

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.344817

DETERMINING THE INFLUENCE OF STRUCTURAL AND ELECTROMAGNETIC PARAMETERS ON ACTIVE LOSSES IN AN ELECTRIC MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES (p. 6–15)**Mykhailo Kovalenko**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>**Vadim Chumack**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>**Viktor Grebenikov**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1114-1218>**Leonid Mazurenko**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-249X>**Ihor Tkachuk**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5717-2458>**Oleh Bazarov**

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8491-2678>**Yehor Titov**

Geko-Center LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8222-7477>

This study investigates a small-sized high-speed permanent magnet motor used in the drive of unmanned aerial vehicles.

As part of this study, a numerical simulation field mathematical model of a high-speed permanent magnet motor has been built, implemented by the finite element method. That made it possible to obtain the distribution of the electromagnetic field and forces, to estimate the total losses in all conductive and magnetically conductive media in individual structural elements of the permanent magnet motor under study. Unlike existing ones, the model built enables deriving the total losses in the calculation area; in permanent magnets, structural conductive elements, the armature winding, and in the magnetic core with hysteresis losses, eddy currents and additional losses caused by higher harmonics.

The task addressed is predetermined by the pressing scientific-practical issue related to increasing the energy efficiency of a high-speed permanent magnet motor used for electric transport systems and unmanned aerial vehicles. The use of a simplified, more technological rectangular shape of permanent magnets has been proposed. Applying permanent magnets of this configuration makes it possible to reduce the total losses in the motor by 23...41% depending on the type of power supply – sinusoidal or when powered by an inverter with PWM.

The use of a more technological form of permanent magnets leads to a decrease in the electromagnetic torque of the motor by ap-

proximately 18...30%, which is attributed to a decrease in the volume of active materials and an increase in the value of the equivalent air gap. At the same time, applying a modified form of permanent magnets makes it possible to reduce pulsations of the electromagnetic torque by 12%.

Keywords: high-speed motor, losses in the magnetic core, permanent magnet motor.

References

- Ostroverkhov, M., Chumack, V., Falchenko, M., Kovalenko, M. (2022). Development of control algorithms for magnetoelectric generator with axial magnetic flux and double stator based on mathematical modeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (120)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267265>
- Ji, W., Ni, F., Gao, D., Luo, S., Lv, Q., Lv, D. (2021). Electromagnetic Design of High-Power and High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor Considering Loss Characteristics. *Energies*, 14 (12), 3622. <https://doi.org/10.3390/en14123622>
- Tao, D., Zhou, K. L., Lv, F., Dou, Q., Wu, J., Sun, Y., Zou, J. (2020). Magnetic Field Characteristics and Stator Core Losses of High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motors. *Energies*, 13 (3), 535. <https://doi.org/10.3390/en13030535>
- Pan, B., Tao, D., Ge, B., Wang, L., Hou, P. (2022). Analysis of Eddy Current Loss of 120-kW High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor. *Machines*, 10 (5), 346. <https://doi.org/10.3390/machines10050346>
- Cheng, M., Li, Z., Xu, S., Pei, R. (2024). Design and Calculation of Multi-Physical Field of Ultra-High-Speed Permanent Magnet Motor. *Energies*, 17 (13), 3072. <https://doi.org/10.3390/en17133072>
- Zhang, M., Luo, S., Liu, X., Li, W. (2021). The eddy current loss segmentation model of permanent magnet for temperature analysis in high-speed permanent magnet motor. *IET Power Electronics*, 14 (4), 751–759. <https://doi.org/10.1049/pel2.12009>
- Bi, Q., Shao, D. (2023). Loss Analysis of High-Speed Permanent Magnet Motor for Cordless Vacuum Cleaner. *Journal of Physics: Conference Series*, 2488 (1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2488/1/012021>
- Liu, Z., Zhang, G., Du, G. (2024). An Investigation into the Pole-Slot Ratio and Optimization of a Low-Speed and High-Torque Permanent Magnet Motor. *Applied Sciences*, 14 (10), 3983. <https://doi.org/10.3390/app14103983>
- Zeng, Y., Yang, S., Yang, X., Wang, Q., Zhang, L., Hao, J., Hua, W. (2023). Influence of Interference Fit and Temperature on High-Speed Permanent Magnet Motor. *Applied Sciences*, 13 (20), 11331. <https://doi.org/10.3390/app132011331>
- Wang, Y., Ge, B., Wang, L., Liu, S. (2023). Friction Loss Calculation and Thermal Analysis of Submerged Low Temperature High Speed Permanent Magnet Motor. *IEEE Access*, 11, 107116–107125. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3320683>
- Li, Z., Wang, P., Liu, L., Xu, Q., Che, S., Zhang, L. et al. (2022). Loss calculation and thermal analysis of ultra-high speed permanent magnet motor. *Heliyon*, 8 (11), e11350. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11350>
- Kovalenko, M., Tkachuk, I., Kovalenko, I., Zhuk, S., Kryshnov, O. (2024). Double stator axial flux magnetoelectric generator for conversion of low potential mechanical energy. *Vidnovluvana Energetika*, 2 (77), 13–20. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.2\(77\).13-20](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.2(77).13-20)

13. Moradian, K., Sheikholeslami, T. F., Raghebi, M. (2022). Investigation of a spherical pendulum electromagnetic generator for harvesting energy from environmental vibrations and optimization using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 266, 115824. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115824>
14. Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. (2020). Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (103)), 30–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193495>
15. Oh, Y., Sahu, M., Hajra, S., Padhan, A. M., Panda, S., Kim, H. J. (2022). Spinel Ferrites (CoFe₂O₄): Synthesis, Magnetic Properties, and Electromagnetic Generator for Vibration Energy Harvesting. *Journal of Electronic Materials*, 51 (5), 1933–1939. <https://doi.org/10.1007/s11664-022-09551-5>
16. Kovalenko, M. A., Kovalenko, I. Y., Tkachuk, I. V., Harford, A. G., Tsyplenkov, D. V. (2024). Mathematical modeling of a magnetic gear for an autonomous wind turbine. *Naukovyi Visnyk Natsionalno Hirnychoho Universytetu*, 2, 88–95. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/088>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346016

EXPANDING THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF AN ELECTROMAGNETIC CONVERTER WITH A SPATIALLY PERIODIC MAGNETIC FIELD STRUCTURE (p. 16–23)

Tamer Shaiban

Africell Angola, Luanda, Angola

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1819-4977>

Borys Gorkunov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8175-858X>

Anna Tyshchenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2825-1376>

Serhii Lvov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3830-0570>

Vitaliy Evenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9589-0287>

This study investigates the process of interaction between the non-uniform electromagnetic field of a primary transducer and a metallic cylindrical article in order to obtain multiparametric information.

The study tackles the scientific and technical task of expanding the functional capabilities of an electromagnetic transducer by increasing the number of controllable parameters for an article at a single excitation frequency using the same transducer.

The method is based on extracting the amplitude and phase of the spatial harmonics of the non-uniform probing field. The advantage of such transducers is in the fact that, while operating at a single fixed excitation frequency, they enable multiparametric inspection of metal articles.

The results have practical significance for the instrumentation industry when designing and manufacturing primary transducers with

a spatially periodic structure of the excitation magnetic field. This makes it possible to perform contactless monitoring of the electrical, magnetic, and geometric parameters of cylindrical articles of various sizes and types.

For a transducer having two poles with currents in opposite directions, at $\gamma = 36^\circ$ and $d/a = 0.5$, the influence of the 5th spatial harmonic on the extracted 1st and 3rd harmonics is zero, while the influence of the 7th harmonic on the 1st and 3rd harmonics amounts to 0.36% and 2.7%, respectively. The influence of the 7th harmonic on the 3rd can be reduced to 1% by choosing $d/a = 0.4$.

An algorithm for monitoring three parameters of a cylindrical article has been developed, based on the normalized amplitudes of the 1st and 3rd harmonics and the phase of the 1st harmonic, thereby expanding the functional capabilities of the method. It has been established that the influence of higher spatial harmonics on the measurement results is insignificant, and the total error does not exceed 1.5% without higher harmonics, in contrast to single-frequency methods where the error exceeds 5%.

Keywords: nondestructive testing, spatial harmonic, magnetic permeability, electrical conductivity, amplitude, phase, sensitivity.

References

1. Krupka, J. (2021). Microwave Measurements of Electromagnetic Properties of Materials. *Materials*, 14 (17), 5097. <https://doi.org/10.3390/ma14175097>
2. Tamburrino, A., Sardellitti, A., Milano, F., Mottola, V., Laracca, M., Ferrigno, L. (2024). Old but not obsolete: Dimensional analysis in nondestructive testing and evaluation. *NDT & E International*, 141, 102977. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102977>
3. Pedersen, L. B., Magnusson, K.-Å., Zhengsheng, Y. (2000). Eddy Current Testing of Thin Layers Using Co-planar Coils. *Research in Nondestructive Evaluation*, 12 (1), 53–64. <https://doi.org/10.1007/s001640000005>
4. Rao, B. P. C., Raj, B., Venkataraman, B. (2007). *Practical Eddy Current Testing*. New Delhi: Narosa Publishing House.
5. Sollier, T., Premel, D., Lesselier, D. (2004). *Electromagnetic Nondestructive Evaluation (VIII). Vol. 24 Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*. Amsterdam: IOS Press, 320.
6. Augustyniak, M., Usarek, Z. (2016). Finite Element Method Applied in Electromagnetic NDTE: A Review. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 35 (3). <https://doi.org/10.1007/s10921-016-0356-6>
7. Gangl, P., Gobrial, M., Steinbach, O. (2023). A Space-Time Finite Element Method for the Eddy Current Approximation of Rotating Electric Machines. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.00278>
8. Ricken, W., Schoenekess, H. C., Becker, W.-J. (2006). Improved multi-sensor for force measurement of pre-stressed steel cables by means of the eddy current technique. *Sensors and Actuators A: Physical*, 129 (1-2), 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2005.11.056>
9. Huang, S., Wang, S. (2016). *New Technologies in Electromagnetic Non-destructive Testing*. In *Springer Series in Measurement Science and Technology*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-0578-7>
10. Gorkunov, B., Lvov, S., Tyshchenko, A., Jabbar, A., Nour, S. A. (2020). Method and Device for Sorting Thin-Walled Sheets of the Same Steel Grade. *2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 259–262. <https://doi.org/10.1109/ieps51250.2020.9263174>
11. Liu, Y., Liu, S., Liu, H., Mandache, C., Liu, Z. (2018). Pulsed Eddy Current Data Analysis for the Characterization of the Second-Layer Discontinuities. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 38 (1). <https://doi.org/10.1007/s10921-018-0545-6>

12. Gorkunov, B., Borysenko, Y., Lvov, S., Shaiban, T., Chahine, I. (2020). Development of multiparameter electromagnetic control and diagnostics of electrophysical parameters of power equipment. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 63–66. <https://doi.org/10.1109/ieps51250.2020.9263189>
13. Horkunov, B. M., Lvov, S. H., Tyshchenko, A. A., Shibani, T. (2017). Pat. No. 125124 UA. Sposib bezkontaktnoho kontroliu parametriv tsylindrychnykh providnykh vyrobiv. No. u201712770; declared: 22.12.2017; published: 25.04.2018. Available at: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/239028/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346809

CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS OF HEAT EXCHANGE IN MODERN ELECTRONIC DEVICES WITH THERMAL ACTIVE ZONES OF CANONICAL FORM (p. 24–33)

Vasyl Havrysh

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3092-2279>

Svitlana Yatsyshyn

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5200-4837>

Mykhailo Semerak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7582-6398>

Mihaylo Klymiuk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4344-2816>

Fedir Honchar

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6914-400X>

This study examines the heat exchange processes for thermally active and thermally sensitive individual nodes and elements in electronic devices that are subjected to thermal loads in the areas of canonical form. As a result of thermal loads, significant temperature gradients arise. To improve the accuracy of designing electronic devices and for their effective operation, linear and nonlinear mathematical models have been built to analyze their temperature regimes.

Based on the stated linear and nonlinear axisymmetric boundary value problems of heat conduction, their analytical and analytical-numerical solutions have been derived. Using these solutions has made it possible to establish the temperature distribution in spatial radial and axial coordinates for given geometric and thermophysical parameters (the chosen graphite has the ability to absorb a significant amount of heat at its thermal conductivity coefficient equal to 372 W/(m·degree)).

To effectively describe canonical heating regions, the theory of generalized functions has been used. A technique for linearizing nonlinear mathematical models has been introduced. As a result, linear second-order differential equations with partial derivatives and a singular right-hand side have been derived.

The numerical results reflect the temperature distribution in the medium along the radial and axial coordinates for the given geometric and thermophysical parameters. The number of divisions of the interval $(0; r^*)$ was chosen to be 9, which made it possible to obtain numerical values of temperature with an accuracy of 10^{-6} . The resulting numerical values of temperature for the selected materials with a linear temperature dependence of the thermal conductivity coefficient differ from the results obtained for its constant value by 5%.

The constructed mathematical models of heat transfer make it possible to analyze spatial isotropic media with respect to their thermal stability.

Keywords: temperature field, thermal conductivity of material, thermal resistance of structures, thermally sensitive material, canonical region.

References

1. Nikitchuk, A. V. (2024). Impact of Electronic Components Thermal Resilience on the Reliability of Radio-Electronic Equipment. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 98, 38–45. <https://doi.org/10.20535/radap.2024.98.38-45>
2. Protsiuk, B. V. (2023). Nonstationary Problems of Heat Conduction for a Thermosensitive Plate with Nonlinear Boundary Condition on One Surface. *Journal of Mathematical Sciences*, 272 (1), 135–150. <https://doi.org/10.1007/s10958-023-06405-1>
3. Vovk, O. M. (2025). Thermal State of Two Contacting Thermosensitive Layers Under Complex Heat Exchange. *Journal of Mathematical Sciences*, 287 (2), 334–345. <https://doi.org/10.1007/s10958-025-07594-7>
4. Kozub, H. O., Kozub, Yu. H. (2020). Modeling of thermal processes in layered bodies. *Geo-Technical Mechanics*, 151, 234–244. <https://doi.org/10.15407/geotm2020.151.234>
5. Fahmy, M. A. (2021). A new boundary element algorithm for modeling and simulation of nonlinear thermal stresses in micropolar FGA composites with temperature-dependent properties. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s40323-021-00193-6>
6. Srinivas, V. B., Manthena, V. R., Bikram, J., Kedar, G. D. (2021). Fractional order heat conduction and thermoelastic response of a thermally sensitive rectangular parallelepiped. *International Journal of Thermodynamics*, 24 (1), 62–73. <https://doi.org/10.5541/ijot.849663>
7. Brociek, R., Hetmaniok, E., Słota, D. (2024). Numerical Solution for the Heat Conduction Model with a Fractional Derivative and Temperature-Dependent Parameters. *Symmetry*, 16 (6), 667. <https://doi.org/10.3390/sym16060667>
8. Povstenko, Y., Kyrylych, T., Woźna-Szcześniak, B., Yatsko, A. (2024). Fractional Heat Conduction with Heat Absorption in a Solid with a Spherical Cavity under Time-Harmonic Heat Flux. *Applied Sciences*, 14 (4), 1627. <https://doi.org/10.3390/app14041627>
9. Peng, X., Li, X., Gong, Z., Zhao, X., Yao, W. (2022). A deep learning method based on partition modeling for reconstructing temperature field. *International Journal of Thermal Sciences*, 182, 107802. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107802>
10. Basit, M. A., Imran, M., Mohammed, W. W., Ali, M. R., Hendy, A. S. (2024). Thermal analysis of mathematical model of heat and mass transfer through bioconvective Carreau nanofluid flow over an inclined stretchable cylinder. *Case Studies in Thermal Engineering*, 63, 105303. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105303>
11. Zhou, K., Ding, H., Steenbergen, M., Wang, W., Guo, J., Liu, Q. (2021). Temperature field and material response as a function of rail grinding parameters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 175, 121366. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121366>
12. Mathew, J., Krishnan, S. (2021). A Review On Transient Thermal Management of Electronic Devices. *Journal of Electronic Packaging*. <https://doi.org/10.1115/1.4050002>
13. Liu, X., Peng, W., Gong, Z., Zhou, W., Yao, W. (2022). Temperature field inversion of heat-source systems via physics-informed neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 113, 104902. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104902>
14. Liu, H., Yu, J., Wang, R. (2023). Dynamic compact thermal models for skin temperature prediction of portable electronic devices based on

- convolution and fitting methods. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 210, 124170. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124170>
15. Coronel, A., Lozada, E., Berres, S., Huancas, F., Murúa, N. (2024). Mathematical Modeling and Numerical Approximation of Heat Conduction in Three-Phase-Lag Solid. *Energies*, 17 (11), 2497. <https://doi.org/10.3390/en17112497>
 16. Havrysh, V., Ovchar, I., Baranetskyj, J., Pelekh, J., Serduik, P. (2017). Development and analysis of mathematical models for the process of thermal conductivity for piecewise uniform elements of electronic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 23–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92551>
 17. Havrysh, V., Ivasyk, H., Kolyasa, L., Ovchar, I., Pelekh, Y., Bilas, O. (2017). Examining the temperature fields in flat piecewise- uniform structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (86)), 23–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97272>
 18. Havrysh, V. I., Kosach, A. I. (2012). Boundary-value problem of heat conduction for a piecewise homogeneous layer with foreign inclusion. *Materials Science*, 47 (6), 773–782. <https://doi.org/10.1007/s11003-012-9455-4>
 19. Gavrysh, V., Tushnytskyi, R., Pelekh, Y., Pukach, P., Baranetskyi, Y. (2017). Mathematical model of thermal conductivity for piecewise homogeneous elements of electronic systems. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 333–336. <https://doi.org/10.1109/cadsm.2017.7916146>
 20. Havrysh, V., Kochan, V. (2023). Mathematical Models to Determine Temperature Fields in Heterogeneous Elements of Digital Devices with Thermal Sensitivity Taken into Account. 2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 983–991. <https://doi.org/10.1109/idaacs58523.2023.10348875>
 21. Sokolovskyy, Y., Nechepurenko, A., Samotii, T., Yatsyshyn, S., Mokrytska, O., Yarkun, V. (2020). Software and Algorithmic Support for Finite Element Analysis of Spatial Heat-and-Moisture Transfer in Anisotropic Capillary-Porous Materials. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 316–320. <https://doi.org/10.1109/dsmp47368.2020.9204175>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346298

OPTIMIZATION OF A MULTI-REFLECTION TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER WITH TRANSAXIAL MIRRORS PROVIDING SPATIAL AND ENERGY TOF FOCUSING (p. 34–42)

Tilectes Shugayeva

K. Zhubanov Aktobe Regional University,
Aktobe, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4797-4529>

Igor Spivak-Lavrov

K. Zhubanov Aktobe Regional University,
Aktobe, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6235-3897>

Orda Baisanov

T. Y. Begeldinov Military Institute of Air Defense,
Aktobe, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6694-3007>

Amangul Amantayeva

K. Zhubanov Aktobe Regional University,
Aktobe, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1693-9085>

This study explores a multi-reflection time-of-flight mass spectrometer (TOFMS) based on transaxial electrostatic mirrors providing spatial and energy time-of-flight focusing of the ion beam. Analysis of existing solutions reveals that spatial-energy time-of-flight focusing in compact TOFMSs is achieved using additional focusing elements, which complicates the design, limits resolution, and reduces sensitivity.

This paper demonstrates that three-electrode transaxial mirrors enable simultaneous spatial and energy time-of-flight focusing of ions without the use of additional focusing elements. Monte Carlo simulation of the beam dynamics has made it possible to determine the trajectories and flight times of ions under various initial conditions.

It was found that two closely spaced vertical focusing modes provide time-of-flight focusing of ions with a relative energy spread of $\varepsilon = \pm 0.001$. A mass resolution of 10,000 at half-maximum confirms the high efficiency of the proposed structure. The spatial distributions of the ion beam demonstrate stable focusing in the detector plane when modeling particles larger than 1000.

The results are attributed to the features of transaxial geometry, which enables three-dimensional spatial and energy time-of-flight focusing. The practical significance of this work is the applicability of such multi-reflector mass analyzers in laboratory and space research where a combination of high resolution and instrument compactness is required.

Keywords: multi-reflector time-of-flight mass spectrometers, transaxial electrostatic mirror, analytical expressions for potential.

References

1. Wollnik, H. (2013). History of mass measurements in time-of-flight mass analyzers. *International Journal of Mass Spectrometry*, 349–350, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2013.04.023>
2. Cotter, R. J. (1989). Time-of-flight mass spectrometry: An increasing role in the life sciences. *Biological Mass Spectrometry*, 18 (8), 513–532. <https://doi.org/10.1002/bms.1200180803>
3. Wollnik, H., Wada, M., Schury, P., Rosenbusch, M., Ito, Y., Miyatake, H. (2019). Time-of-flight mass spectrographs of high mass resolving power. *International Journal of Modern Physics A*, 34 (36), 1942001. <https://doi.org/10.1142/s0217751x19420016>
4. Meisel, Z., George, S. (2013). Time-of-flight mass spectrometry of very exotic systems. *International Journal of Mass Spectrometry*, 349–350, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2013.03.022>
5. Knauer, S., Fischer, P., Marx, G., Müller, M., Rosenbusch, M., Schabinger, B. et al. (2019). A multi-reflection time-of-flight setup for the improvement and development of new methods and the study of atomic clusters. *International Journal of Mass Spectrometry*, 446, 116189. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2019.116189>
6. Yavor, M. I., Pomozev, T. V., Kirillov, S. N., Khasin, Y. I., Verenchikov, A. N. (2018). High performance gridless ion mirrors for multi-reflection time-of-flight and electrostatic trap mass analyzers. *International Journal of Mass Spectrometry*, 426, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2018.01.009>
7. Rosenbusch, M., Wada, M., Chen, S., Takamine, A., Iimura, S., Hou, D. et al. (2023). The new MRTOF mass spectrograph following the ZeroDegree spectrometer at RIKEN's RIBF facility. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1047, 167824. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2022.167824>
8. Ayet San Andrés, S., Hornung, C., Ebert, J., Plaß, W. R., Dickel, T., Geissel, H. et al. (2019). High-resolution, accurate multiple-reflection time-of-flight mass spectrometry for short-lived, exotic nuclei of a few events in their ground and low-lying isomeric states. *Physical Review C*, 99 (6). <https://doi.org/10.1103/physrevc.99.064313>

9. Cooper-Shepherd, D. A., Wildgoose, J., Kozlov, B., Johnson, W. J., Tyldesley-Worster, R., Palmer, M. E. et al. (2023). Novel Hybrid Quadrupole-Multireflecting Time-of-Flight Mass Spectrometry System. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 34 (2), 264–272. <https://doi.org/10.1021/jasms.2c00281>
10. Dickel, T., San Andrés, S. A., Beck, S., Bergmann, J., Dilling, J., Greiner, F. et al. (2019). Recent upgrades of the multiple-reflection time-of-flight mass spectrometer at TITAN, TRIUMF. *Hyperfine Interactions*, 240 (1). <https://doi.org/10.1007/s10751-019-1610-y>
11. Jiang, J., Hua, L., Xie, Y., Cao, Y., Wen, Y., Chen, P., Li, H. (2021). High Mass Resolution Multireflection Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometer. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 32 (5), 1196–1204. <https://doi.org/10.1021/jasms.1c00016>
12. Spivak-Lavrov, I. (2016). Analytical Methods for the Calculation and Simulation of New Schemes of Static and Time-of-Flight Mass Spectrometers. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 45–128. <https://doi.org/10.1016/bs.aiep.2015.10.001>
13. Spivak-Lavrov, I. F., Kalimatov, T. S., Shugaeva, T. Z. (2019). Prismatic mass analyzer with the conical achromatic prism and transaxial lenses. *International Journal of Mass Spectrometry*, 444, 116180. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2019.116180>
14. Spivak-Lavrov, I. F., Nurmukhanova, A. A., Shugaeva, T. Zh. (2019). Mass analyzer with a conic achromatic prism and transaxial lenses. *Scientific Instrumentation*, Saint Petersburg, 29 (1), 116–125.
15. Spivak-Lavrov, I. F., Shugaeva, T. Zh., Sharipov, S. U. (2020). Solutions of the Laplace equation in cylindrical coordinates, driven to 2D harmonic potentials. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 181–193. <https://doi.org/10.1016/bs.aiep.2020.06.006>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.343936

IMPROVING A METHOD FOR DETERMINING THE SPATIAL PARAMETERS IN THE MATHEMATICAL MODEL OF A DISTRIBUTED AUTOMATED INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR REAL-TIME CONTROL OVER THE QUALITY OF IRON ORE RAW MATERIALS (p. 43–52)

Albert Azaryan

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1381-579X>

Dmitriy Shvets

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5126-6405>

Andrii Hrytsenko

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8665-853X>

Annait Trachuk

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6241-1575>

Oleksii Cherkasov

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5941-3284>

Oleksandr Shvydky

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2669-1126>

This study investigates processes of irradiating iron ore raw materials by a source of low-energy gamma quanta and registering radiation scattered as a result of the Compton effect, as well as parameters of the irradiation geometry. This work addressed the task

of improving the accuracy of existing nuclear-physical methods of control over the quality of iron ore raw materials, which make it possible to promptly determine the material composition of the crushed rock mass.

The results essentially indicate that when using a centrally shifted irradiation geometry, the sensitivity of registration of the integral backscatter flux increases compared to the side and central irradiation geometries. This is attributed to improved visibility conditions of the detector, and the formation of a scattering angle close to the optimal.

The constructed mathematical model has made it possible to identify the main geometric parameters for the system of operational control over the quality of iron ore raw materials. A formula has been derived that connects the basic parameters in the system of operational control over iron content in ore with the use of centrally shifted irradiation geometry.

The studies demonstrated changes in the sensitivity of the registration of the integral backscatter flux when changing the vertical location of the gamma-ray source. The results revealed a maximum sensitivity with a value of $6.08 \cdot 10^{-7}$ at a minimum distance of the radiation source from the single crystal and a distance of 110 mm from the irradiated surface. The value of the correlation coefficient between the model and experimental data is 0.981.

The findings could be practically applied to improve the accuracy of methods for operational control over the content of a usable component in iron-containing ores under industrial conditions at ferrous metallurgy enterprises.

Keywords: Compton effect, albedo, gamma quantum, irradiation, rock, operational control.

References

1. Hryhoriev, Y., Lutsenko, S., Joukov, S. (2023). Dominujące uwarunkowania adaptacji kompleksu górniczego w warunkach środowiska dynamicznego. *Inżynieria Mineralna*, 1 (1). <https://doi.org/10.29227/im-2023-01-02>
2. Azaryan, A., Pikilnyak, A., Shvets, D. (2015). Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation. *Metallurgical and mining industry*, 8, 64–66. Available at: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/011Azaryan.pdf
3. Azaryan, A., Gritsenko, A., Trachuk, A., Shvets, D. (2018). Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (95)), 13–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144003>
4. Boisvert, L., Bazin, C., Caron, J., Lavoie, F. (2022). Development and Testing of a Method to Estimate the Mineral Composition of Ore from Chemical Assays with a View toward Geometallurgy: Application to an Iron Ore Concentrator. *Geomaterials*, 12 (04), 70–92. <https://doi.org/10.4236/gm.2022.124006>
5. Satmagan 135. A fast, accurate and reliable instrument for measuring the magnetite content in samples. Available at: <https://www.rapiscan-systems.com/en/products/satmagan-135>
6. Morkun, V., Morkun, N., Fischerauer, G., Tron, V., Haponenko, A., Bobrov, Y. (2024). Identification of mineralogical ore varieties using ultrasonic measurement results. *Mining of Mineral Deposits*, 18 (3), 1–8. <https://doi.org/10.33271/mining18.03.001>
7. Hryhoriev, Y., Lutsenko, S., Shvets, Y., Kuttybayev, A., Mukhamedyarova, N. (2024). Predictive calculation of blasting quality as a tool for estimation of production cost and investment attractiveness of a mineral deposit development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1415 (1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012027>

8. Porkuian, O., Morkun, V., Morkun, N., Tron, V., Haponenko, I., Davidkovich, A. (2020). Influence of the Magnetic Field on Love Waves Propagation in the Solid Medium. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 761–766. <https://doi.org/10.1109/elnano50318.2020.9088802>
9. Krapivnyi, N. S., Azaryan, A. A., Shvydkyi, O. V., Shvets, D. V., Hrytsenko, A. M. (2024). Development of an automated system for preparing mineral raw material samples for discrete analysis. CEUR Workshop Proceedings, 3917, 237–244. Available at: <https://cssesw.easyscience.education/cssesw2024/CSSES2024/paper41.pdf>
10. Zuo, Y.-H., Zhu, J.-H., Shang, P. (2021). Monte Carlo simulation of reflection effects of multi-element materials on gamma rays. Nuclear Science and Techniques, 32 (1). <https://doi.org/10.1007/s41365-020-00837-z>
11. Kiran, K. U., Ravindraswami, K., Eshwarappa, K. M., Somashekara, H. M. (2016). Albedo factors of 123, 320, 511, 662 and 1115 keV gamma photons in carbon, aluminium, iron and copper. The European Physical Journal Plus, 131 (4). <https://doi.org/10.1140/epjp/i2016-16087-5>
12. Turşucu, A. (2023). Seryum ve Bazı Seçilmiş Seryum Bileşiklerinde Gama Radyasyonu Yansıtma Parametreleri. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 13 (4), 1242–1250. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1180268>
13. Qin, R., Li, C., Qin, Z., Zhang, Z., Cai, J. (2025). A Compton scattering background subtraction method of gamma energy spectrum based on Gaussian function convolution. Radiation Physics and Chemistry, 226, 112202. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.112202>
14. Abdelnour, M. R., Liu, J., Hossny, K., Wajid, A. M., Li, W., Liu, Z. (2025). Prompt gamma neutron activation analysis: A review of applications, design, analytics, challenges, and prospects. Radiation Physics and Chemistry, 234, 112693. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2025.112693>
15. Huang, H., Cai, P., Jia, W., Zhang, Y. (2023). Identification of Pb–Zn ore under the condition of low count rate detection of slim hole based on PGNA technology. Nuclear Engineering and Technology, 55 (5), 1708–1717. <https://doi.org/10.1016/j.net.2023.01.005>
16. Jie, C., Reng-Bo, W., Yan, Z., Wen-bao, J., Chong-gui, Z., Rui, C. et al. (2024). MCNP simulation and experimental study in situ low-grade copper analysis based on PGNA. Applied Radiation and Isotopes, 206, 111224. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2024.111224>
17. PTC Mathcad Prime. Available at: <https://www.mathcad.com/>
18. Microsoft Excel. Available at: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365/excel>
19. Makek, M., Bosnar, D., Pavelić, L. (2019). Scintillator Pixel Detectors for Measurement of Compton Scattering. Condensed Matter, 4 (1), 24. <https://doi.org/10.3390/condmat4010024>
20. Kaur, T., Sharma, J., Singh, T. (2020). Experimental measurement of effective atomic numbers and albedo factors for some alloys using the backscattering technique. Applied Radiation and Isotopes, 158, 109065. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2020.109065>
21. Azaryan, A. (2015). Research of influence single crystal thickness NaJ (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation. Metallurgical and Mining Industry, 2, 43–46.
22. Chaddock, R. E. (1925). Principles and methods of statistics. Boston: Houghton Mifflin Company, 471.
23. Azaryan, A., Gritsenko, A., Trachuk, A., Serebrennikov, V., Shvets, D. (2019). Using the intensity of absorbed gamma radiation to control the content of iron in ore. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (5 (99)), 29–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170341>
24. Azarian, A. A., Azarian, V. V., Trachuk, A. A. (2021). Operativnyi kontrol ta upravlinnia yakistiu pry rozrobsi zalizorudnykh rodovyskhch. Praha: OKTAN PRINT, 144. <https://doi.org/10.46489/oktuj-11>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.344817

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПАРАМЕТРІВ НА АКТИВНІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (с. 6–15)**М. А. Коваленко, В. В. Чумак, В. В. Гребеніков, Л. І. Мазуренко, І. В. Ткачук, О. О. Базаров, Є. О. Тітов**

Об'єктом дослідження є малогабаритний високошвидкісний двигун із постійними магнітами, що використовується у приводі безпілотних літальних апаратів.

В рамках даного дослідження розроблено чисельну імітаційну польову математичну модель високошвидкісного двигуна із постійними магнітами, реалізовану методом скінченних елементів. Це дозволило отримати розподіл електромагнітного поля та зусиль, провести оцінку сумарних втрат у всіх електропровідних та магнітопровідних середовищах в окремих конструктивних елементах досліджуваного двигуна із постійними магнітами. На відміну від існуючих, розроблена модель дозволяє отримати повні втрати в розрахунковій області, в постійних магнітах, конструктивних електропровідних елементах, обмотці якоря та в магнітному осердді з втратами на гістерезис, вихровими струмами та додатковими втратами, спричиненими вищими гармоніками.

В дослідженні вирішується актуальне науково-практичне завдання, пов'язане із підвищенням енергоефективності високошвидкісного двигуна із постійними магнітами, що використовуються для електротранспортних систем та безпілотних літальних апаратів. Запропоновано використання спрощеної, більш технологічної прямокутної форми постійних магнітів. Використання постійних магнітів такої конфігурації дозволяє зменшити сумарні втрати в двигуні на 23...41% в залежності від типу живлення – синусоїдального чи при живленні від інвертора з ШІМ.

Використання більш технологічної форми постійних магнітів призводить до зменшення електромагнітного моменту двигуна орієнтовно на 18...30%, що пояснюється зменшенням об'єму активних матеріалів та збільшенням величини еквівалентного повітряного проміжку. Одночасно, використання модифікованої форми постійних магнітів дозволяє зменшити пульсації електромагнітного моменту на 12%.

Ключові слова: високошвидкісний двигун, втрати в магнітному осердді, двигун із постійними магнітами.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346016

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ПРОСТОРОВО-ПЕРІОДИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ (с. 16–23)**Shaiban Tamer, Б. М. Горкунов, А. А. Тищенко, С. Г. Львов, В. О. Вевенко**

Об'єктом досліджень є процес взаємодії неоднорідного електромагнітного поля первинного перетворювача з металевим циліндричним виробом для отримання багатопараметрової інформації.

В роботі розв'язано науково-технічну проблему розширення функціональних можливостей електромагнітного перетворювача за рахунок збільшення контрольованих параметрів виробу на одній частоті збудження одним і тим же перетворювачем.

Метод засновано на виділенні амплітуди та фази просторових гармонік неоднорідного зондувального поля. Перевага таких перетворювачів полягає в тому, що при роботі на одній фіксованій частоті збудження вони дозволяють здійснювати багатопараметровий контроль металевих виробів.

Практичне значення отриманих результатів для приладобудівної галузі полягає в розробці та виготовленні первинних перетворювачів з просторово-періодичною структурою збуджуючого магнітного поля. Це дало можливість безконтактно контролювати електричні, магнітні та геометричні параметри циліндричних виробів різного сортаменту і номенклатури.

Для перетворювача, що має два полюси зі струмами протилежних напрямків, при $\gamma = 36^\circ$ та $d/a = 0,5$ вплив 5-ї просторової гармоніки на виділені 1-у та 3-ю дорівнює нулю, а вплив 7-ї на 1-у та 3-ю становить відповідно 0,36% і 2,7%. Вплив 7-ї гармоніки на 3-ю можна зменшити до 1%, якщо прийняти $d/a = 0,4$.

Розроблено алгоритм контролю трьох параметрів циліндричного виробу, що ґрунтується на нормованих амплітудах 1-ї та 3-ї гармонік і фазі 1-ї гармоніки, розширюючи функціональні можливості методу. Встановлено, що вплив вищих просторових гармонік на результати вимірювань є незначним і сумарна похибка не перевищує 1,5% без вищих гармонік, на відміну від одночастотних методів з похибкою $> 5\%$.

Ключові слова: неруйнівний контроль, просторова гармоніка, магнітна проникність, електропровідність, амплітуда, фаза, чутливість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346809

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛООБМІНУ В СУЧАСНИХ ПРИСТРОЯХ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ З ТЕПЛОАКТИВНИМИ ЗОНАМИ КАНОНІЧНОЇ ФОРМИ (с. 24–33)**В. І. Гавриш, С. І. Яцишин, М. М. Семерак, М. М. Клим'юк, Ф. М. Гончар**

Об'єктом дослідження є процеси теплообміну для теплоактивних і термочутливих окремих вузлів та елементів електронних пристроїв, які піддаються тепловим навантаженням в областях канонічної форми. Внаслідок теплового навантаження виникають значні

температурні градієнти. Для підвищення точності проектування електронних пристроїв та їх ефективної роботи розроблено лінійні та нелінійні математичні моделі для аналізу їх температурних режимів.

На основі сформульованих лінійних та нелінійних осесиметричних крайових задач теплопровідності визначено їх аналітичні та аналітично-числові розв'язки. Із використанням цих розв'язків встановлено розподіл температури за просторовими радіальною та аксіальною координатами для заданих геометричних та теплофізичних параметрів (вибрано графіт, який має здатність поглинати значну кількість тепла і його коефіцієнт теплопровідності становить 372 Вт/(м·град)).

Для ефективного опису канонічних областей нагрівання використано теорію узагальнених функцій. Запроваджено спосіб лінеаризації нелінійних математичних моделей. У результаті отримано лінійні диференціальні рівняння другого порядку з частковими похідними і сингулярною правою частиною.

Отримані числові результати відображають розподіл температури в середовищі за радіальною та аксіальною координатами для заданих геометричних та теплофізичних параметрів. Кількість розбиттів інтервалу $(0; r^*)$ вибрано рівною 9, що дало змогу отримати числові значення температури з точністю 10^{-6} . Отримані числові значення температури для вибраних матеріалів за лінійної температурної залежності коефіцієнта теплопровідності відрізняються від результатів, отриманих для його сталого значення, на 5%. Розроблені математичні моделі теплообміну дають змогу аналізувати просторові ізотропні середовища щодо їх термостійкості.

Ключові слова: температурне поле, теплопровідність матеріалу, термостійкість конструкцій, термочутливий матеріал, канонічна область.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.346298

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОВІДБИВНОГО ЧАСОПРОЛІТНОГО МАС-СПЕКТРОМЕТРА З ТРАНСАКСІАЛЬНИМИ ДЗЕРКАЛАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПРОСТОРОВЕ ТА ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЧАСОПРОЛІТНЕ ФОКУСУВАННЯ (с. 34–42)

Tilektes Shugayeva, Igor Spivak-Lavrov, Orda Baisanov, Amangul Amantayeva

Об'єктом дослідження є багатовідбивний часопролітний мас-спектрометр (ЧПМС) на основі трансаксіальних електростатичних дзеркал, які забезпечують просторове та енергетичне часопролітне фокусування іонного пучка. Аналіз наявних рішень показує, що просторово-енергетичне часопролітне фокусування у компактних ЧПМС досягається за рахунок використання додаткових фокусувальних елементів, що ускладнює конструкцію, обмежує роздільну здатність і знижує чутливість.

У роботі показано, що триелектродні трансаксіальні дзеркала забезпечують одночасне просторове та енергетичне часопролітне фокусування іонів без застосування додаткових фокусувальних елементів. Моделювання динаміки іонного пучка методом Монте-Карло дало змогу визначити траєкторії та час прольоту іонів за різних початкових умов. Встановлено, що два близькі режими вертикального фокусування забезпечують часопролітне фокусування іонів із відносним енергетичним розкидом. Масова роздільна здатність 10000 на піввисоті піка підтверджує високу ефективність запропонованої схеми. Просторові розподіли іонного пучка демонструють стійке фокусування в площині детектора під час моделювання частинок понад 1000.

Отримані результати пояснюються особливостями трансаксіальної геометрії, яка забезпечує тривимірне просторове та енергетичне часопролітне фокусування. Практична значущість роботи полягає в можливості застосування таких багатовідбивних мас-аналізаторів у лабораторних і космічних дослідженнях, де необхідне поєднання високої роздільної здатності та компактності приладу.

Ключові слова: багатовідбивні часопролітні мас-спектрометри, трансаксіальне електростатичне дзеркало, аналітичні вирази для потенціалу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.343936

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛЕНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ (с. 43–53)

А. А. Азарян, Д. В. Швець, А. М. Гриценко, А. А. Трачук, О. В. Черкасов, О. В. Швидкий

Об'єктом дослідження є процеси опромінення залізорудної сировини джерелом низькоенергетичних гамма-квантів, реєстрації розсіяного в результаті комптон-ефекту випромінювання, а також параметри геометрії опромінення. В роботі досліджувалась проблема підвищення точності існуючих ядерно-фізичних методів контролю якості залізорудної сировини, що дозволяють оперативно визначати речовинний склад подрібненої гірської маси. Суть одержаних результатів полягає в тому, що при використанні центрально-зміщеної геометрії опромінення підвищується чутливість реєстрації інтегрального потоку зворотного розсіювання порівняно з бічною та центральною геометріями опромінення. Це пояснюється покращенням умов видимості детектора та формуванням кута розсіювання, близького до оптимального. Розроблена математична модель дозволила виділити основні геометричні параметри системи оперативного контролю якості залізорудної сировини. Отримано формулу, яка зв'яже основні параметри системи оперативного контролю вмісту заліза в руді з використанням центрально-зміщеної геометрії опромінення. Дослідження продемонстрували зміни чутливості реєстрації інтегрального потоку зворотного розсіювання при зміні вертикального розташування джерела гамма-квантів. Отримані результати де-

монструють максимум чутливості зі значенням $6.08 \cdot 10^{-7}$ при мінімумі відстані джерела випромінювання від монокристалу і відстані 110 мм від поверхні, що опромінюється. Значення коефіцієнта кореляції між модельними та експериментальними даними становить 0,981. Практичне використання отриманих результатів полягає у підвищенні точності методів оперативного контролю вмісту корисного компонента в залізовмісних рудах у виробничих умовах на підприємствах чорної металургії.

Ключові слова: комптон-ефект, альbedo, гамма-квант, опромінення, гірська порода, оперативний контроль.