli, M. A. M. (2018). A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems. *Sustainable Cities and Society*, 41, 320–331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.027>
10. Aliyarov, B. K. (Ed.) (2009). *Analiticheskoe issledovanie «Kazakhstan: Energeticheskaya bezopasnost', energeticheskaya nezavisimost' i ustoychivost' razvitiya energetiki. Sostoyaniye i perspektivy»*. Almaty, 370.
11. Korneev, V. M. (2019). *Teoriya gazoturbinykh dvigateley*. Litagent Ridero.
12. Rustamov, N. T., Konusov, B. R., Rustamov, E. N. (2013). Sozdanie gibridnogo istochnika energii. *Vestnik MKTU im. A. Yasauy*, 1 (81), 69–72.
13. Rustamov, N. T., Meyrbekov, A. T., Meyrbekov, S. A., Konusov, B. R. (2015). Pat. No. 29833 RK. Bioenergeticheskaya ustanovka.
14. Medovschikov, Yu. V. (2018). *Osnovy teplovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya*. Moscow, 105.
15. Rustamov, N. T., Meyrbekov, A. T., Salikhova, G. Kh., Tastekov, N. K., Asilbaeva, A. P. (2021). Pat. No. 6070 RK. Gibridnaya stantsiya teploelektricheskoy energii.
16. Rustamov, N. T., Meirbekova, O. D. (2021). Gibridnaya agroteploelektricheskaya stantsiya. *Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya online konferentsii «Energ- i resursoberegayushchie tekhnologii: opyty i perspektivy»*. Kyzylorda, 29–33.
17. Rustamov, N. T., Meyrbekov, A. T., Meirbekova, O. D. (2022). Pat. No. 6797 RK. Sposob vsesezonnogo elektrosnabzheniya teplitsy iz al'ternativnogo istochnika energii.
18. Erokhin, B. T. (2015). *Teoriya i proektirovaniye raketnykh dvigateley*. Moscow, 608.
19. Damenov, E. A., Rustamov, N. T. (2018). Sozdanie gibridnykh energeticheskikh sistem. *Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya*, 2, 33–35. Available at: <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3222/>
20. Kazandzhan, P. K. et. al. (2019). *Teoriya reaktivnykh dvigateley*. Book on Demand Ltd., 302.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254373

OPTIMIZING GEOMETRIC PARAMETERS FOR THE ROTOR OF A TRACTION SYNCHRONOUS RELUCTANCE MOTOR ASSISTED BY PARTITIONED PERMANENT MAGNETS (p. 38–44)

Borys Liubarskyi

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2985-7345>

Dmytro Iakunin

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-3162>

Oleh Nikonov

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8878-4318>

Dmytro Liubarskyi

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3535-9809>

Bagish Yeritsyan

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0579-3882>

This paper considers partitioning parameters and the mutual arrangement of magnets in the rotor of the traction synchronous-jet engine with permanent partitioned magnets. The synthesis of geometrical parameters for the rotor of a synchronous reluctance motor with partitioned permanent magnets was proposed on the basis of solving the problem of conditional optimization. To solve the synthesis problem, a mathematical model has been built to determine the electromagnetic momentum of a synchronous reluctance motor with partitioned permanent magnets. It is based on the calculation of the electromagnetic momentum of the engine employing the results of a finite-element analysis of the magnetic field in the flat-parallel statement of the problem. The model is implemented in the finite-element analysis FEMM environment and makes it possible to determine the electromagnetic momentum of the engine with a variety of partitioning of permanent magnets. As an analysis problem, it is proposed to use a mathematical model of the magnetic field of the engine. The problem of conditional optimization of the rotor of a synchronous reluctance motor was stated according to the geometric criteria of the rotor. Restrictions are set on geometric, strength indicators, as well as on the level of electromagnetic momentum. The chosen optimization method is the Nelder-Mead method.

Based on the results of solving the problem of synthesizing parameters for the partitioned rotor of the traction motor of trolleybus wheels, it was established that the volume of permanent magnets was reduced by 2.27 times compared to the base structure; their optimal geometric dimensions were determined (5 mm, 5.2 mm, and 5 mm), as well as the distance between them, 17.8 mm and 15.3 mm, and the engine load angle, which is 121.12 electrical degrees.

Based on the results of solving the problem of synthesizing parameters for the partitioned rotor of a trolleybus traction synchronous reluctance motor, its optimal geometric parameters have been determined.

Keywords: synchronous reluctance motor, Nelder-Mead method, finite-element method, partitioned permanent magnets.

References

1. Luvishis, A. L. (2017). Asinkhronniy privod: nachalo puti. *Lokomotiv*, 1 (721), 44–46.
2. Goolak, S., Gerlici, J., Tkachenko, V., Sapronova, S., Lack, T., Kravchenko, K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21 (2), 24–31. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.24-31>
3. Liubarskyi, B., Demydov, A., Yeritsyan, B., Nuriyev, R., Iakunin, D. (2018). Determining electrical losses of the traction drive of electric train based on a synchronous motor with excitation from permanent magnets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 29–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127936>
4. Basov, H. H., Yatsko, S. I. (2005). Rozvytok elektrychnoho motorvahonnoho rukhomoho skladu. Ch. 2. Kharkiv: «Apeks+», 248.
5. Bezruchenko, V. M., Varchenko, V. K., Chumak, V. V. (2003). *Tiahovi elektrychni mashyny elektrorukhomoho skladu*. Dnipropetrovsk: DNUZT, 252.
6. Liubarskyi, B., Riabov, I., Iakunin, D., Dubinina, O., Nikonov, O., Domansky, V. (2021). Determining the effect of stator groove

- geometry in a traction synchronous reluctance motor with permanent magnets on the saw-shaped electromagnetic moment level. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (111)), 68–74. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233270>
7. Liubarskiy, B. G., Overianova, L. V., Riabov, I. S., Iakunin, D. I., Ostroverkh, O. O., Voronin, Y. V. (2021). Estimation of the main dimensions of the traction permanent magnet-assisted synchronous reluctance motor. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2, 3–8. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2021.2.01>
 8. Stipetic, S., Zarko, D., Kovacic, M. (2016). Optimised design of permanent magnet assisted synchronous reluctance motor series using combined analytical–finite element analysis based approach. *IET Electric Power Applications*, 10 (5), 330–338. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-epa.2015.0245>
 9. Viego-Felipe, P. R., Gómez-Sarduy, J. R., Sousa-Santos, V., Quispe-Oqueña, E. C. (2018). Motores sincrónicos de reluctancia asistidos por iman permanente: Un nuevo avance en el desarrollo de los motores eléctricos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 19 (3), 269–279. doi: <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2018.19n3.023>
 10. Moghaddam, R.-R. (2011). Synchronous Reluctance Machine (SynRM) in Variable Speed Drives (VSD) Applications. Theoretical and Experimental Reevaluation. Stockholm, 260. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:417890/FULLTEXT01.pdf>
 11. Liubarskiy, B., Iakunin, D., Nikonov, O., Liubarskiy, D., Vasenko, V., Gasanov, M. (2021). Procedure for selecting optimal geometric parameters of the rotor for a traction non-partitioned permanent magnet-assisted synchronous reluctance motor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (114)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247208>
 12. Wu, W., Zhu, X., Quan, L., Du, Y., Xiang, Z., Zhu, X. (2018). Design and Analysis of a Hybrid Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor Considering Magnetic Saliency and PM Usage. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 28 (3), 1–6. doi: <https://doi.org/10.1109/tasc.2017.2775584>
 13. Development of Main Circuit System using Direct Drive Motor (DDM). Available at: https://www.jreast.co.jp/e/development/tech/pdf_1/46_52tecrev.pdf
 14. Vaskovskiy, Yu. M., Haidenko, Yu. A., Rusiatynskiy, A. E. (2013). Mathematical modeling and selecting of construction parameters for traction synchronous motors with permanent magnets. *Tekhnichs na elektrodynamika*, 6, 40–45. Available at: <https://docplayer.com/38603915-Udk-matematicheskoe-modelirovanie-i-vybor-konstruktivnyh-parametrov-tyagovogo-sinhronnogo-elektrodvigatelya-s-postoyannymi-magnitami.html>
 15. Dehghani Ashkezari, J., Khajeroshanaee, H., Niasati, M., Jafar Mojibian, M. (2017). Optimum design and operation analysis of permanent magnet-assisted synchronous reluctance motor. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25, 1894–1907. doi: <https://doi.org/10.3906/elk-1603-170>
 16. Mohd Jamil, M. L., Zolkapli, Z. Z., Jidin, A., Raja Othman, R. N. F., Sutikno, T. (2015). Electromagnetic Performance due to Tooth-tip Design in Fractional-slot PM Brushless Machines. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 6 (4), 860. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v6.i4.pp860-868>
 17. Severin, V. P. (2005). Vector optimization of the integral quadratic estimates for automatic control systems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 44 (2), 207–216.
 18. Nikulina, E. N., Severyn, V. P., Kotsiuba, N. V. (2018). Optimization of direct quality indexes of automatic control systems of steam generator productivity. *Bulletin of National Technical University “KhPI”. Series: System Analysis, Control and Information Technologies*, 21, 8–13. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2018.21.02>
 19. Kononenko, K. E., Kononenko, A. V., Krutskikh, S. V. (2015). Parametricheskaya optimizatsiya geometrii pazov rotora kak sposob povsheniya KPD asinkhronnogo dvigatelya s korotkozamknutym rotorom. *Elektrotekhnicheskie komplekxy i sistemy upravleniya*, 2 (38), 45–49.
 20. Uspenskiy, B., Avramov, K., Liubarskiy, B., Andrieiev, Y., Nikonov, O. (2019). Nonlinear torsional vibrations of electromechanical coupling of diesel engine gear system and electric generator. *Journal of Sound and Vibration*, 460, 114877. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.114877>
 21. Meeker, D. (2015). Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual. Available at: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf>
 22. Liubarskiy, B., Lukashova, N., Petrenko, O., Pavlenko, T., Iakunin, D., Yatsko, S., Vashchenko, Y. (2019). Devising a procedure to choose optimal parameters for the electromechanical shock absorber for a subway car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (100)), 16–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176304>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253651

COOLING CAPACITY OF EXPERIMENTAL SYSTEM WITH NATURAL REFRIGERANT CIRCULATION AND CONDENSER RADIATIVE COOLING (p. 45–53)

Alexandr Tsoy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3073-6698>

Alexandr Granovskiy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1191-038X>

Diana Tsoy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-7924>

Dmitriy Koretskiy

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3110-8383>

The surface of the Earth is a source of radiation of thermal energy, which, passing through the atmosphere, is partially absorbed while the bulk of the energy is released into the surrounding outer space. A cooling technique based on this physical phenomenon is known as radiative cooling (RC). It is possible to reduce the consumption of electricity for cooling, as well as to reduce capital costs, by integrating the unit with radiative cooling directly into the circulation circuit of the refrigerant of the refrigeration machine. An experimental refrigeration system has been designed, in which in the cold periods of the year the removal of heat from the cooled object is carried out due to the mode of natural circulation of the refrigerant from the evaporator to the heat exchanger, cooled by radiative cooling. A refrigeration system with natural circulation and radiative cooling of the refrigerant R134a was experimentally studied during the autumn period in Almaty. The experimental study established that the chamber is cooled with the help of the examined system while the temperature in the cooled volume is maintained by 5...7 K above ambient air temperature at night. The dependence of the air temperature in the refrigerating chamber on the temperature of the atmospheric air has been determined. A procedure for assessing the cooling capacity of the system has been devised.

The study reported here demonstrated the possibility of using radiative cooling to remove heat under the mode of natural circulation of the refrigerant.

The refrigeration system reduces energy consumption in the cold seasons by diverting heat to the environment without the compressor operating.

Keywords: radiative cooling, effective radiation, natural circulation, refrigeration machine, thermosiphon system, energy saving.

References

- Zhao, B., Hu, M., Ao, X., Chen, N., Pei, G. (2019). Radiative cooling: A review of fundamentals, materials, applications, and prospects. *Applied Energy*, 236, 489–513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.018>
- Liu, J., Zhou, Z., Zhang, J., Feng, W., Zuo, J. (2019). Advances and challenges in commercializing radiative cooling. *Materials Today Physics*, 11, 100161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2019.100161>
- Family, R., Mengüç, M. P. (2017). Materials for Radiative Cooling: A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 752–759. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.158>
- Samuel, D. G. L., Nagendra, S. M. S., Maiya, M. P. (2013). Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review. *Building and Environment*, 66, 54–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.016>
- Tevar, J. A. F., Castaño, S., Marijuán, A. G., Heras, M. R., Pistono, J. (2015). Modelling and experimental analysis of three radiative panels for night cooling. *Energy and Buildings*, 107, 37–48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.027>
- Man, Y., Yang, H., Qu, Y., Fang, Z. (2015). A Novel Nocturnal Cooling Radiator Used for Supplemental Heat Sink of Active Cooling System. *Procedia Engineering*, 121, 300–308. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1072>
- Thomason, H. E. (1965). Pat. No. US3295591A. Apparatus for cooling and solar heating a house. declared: 09.09.1965; published: 03.01.1967. Available at: <https://patents.google.com/patent/US3295591>
- Bagiorgas, H. S., Mihalakakou, G. (2008). Experimental and theoretical investigation of a nocturnal radiator for space cooling. *Renewable Energy*, 33 (6), 1220–1227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.04.015>
- Baer, S. C., Mingenbach, W. (2000). Pat. No. US6357512B1. Passive heating and cooling system. declared: 26.07.2000; published: 19.03.2002. Available at: <http://www.google.com/patents/US6357512>
- Tsoy, A. P., Granovskiy, A. S., Tsoy, D. A. (2013). Pat. No. 30048 KZ. Sposob proizvodstva kholoda i ustroystvo dlya ego osuschestvleniya. No. 2013/0849.1; declared: 26.06.2013; published: 15.06.2015. Available at: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=222328>
- McCann, N. (2007). Pat. No. US20090090488A1. Night sky cooling system. declared: 05.10.2007; published: 03.10.2008. Available at: <http://www.google.com/patents/US20090090488>
- Tsoy, A. P., Baranenko, A. V., Granovsky, A. S., Tsoy, D. A., Dzhamasheva, R. A. (2020). Energy efficiency analysis of a combined cooling system with night radiative cooling. *International Conference on Science and Applied Science (ICSAS2020)*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0026908>
- Titlov, A., Osadchuk, E., Tsoy, A., Alimkeshova, A., Jamasheva, R. (2019). Development of cooling systems on the basis of absorption water-ammonia refrigerating machines of low refrigeration capacity. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (98)), 57–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164301>
- Goldstein, E. A., Raman, A. P., Fan, S. (2017). Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky. *Nature Energy*, 2 (9). doi: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.143>
- Tsoy, A. P., Granovskiy, A. S., Tsoy, D. A. (2018). Pat. No. 4789. Sistema khladosnabzheniya s radiatsionnym otvodom teploty. No. 2020/0098.2; declared: 02.10.2018; published: 13.03.2020, Bul. 10. Available at: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Utilitymodel/Details?docNumber=323707>
- Ezekwe, C. I. (1990). Performance of a heat pipe assisted night sky radiative cooler. *Energy Conversion and Management*, 30 (4), 403–408. doi: [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(90\)90041-v](https://doi.org/10.1016/0196-8904(90)90041-v)
- He, T., Mei, C., Longtin, J. P. (2017). Thermosyphon-assisted cooling system for refrigeration applications. *International Journal of Refrigeration*, 74, 165–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.10.012>
- Lamaison, N., Marcinichen, J. B., Szczukiewicz, S., Thome, J. R., Beucher, P. (2015). Passive two-phase thermosyphon loop cooling system for high-heat-flux servers. *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*, 3 (4), 369–391. doi: <https://doi.org/10.1615/interfacphenomheattransfer.2016015637>
- Cataldo, F., Thome, J. R. (2018). Experimental Performance of a Completely Passive Thermosyphon Cooling System Rejecting Heat by Natural Convection Using the Working Fluids R1234ze, R1234yf, and R134a. *Journal of Electronic Packaging*, 140 (2). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4039706>
- Tamura, Y., Koyatsu, M., Machida, A. (2002). Pat. No. US7293425B2. Thermo siphon chiller refrigerator for use in cold district. declared: 13.05.2002; published: 13.11.2007. Available at: <https://patents.google.com/patent/US7293425B2/>
- Sudnev, I. N., Bryzgalova, O. (2018). Kholodil'noe serdtse Udmurtii. Kezskiy syrzhavod - zhemchuzhina v korone energoeffektivnosti kosmosa. *Kholodil'naya Tekhnika*, 2, 38–40.
- Zhao, D., Aili, A., Zhai, Y., Lu, J., Kidd, D., Tan, G. et al. (2019). Sub-ambient Cooling of Water: Toward Real-World Applications of Day-time Radiative Cooling. *Joule*, 3 (1), 111–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.10.006>
- Chen, Z., Zhu, L., Raman, A., Fan, S. (2016). Radiative cooling to deep sub-freezing temperatures through a 24-h day–night cycle. *Nature Communications*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms13729>
- Nuzhdin, A. S., Uzhanskiy, V. S. (1986). *Izmereniya v kholodil'noy tekhnike*. Moscow: Agropromizdat, 368.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253977

DESIGNING THE STRUCTURE AND DETERMINING THE MODE CHARACTERISTICS OF THE GRAIN DRYER BASED ON THERMOSIPHONS (p. 54–61)

Igor Bezbah

Research and Planning Institute of Standardisation and Technology of Ecosafe and Organic Products, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2353-1811>

Aleksandr Zykov

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8345-1015>

Vsevolod Mordynskiy

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2762-5225>

Petr Osadchuk

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3312-0669>

Lyudmila Phylipova

Research and Planning Institute of Standardisation and Technology of Ecosafe and Organic Products, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2884-3440>

Valentyna Bandura

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8074-3020>

Igor Yaroviy

Mechanical and Technological Professional College, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2278-5075>

Elena Marenchenko

Mechanical and Technological Professional College, Odessa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0132-0359>

Energy consumption, environmental issues, product quality are actual problems related to grain drying processes. It is necessary to

pay attention to designing new structures of energy-efficient grain dryers.

A structure of an energy-efficient grain dryer based on thermosiphons has been designed; its energy consumption is 3.5...6.8 MJ/kg depending on surface temperature and air flow rate. The dryer includes a layer heater, a drying chamber, a heat generator, a heater, a noria for loading the product, and fans. The structural features of the dryer allow the drying process to be carried out without direct contact between the combustion gases and the product.

The efficiency of the designed structure was evaluated for such indicators as heat transfer coefficients to the grain flow, specific energy costs, moisture content, the relative humidity of the air leaving the dryer.

The values of coefficients of the heat transfer to the grain flow vary within 36...58 W/m²K at speeds 2.5...8 mm/s. An increase in the flow rate by 3.2 times leads to an increase in the heat transfer coefficient by 1.6 times.

The moisture content of the air at the outlet of the dryer reaches 60 g/kg, while the relative humidity is 90 %, which is several times higher than the parameters for convective mine grain dryers.

Energy consumption for drying at the surface temperature of thermosiphons $T_s=142.9$ °C for various grain flow rates is close to a minimum. The energy consumption is lower than in existing convective dryers.

21 % is spent on heating grain in the dryer; 54 % – on moisture evaporation; and 23.6 % are losses. If we consider the energy spent on moisture evaporation usable, the efficiency of convective dryers is only 40 % while that of dryers based on thermosiphons is 54.1 %.

It is expected that the designed structure could be a solution for small farmers in the post-harvest drying process.

Keywords: thermosiphons, grain drying, specific energy consumption, air parameters, heat transfer coefficients, environmental friendliness.

References

- Tracking Industry 2020. Available at: <https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020>
- Ononogbo, C., Nwifo, O. C., Nwakuba, N. R., Okoronkwo, C. A., Igboke, J. O., Nwadinobi, P. C., Anyanwu, E. E. (2021). Energy parameters of corn drying in a hot air dryer powered by exhaust gas waste heat: An optimization case study of the food-energy nexus. *Energy Nexus*, 4, 100029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100029>
- Beigi, M. (2016). Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. *Food Science and Technology*, 36 (1), 145–150. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.0068>
- Wang, H., Mustaffar, A., Phan, A. N., Zivkovic, V., Reay, D., Law, R., Boodhoo, K. (2017). A review of process intensification applied to solids handling. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 118, 78–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2017.04.007>
- Amer, B. M. A., Hossain, M. A., Gottschalk, K. (2010). Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. *Energy Conversion and Management*, 51 (4), 813–820. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.016>
- Ononogbo, C. (2020). Equipment Sizing and Method for the Application of Exhaust Gas Waste Heat to Food Crops Drying Using a Hot Air Tray Dryer. *Indian Journal of Science and Technology*, 13 (5), 502–518. doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2020/v13i05/145593>
- Alit, I. B., Susana, I. G. B., Mara, I. M. (2021). Thermal characteristics of the dryer with rice husk double furnace - heat exchanger for smallholder scale drying. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101565. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101565>
- Burdo, O., Bezbakh, I., Kepin, N., Zykov, A., Yarovy, I., Gavrilov, A. et. al. (2019). Studying the operation of innovative equipment for thermomechanical treatment and dehydration of food raw materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (11 (101)), 24–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178937>
- Chan, C. W., Siqueiros, E., Ling-Chin, J., Royapoor, M., Roskilly, A. P. (2015). Heat utilisation technologies: A critical review of heat pipes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 615–627. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.028>
- Carvajal-Mariscal, I., De León-Ruiz, J. E., Belman-Flores, J. M., Salazar-Huerta, A. (2022). Experimental evaluation of a thermosiphon-based waste-heat recovery and reintegration device: A case study on low-temperature process heat from a microbrewery plant. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 49, 101760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101760>
- Mathew, A. A., Thangavel, V. (2021). A novel thermal energy storage integrated evacuated tube heat pipe solar dryer for agricultural products: Performance and economic evaluation. *Renewable Energy*, 179, 1674–1693. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.029>
- Mustaffar, A., Phan, A., Boodhoo, K. (2018). Hybrid heat pipe screw dryer: A novel, continuous and highly energy-efficient drying technology. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 128, 199–215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.04.035>
- Gaponiuk, I. (2017). Improvement of grain drying technology through the rapid grain heating and heat recuperation of wet gases. *Ukrainian Journal of Food Science*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2017-5-1-7>
- Tiusanen, M. J., Jokiniemi, H. T., Hautala, M. I. (2013). Grain dryer temperature optimisation with simulation and a test dryer. *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (18), 12–17. doi: <https://doi.org/10.3182/20130828-2-sf-3019.00025>
- Ropelewska, E. (2018). Effect of grinding on thermal properties of wheat grain. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14 (2), 139–146. doi: <https://doi.org/10.1007/s00003-018-1200-y>
- GOST ISO 712-2015. Cereals and cereal products. Determination of moisture content. Reference method. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200124060>

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254477**РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НА НЕЙРОННІЙ МЕРЕЖІ (с. 6–12)****Gulnara Ibrayeva, Yuliya Bulatbayeva, Yermek Sarsikeyev**

Запропоновано поетапний спосіб комбінування базових моделей прогнозування електроспоживання на штучній нейронній мережі методом попередньої селекції та подальшої гібридизації. Експерименти проводилися з даними про погодинне електроспоживання металургійного комбінату АТ «АрселорМіттал Теміртау» у період з 1 січня 2019 року до 30 листопада 2021 року. Проведення досліджень пов'язане з запланованим запровадженням балануючого ринку електроенергії. Складено 96 комбінацій базових моделей, що відрізняються за типом нейронної мережі, набором вихідних даних, порядком відставання, алгоритмом навчання, числом нейронів у прихованому шарі. Визначено, що мережа NARX є оптимальною архітектурою для прогнозування електроспоживання. На підставі експериментальних досліджень число прихованих нейронів для формування планового добового профілю слід брати рівним 3 або 4, а як алгоритм навчання рекомендується застосовувати метод сполученого градієнта. При відборі моделей із трьох груп виявлено, що найкращі результати дає метод сполученого градієнта, порівняно з алгоритмом Левенберга-Марквардта. Визначено, що значення обраного показника помилки RMSE приймає значення 23,17, 22,54 та 22,56 відповідно для першої, другої та третьої групи даних. Доведено, що адаптивний метод гібридизації знижує показник помилки RMSE до 21,73. Однак ваги кращих моделей зі значеннями 0,327 для першої групи даних і 0,336 для другої та третьої показують, що також застосовується індивідуальне використання окремого поєднання моделей. Розроблена модель прогнозування електроспоживання може бути інтегрована в автоматизовану систему обліку електроенергії.

Ключові слова: короткострокове прогнозування, середньозважений прогноз, гібридна модель, нейронна мережа, електричне навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255740**ОЦІНКА ЕНЕРГОРЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГІОНУ (с. 13–20)****І. Л. Козлов, В. І. Ковальчук, О. А. Климчук, О. А. Дорож, О. І. Сігал, І. М. Аксьонова, Ю. Г. Елькін**

Розглянуто проблему забезпечення енергетичної та екологічної безпеки регіонів в умовах дефіциту традиційних енергоресурсів. Застосовано метод експертних оцінок для обґрунтування вибору видів прийнятних енергоресурсів, які забезпечують підвищення відносної енергозабезпеченості територій регіонів.

Розроблено та сформовано перелік факторів із 6 груп, що включають 27 індикаторів, що характеризують технологічні, екологічні та інші споживчі характеристики доступних для застосування енергоресурсів.

Визначено максимальні та мінімальні значення бальних оцінок індикаторів, допустимі інтервали їх зміни та вагові коефіцієнти, що оцінюють важливість показника у переліку.

Метод експертних оцінок доповнений генератором випадкових чисел для формування інформаційного поля про значення характеристик енергоресурсів та статистичної обробки даних прийнятних енергоресурсів в умовах регіонів, що розглядаються.

Виконано кількісний порівняльний аналіз доступних енергоресурсів та технологій на їх основі. Запропоновано як критерій переваги ресурсу використовувати індекс прийнятності та індекс збереження середовища. Значення індексів рівних або перевищують 1 свідчить про перевагу ресурсу. Показано, що для базового регіону такими ресурсами є ядерна, сонячна, вітрова і гідроенергія.

Метод експертних оцінок дозволяє скласти об'єктивне уявлення про прийнятність застосування певного енергоресурсу для забезпечення енергобезпеки з урахуванням його екологічного впливу в конкретному регіоні країни. Проведено кількісний порівняльний аналіз стану існуючої в регіоні структури енергоресурсів та їхньої доступності.

Для проведення порівняльного аналізу прийнятності за показниками та видами ресурсів використано графічно-аналітичну методику. Достовірність отриманих результатів оцінили за допомогою коефіцієнта конкордації.

Результати корисні для розробки проектів розвитку та забезпечення енергобезпеки регіонів за умов проведення реформ.

Ключові слова: експертні оцінки, застосовність, енергоресурси, енергобезпека, екологічність, прийнятність, індекс збереження середовища.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255849**ПОРІВНЯННЯ ПАЛИВА З НІТРИДОМ ТОРІЯ І НІТРИДОМ УРАНУ НА МАЛОМУ МОДУЛЬНОМУ ВОДЯНОМУ РЕАКТОРІ ПІД ТИСКОМ В НЕЙТРОННОМУ АНАЛІЗІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОДУ SRAC (с. 21–28)****Ratna Dewi Syarifah, Mila Hidayatul Aula, Andini Ardianingrum, Laela Nur Janah, Wenny Maulina**

Проведено порівняння палива з нітриду торію (ThN) та нітриду урану (UN) на малих модульних водяних реакторах під тиском (ВРТ) у нейтронно-фізичному аналізі. ВРТ в модулі – це один тип реактора, який можна використовувати через його невеликий

розмір, щоб його можна було розміщувати на вимогу. Нейтронні розрахунки виконані з використанням версії SRAC 2006, бібліотека даних з використанням JENDL 4.0. Першим розрахунком був розрахунок ТВЕЛ шестикутного типу. І другим розрахунком був розрахунок активної зони реактора (CITATION) з використанням гомогенної та гетерогенної конфігурації активної зони. У паливі з ThN та UN використовуються гетерогенні конфігурації з трьома варіантами палива. Геометрія реактора використовувалася на двох паливах однаково, діаметр і висота активної зони становили 300 см і 100 см. У цьому дослідженні Np-237 був доданий як другорядний актинід в паливо ООН, щоб зменшити кількість Np-237 у світі, а також зменшити значення k_{eff} . Для палива з ThN також додавали Pa-231 для зниження значення k_{eff} . Оптимальна конфігурація палива з UN досягається при використанні гетерогенного варіанта конфігурації активної зони чотири з процентним вмістом U-235 F1=5,5 %, F2=7 % і F3=8,5 %, а також з добавкою Np-237 0,2 % та паливною часткою 56 %. Має максимальне значення надмірної реактивності 12,56 % k/k . І тоді, оптимальна конфігурація палива з ThN досягається при використанні гетерогенного випадку конфігурації активної зони три з процентним вмістом U-233 F1=2 %, F2=4 % і F3=6 % з добавкою Pa-231 0,5 % і паливної фракції 53 %. Він має максимальне значення надмірної реактивності 7,67 % k/k . Порівняння оптимальної конструкції палива з UN та ThN показує, що паливо з ThN має значення k_{eff} ближче до критичного, ніж паливо з UN. Тому в даному дослідженні паливо з ThN найбільше підходить для використання в реакторах BPT, оскільки має невеликий надлишок і може працювати 10 років без перевантаження палива.

Ключові слова: BPT, SRAC, нітрид торію, нітрид урану, модульний реактор, надмірна реактивність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255451

СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА (с. 29–37)

Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, Askhat Berguzinov

У цій роботі розглядається питання, пов'язане з використанням реактивних газотурбінних двигунів для вироблення теплової та електричної енергії, яке визначається як гібридна енергетична система, що працює на біогазі. Виявляючи основні вразливі місця застосування та експлуатації цих систем, пропонується використовувати біогаз, отриманий з відходів сільського господарства, рослинництва та тваринництва, як паливо для газотурбінних двигунів.

Аналіз роботи газотурбінних двигунів виявляє не тільки технологічні переваги використання біогазу замість палива, але й зниження витрат теплової та електричної енергії, яка отримується за рахунок отримання продуктивного біогумусу землі. Звідси випливає, по-перше, особливо підкреслено, корисність одержуваного перегною як відходу, при отриманні біогазу як палива, для роботи гібридної енергетичної системи, що працює на основі газотурбінних двигунів. По-друге, під час роботи гібридної енергосистеми можливе одночасне отримання теплової та електричної енергії. По-третє, низька вартість одержуваної теплової та електричної енергії.

Нижче наведено інші корисні програми такої системи живлення. Отримана тепла енергія використовується для обігріву теплиці, а електрична енергія, отримана від роботи гібридної енергосистеми, може бути використана не тільки для освітлення приміщень, але й потреб теплиці. Показано, що пропонується гібридна енергосистема складається із двох технологічних структур. Перша конструкція – отримання палива як біогазу до роботи ГТЛ, друга конструкція – з'єднання першої конструкції з ГТД. Запропоновано принципову схему загальної конструкції запропонованої гібридної енергосистеми та принцип її роботи. Відзначено труднощі, що виникають під час проектування та експлуатації таких гібридних енергосистем.

Ключові слова: гібридна енергосистема, газотурбінний двигун, теплиця, тепла енергія, електрична енергія, гумусовий ґрунт.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254373

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРУ ТЯГОВОГО СИНХРОННО-РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ СЕКЦІОНОВАНИМИ МАГНІТАМИ (с. 38–44)

Б. Г. Любарський, Д. І. Якунін, О. Я. Ніконов, Д. Б. Любарський, Б. Х. Єрціян

В роботі розглянуто параметри секціонування та взаємне розташування магнітів у роторі тягового синхронно-реактивного двигуна з постійними секціонованими магнітами. Запропоновано синтез геометричних параметрів ротору синхронно-реактивного двигуна з секціонованими постійними магнітами на підставі вирішення задачі умовної оптимізації. Для вирішення задачі синтезу розроблено математичну модель по визначенню електромагнітного моменту синхронно-реактивного двигуна з секціонованими постійними магнітами. Вона базується на розрахунку електромагнітного моменту двигуна за результатами скінчено-елементного аналізу магнітного поля у плоско-паралельній постановці задачі. Модель реалізована в середовищі скінчено-елементного аналізу FEMM та дає можливість визначати електромагнітний момент двигуна при різноманітному секціонуванні постійних магнітів. В якості задачі аналізу запропоновано використати математичну модель магнітного поля двигуна. Проведено постановку задачі умовної оптимізації ротору синхронно-реактивного двигуна за геометричними критеріями ротору. Встановлено обмеження за геометричними, міцносними показниками, а також за рівнем електромагнітного моменту. У якості метода оптимізації обрано метод Нелдера-Міда.

За результатами вирішення задачі синтезу параметрів секціонованого ротору тягового двигуна приводу коліс тролейбусу визначено, що об'єм постійних магнітів вдалось знизити 2.27 рази, порівняно з базовою конструкцією та здобуто їх оптимальні геометричні розміри (5 мм, 5.2 мм та 5 мм), відстані між ними 17,8 мм та 15,3 мм, а також кут навантаження двигуна, який становить 121,12° ел.

За результатами вирішення задачі синтезу параметрів секціонованого ротору тягового синхронно-реактивного двигуна тролейбусу визначено оптимальні його геометричні параметри.

Ключові слова: синхронно-реактивний двигун, метод Нелдера-Міда, метод скінчених елементів, секціоновані постійні магніти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253651**ХОЛОДОПРОДУКТИВНІСТЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ПРИРОДНОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ ХОЛОДИЛЬНОГО АГЕНТА ТА РАДІАЦІЙНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ КОНДЕНСАТОРА (с. 45–53)****Alexandr Tsoy, Alexandr Granovskiy, Diana Tsoy, Dmitriy Koretskiy**

Поверхня Землі є джерелом випромінювання теплової енергії, яка, проходячи через атмосферу, частково поглинається, а основна частина енергії йде в навколишній космічний простір. Спосіб охолодження, що базується на цьому фізичному явищі, відомий як радіаційне охолодження (РО). Зменшити витрати електроенергії на охолодження, а також скоротити капітальні витрати можна, якщо інтегрувати установку з радіаційним охолодженням безпосередньо в контур циркуляції холодоагенту холодильної машини. Розроблено експериментальну холодильну систему, в якій у холодні періоди року відведення теплоти від об'єкта, що охолоджується, здійснюється за рахунок режиму природної циркуляції холодоагенту з випарника в теплообмінник, що охолоджується радіаційним охолодженням. Проведено експериментальні дослідження холодильної системи з природною циркуляцією та радіаційним охолодженням холодоагенту R134a протягом осіннього періоду у місті Алмати. У ході експериментального дослідження встановлено, що за допомогою аналізованої системи відбувається охолодження камери, а температура в об'ємі, що охолоджується, підтримується на 5...7 К вище температури атмосферного повітря в нічний час. Визначено залежність температури повітря в холодильній камері від температури атмосферного повітря. Розроблено методику оцінки холодопродуктивності системи.

Дане дослідження показало можливість застосування радіаційного охолодження для відведення теплоти в режимі природної циркуляції холодоагенту.

Холодильна система дозволяє скоротити витрати електроенергії в холодні періоди року за рахунок відведення теплоти в навколишнє середовище без роботи компресора.

Ключові слова: радіаційне охолодження, ефективне випромінювання, природна циркуляція, холодильна машина, термосифонна система, енергозбереження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253977**РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ І ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНОСУШАРКИ НА БАЗІ ТЕРМОСИФОНІВ (с. 54–61)****I. В. Безбах, О. В. Зиков, В. П. Мординський, П. І. Осадчук, Л. Ю. Філіпова, В. М. Бандура, І. І. Яровий, О. І. Маренченко**

Енергоспоживання, екологія, якість продукту у процесах сушіння зернових – актуальні проблеми. Необхідно приділити увагу розробці нових конструкцій енергоефективних зерносушарок.

Розроблено конструкцію енергоефективної зерносушарки на базі термосифонів, енерговитрати складають 3,5...6,8 МДж/кг залежно від температури поверхні та витрат повітря. Сушарка містить шаровий підігрівач, сушильну камеру, теплогенератор, калорифер, норію для завантаження продукту, вентилятори. Конструктивні особливості сушарки дозволяють проводити процес сушіння без безпосереднього контакту газів згоряння та продукту.

Проведено оцінку ефективності розробленої конструкції за такими показниками як: коефіцієнти тепловіддачі до зернового потоку; питомі енерговитрати; вологовміст, відносна вологість повітря, що видаляється із сушарки.

Значення коефіцієнтів тепловіддачі до зернового потоку змінюються в межах 36...58 Вт/м²·К при швидкостях 2,5...8 мм/с. Збільшення швидкості потоку в 3,2 рази призводить до збільшення коефіцієнта тепловіддачі у 1,6 рази.

Вологовміст повітря на виході з сушарки сягає 60 г/кг, при цьому відносна вологість – 90 %, що в кілька разів вище за параметри для конвективних шахтних зерносушарок.

Енерговитрати на сушіння при температурі поверхні термосифонів $T_n=142,9$ °С для різних витрат зерна наближаються до мінімуму. Енерговитрати нижче існуючих конвективних сушарок.

На нагрівання зерна в сушарці витрачається 21 %, випаровування вологи 54 %, втрати 23,6 %. Якщо вважати корисною енергію, що витрачається на випаровування вологи, то ККД конвективних сушарок становить лише 40 %, сушарки з термосифонами – 54,1 %.

Очікується, що розроблена конструкція стане рішенням для дрібних фермерів у процесі післязбирального сушіння.

Ключові слова: термосифони, сушіння зернових, питомі енерговитрати, параметри повітря, коефіцієнти тепловіддачі, екологічність.