

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254337

COMPUTER MODELING IN THE STUDY OF THE EFFECT OF NORMALIZED QUANTITIES ON THE MEASUREMENT ACCURACY OF THE QUADRATIC TRANSFORMATION FUNCTION (p. 6–16)

Volodymyr Shcherban'

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>

Ganna Korogod

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1670-3125>

Oksana Kolysko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>

Antonina Volivach

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7119-7774>

Yury Shcherban'

State Higher Educational Establishment "Kyiv College of Light Industry", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>

Ganna Shchutska

State Higher Educational Establishment "Kyiv College of Light Industry", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7182-8556>

The research of the systems of equations of quantities describing, respectively, 5 and 6 measurement cycles revealed the peculiarities of redundancy formation. It is proved that the normalized temperature T_1 has the greatest effect on the measurement result for both systems. In addition, it was found that in both systems, an increase in the reproduction accuracy of the normalized temperature T_1 (with a constant reproduction error of T_2) does not lead to a significant improvement in the results. Due to this, it can be argued on the use of non-precision normalized sources to reproduce the temperature T_1 . However, an order of magnitude increase in the reproduction accuracy of both normalized quantities T_1 and T_2 also increases the measurement accuracy by an order of magnitude. Computer modeling confirmed that for the redundant measurement equation (11) at the ratio $T_1 = T_2(0.0005 \cdot T_2 + 1)$ in the range $(10 \div 200)^\circ\text{C}$, measurement with a relative error $(0.01 \div 0.00003)\%$ is provided. When applying the redundant measurement equation (13), the accuracy increases to 0.0059% only at the end of the range. Based on the results obtained, it was found that the accuracy of redundant measurements is influenced by the type of equation itself, not their number. Processing of the results based on the redundant measurement equation, by the way, ensures the independence of the measurement result from the influence of absolute values of the transformation function parameters, as well as their deviations from nominal values under the influence of external destabilizing factors.

Thus, there is reason to believe that it is possible to increase the accuracy of measurement in a wide range by observing the ratio between normalized and controlled quantities.

Keywords: redundant methods, measurement equations, accuracy improvement, normalized quantities, reproduction errors of quantities.

References

- Shcherban', V., Kolysko, O., Melnyk, G., Sholudko, M., Shcherban', Y., Shchutska, G. (2020). Determining tension of yarns when interacting with guides and operative parts of textile machinery having the torus form. *Fibres and Textiles*, 4, 87–95. Available at: http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_12.pdf
- Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kolysko, O., Kalashnyk, V. (2019). Improvement of structure and technology of manufacture of multilayer technical fabric. *Fibres and Textiles*, 2, 54–63. Available at: http://vat.ft.tul.cz/2019/2/VaT_2019_2_10.pdf
- Shcherban', V., Makarenko, J., Melnyk, G., Shcherban', Y., Petko, A., Kirichenko, A. (2019). Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guide. *Fibres and Textiles*, 4, 59–68. Available at: http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_8.pdf
- Shi, B., Feng, S., Zhang, Y., Bai, K., Xiao, Y., Shi, L. et al. (2019). Junction Temperature Measurement Method for SiC Bipolar Junction Transistor Using Base–Collector Voltage Drop at Low Current. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34 (10), 10136–10142. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2019.2894346>
- Zyska, T., Boyko, O., Holyaka, R., Hotra, Z., Fechan, A., Ivanyuk, H. et al. (2018). Functionally integrated sensors of thermal quantities based on optocoupler. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2501632>
- Novosyadlyy, S. P., Lutsky, I. M. (2015). Ways to improve the performance of GaAs-sex Schottky transistors (PTSH) and selective-doped heterotransistors (SLGT) for the formation of modern microwave circuits. *Physics and Chemistry of Solid State*, 16 (2), 413–419. doi: <https://doi.org/10.15330/pcss.16.2.413-419>
- Hidalgo-López, J. A., Fernández-Ramos, R., Romero-Sánchez, J., Martín-Canales, J. F., Ríos-Gómez, F. J. (2018). Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*, 2018, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>
- Tankevych, Ye. M., Yakovlieva, I. V., Varskyi, G. M. (2016). Increasing the Accuracy of Voltage Measuring Channels of Electrical Power Object Control Systems. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 1, 79–84. Available at: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/1880/1880/>
- Rahimi, A., Kanerva, P., Benini, L., Rabaey, J. M. (2019). Efficient Biosignal Processing Using Hyperdimensional Computing: Network Templates for Combined Learning and Classification of ExG Signals. *Proceedings of the IEEE*, 107 (1), 123–143. doi: <https://doi.org/10.1109/jproc.2018.2871163>
- Huang, P.-C., Rabaey, J. M. (2017). A Bio-Inspired Analog Gas Sensing Front End. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 64 (9), 2611–2623. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsi.2017.2697945>
- Boyko, O., Barylo, G., Holyaka, R., Hotra, Z., Ilkanych, K. (2018). Development of signal converter of thermal sensors based on combi-

- nation of thermal and capacity research methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (94)), 36–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139763>
12. Boyko, O. V., Hotra, Z. Y. (2020). Analysis and research of methods of linearization of the transfer function of precision semiconductor temperature sensors. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21 (4), 737–742. doi: <https://doi.org/10.15330/pccs.21.4.737-742>
 13. Lewis, G., Merken, P., Vandewal, M. (2018). Enhanced Accuracy of CMOS Smart Temperature Sensors by Nonlinear Curvature Correction. *Sensors*, 18 (12), 4087. doi: <https://doi.org/10.3390/s18124087>
 14. Zhang, J., Qian, W., Gu, G., Mao, C., Ren, K., Wu, C. et al. (2019). Improved algorithm for expanding the measurement linear range of a four-quadrant detector. *Applied Optics*, 58 (28), 7741. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.58.007741>
 15. Goumopoulos, C. (2018). A High Precision, Wireless Temperature Measurement System for Pervasive Computing Applications. *Sensors*, 18 (10), 3445. doi: <https://doi.org/10.3390/s18103445>
 16. Liu, G., Guo, L., Liu, C., Wu, Q. (2018). Evaluation of different calibration equations for NTC thermistor applied to high-precision temperature measurement. *Measurement*, 120, 21–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.02.007>
 17. Chen, C.-C., Chen, C.-L., Lin, Y. (2016). All-Digital Time-Domain CMOS Smart Temperature Sensor with On-Chip Linearity Enhancement. *Sensors*, 16 (2), 176. doi: <https://doi.org/10.3390/s16020176>
 18. Cuesta-Frau, D., Varela, M., Aboy, M., Miró-Martínez, P. (2009). Description of a Portable Wireless Device for High-Frequency Body Temperature Acquisition and Analysis. *Sensors*, 9 (10), 7648–7663. doi: <https://doi.org/10.3390/s91007648>
 19. Kondratov, V. T. (2010). Metody izbytochnykh izmereniy: osnovnye opredeleniya i klassifikatsiya. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 3, 220–232. Available at: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf
 20. Kondratov, V. T. (2016). Fundamental metrology: the theory of the structural analysis of the equations of redundant and super-redundant measurements. *The message 1. Measuring and Computing Devices in Technological Processes*, 1, 17–26. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott_2016_1_4
 21. Kondratov, V. T. (2009). Teoriya izbytochnykh izmereniy: universal'noe uravnenie izmereniy. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 5, 116–129. Available at: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2009_5/zmist.files/23kon.pdf
 22. Kondratov, V. T. (2015). The theory redundant and super-redundant measurements: super-redundant measurements of resistance of resistors and resistive sensors. *The message 1. Vymiriuvalna ta obchyslivalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, 4, 7–22. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott_2015_4_3
 23. Shcherban, V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban, Y., Shchutka, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (98)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>
 24. Shcherban, V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban, Y., Shchutka, G. (2020). Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (108)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>
 25. Shcherban, V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban, Y., Shchutka, G. (2021). Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (110)), 27–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254825

PROJECT DEVELOPMENT OF A PRECISION INSTALLER FOR MEASURING INHOMOGENEOUS DENSITY OF THE SOLUTION IN THE PROCESS OF AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX (p. 17–24)

Kulzhan Berikkhanova

Private Institution «National Laboratory Astana» Nazarbayev University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6371-9210>

German Seredin

Private Institution «National Laboratory Astana» Nazarbayev University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9777-2813>

Dastan Sarbassov

LLP «R&D Engineering», Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0712-7648>

Gulsara Berikkhanova

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7033-5127>

Aidar Alimbayev

Nazarbayev University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5932-6414>

A project of a precision installer for measuring the inhomogeneous density of the solution has been developed. This module is one of the key components of an automated program-controlled complex created for the encapsulation of cell transport systems.

An analysis of existing methods for determining the values of viscosity and density shifts shows that optical measurement methods are the most appropriate for designing the precision installer due to their simplicity and reliability.

Implementation of optical measurement is also due to the need to ensure sterility of analyzed material, as well as non-destructive testing of liquid.

Using the ultrasound method requires immersion in liquid of transmitting element and receiver, which violates the principle of sterility. According to the results of measurements, it was found that the method of recording optical radiation can determine density distribution in the cuvette volume after centrifugation with a high degree of accuracy. The exact positioning of the needle for the selection of liquid has been achieved. A measuring optical module has been developed to determine the inhomogeneous density of the liquid.

Accurate positioning of the carousel at given points by mounting permanent neodymium magnets in the base of cuvette compartments has been achieved.

The simplification of measuring configuration by the exclusion of dispersive elements, filters and the monochromator significantly reduces the cost of measuring equipment and makes it easy to implement for solving such problems.

The introduction of modern digital technologies into the project makes it possible to process signal packets from positioning sensors and through individual channels, which is especially important for automating measurement and positioning processes, taking into account sterility.

Keywords: precision installer, optical module, inhomogeneous density of the solution, automation.

References

- Madadelahi, M., Madou, M. J., Nokoarani, Y. D., Shamloo, A., Martinez-Chapa, S. O. (2020). Fluidic barriers in droplet-based centrifugal microfluidics: Generation of multiple emulsions and microspheres. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 311, 127833. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127833>
- Clayton, A., Boilard, E., Buzas, E. I., Cheng, L., Falcón-Perez, J. M., Gardiner, C. et. al. (2019). Considerations towards a roadmap for collection, handling and storage of blood extracellular vesicles. *Journal of Extracellular Vesicles*, 8 (1), 1647027. doi: <https://doi.org/10.1080/20013078.2019.1647027>
- Chakhlov, V. L., Cheprasov, A. I., Shaverin, N. V. (2002). Measurements of the Density of Petroleum Products and Their Mixtures by the Ultrasonic Method. *Russian Journal of Nondestructive Testing* 38, 472–476. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1022187228570>
- Plotnomy. ChemPort.Ru. Available at: http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_2876.html
- Frenkel', Ya. I. (1975). *Kineticheskaya teoriya zhidkostey*. Leninograd: Nauka, 592.
- Püttmer, A., Hoppe, N., Henning, B., Hauptmann, P. (1999). Ultrasonic density sensor—analysis of errors due to thin layers of deposits on the sensor surface. *Sensors and Actuators A: Physical*, 76 (1-3), 122–126. doi: [https://doi.org/10.1016/s0924-4247\(98\)00365-3](https://doi.org/10.1016/s0924-4247(98)00365-3)
- Puttmer, A., Hauptmann, P. (1998). Ultrasonic density sensor for liquids. 1998 IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings (Cat. No. 98CH36102). doi: <https://doi.org/10.1109/ulsym.1998.762197>
- Kolesnikov, A. E. (1982). *Ul'trazvukovye izmereniya*. Moscow: Izd-vo standartov, 248. Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001126714>
- Ermolov, I. N., Lange, Yu. V. (2004). *Ul'trazvukovoy kontrol'. Nerazrushayuschiy kontrol'*. Vol. 3. Moscow: Mashinostroenie, 864.
- Gitis, M. B., Chuprin, V. A. (2012). Primenenie ul'trazvukovykh poverkhnostnykh i normal'nykh voln dlya izmereniy parametrov tekhnicheskikh zhidkostey. 1. Izmerenie sdvigovoy vyazkosti. *Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki*, 82 (5), 93–99. Available at: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/10603>
- Chuprin, V. A. (2014). Optimization of ultrasonic device parameters for measurements of lubricants viscosity for in-line condition diagnostics of machine equipment. Part 1. *Kontrol'. Diagnostika*, 188 (2), 15–23. doi: <https://doi.org/10.14489/td.2014.02.pp.015-023>
- Zhu, Z., Wu, J. (1995). The propagation of Lamb waves in a plate bordered with a viscous liquid. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98 (2), 1057–1064. doi: <https://doi.org/10.1121/1.413671>
- Qu, J., Berthelot, Y., Li, Z. (1996). Dispersion of Guided Circumferential Waves in a Circular Annulus. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, 169–176. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0383-1_21
- Bekker, Yu. (2009). *Spektroskopiya*. Moscow: Tekhnosfera, 528.
- Furtado, A., Gavina, J., Napoleão, A., Pereira, J., Cidade, M. T., Sousa, J. (2019). Density measurements of viscoelastic samples with oscillation-type density meters. *Journal of Physics: Conference Series*, 1379 (1), 012020. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1379/1/012020>
- Teutsch, T., Mesch, M., Giessen, H., Tarín, C. (2017). Refractive Index Estimation from Spectral Measurements of a Plasmonic Glucose Sensor and Wavelength Selection * *The project was funded by Baden-Württemberg Stiftung gGmbH. The authors would also like to thank MWK BW, ERC COMPLEX-PLAS and AvH Stiftung. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 4406–4411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.913>
- Kadlec, K. (2018). Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Density Measurement of Liquid Mixtures (Part 1). *Listy Cukrovarnické a Reparské*, 134, 122–127. Available at: <https://www.proquest.com/docview/2017962288?accountid=134066&forcedol=true#>
- Shmidt, V. (2007). *Opticheskaya spektroskopiya dlya khimikov i biologov*. Moscow: Tekhnosfera, 378.
- Fedorova, V.N., Faustov, E. V. (2008). *Meditinskaya i biologicheskaya fizika. Kurs lektsiy s zadachami*. Moscow, 592. Available at: <https://ru.calameo.com/read/0018041806b723b611a63>
- Bykovskiy, S. N., Vasilenko, I. A., Kharchenko, M. I. (Eds.) (2014). *Rukovodstvo po instrumental'nym metodam issledovaniy pri razrabotke i ekspertize kachestva lekarstvennykh preparatov*. Moscow: Izd-vo «Pero», 656.
- Brekhovskikh, L. M., Godin, O. A. (1989). *Akustika sloistykh sred*. Moscow: Nauka, 416.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255830

INFLUENCE ON THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITES OF THE DURATION OF MIXING OF COMPONENTS IN THE POLYMER MELT (p. 25–30)

Nataliia Fialko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0116-7673>

Roman Dinzhos

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv, Mykolayiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1105-2642>

Julii Sherenkovskii

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9883-4913>

Nataliia Meranova

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7223-8753>

Viktor Prokopov

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9026-8742>

Vitalii Babak

Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-4307>

Volodymyr Korzhyk

E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9106-8593>

Diana Izvorska

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8061-9150>

Maxim Lazarenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0719-3522>

Volodymyr Makhrovskiy

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,
Mykolayiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1426-179X>

A set of experimental studies has been carried out to establish the effect of the mixing time of components of nanocomposite materials on their thermal conductivity, specific heat, and density. The physical properties of polypropylene-carbon nanotube composites were to be studied. During the experiments, the duration of mixing of the components in the melt of the polymer varied from 5 to 52 minutes, the mass fraction of the filler – in the range of 0.3...10 %, and nanocomposite temperature – from 290 K to 475 K.

It was found that an increase in the mixing time of components of nanocomposite materials could lead to a significant (more than 70 times) increase in their thermal conductivity. It is also shown that the influence of the specified time is limited to its value equal to 27 minutes, above which the change in the thermal conductivity of nanocomposites can be neglected. It was found that the sensitivity of the thermal conductivity of nanocomposites to the time of mixing of their components decreases with a decrease in the mass fraction of the filler.

Temperature dependences of the specific heat capacity of the studied composites were obtained by varying the mixing time of their components and the mass fraction of the filler. It was found that with an increase in the specified time, there is a decrease in the heat capacity of nanocomposites, which is significantly manifested only in the region of temperatures close to the melting point of the composite matrix.

It is shown that the dependence of the density of nanocomposites on the mixing time of their components in qualitative terms is similar to the corresponding dependence for their thermal conductivity. The obtained data can be used to choose the mixing time of components of nanocomposite materials in the development of appropriate technology for their production.

Keywords: polymer nanocomposites, carbon nanotubes, polypropylene, thermal conductivity of nanocomposites, heat capacity of nanocomposites, density of nanocomposites.

References

- Kim, H. S., Bae, H. S., Yu, J., Kim, S. Y. (2016). Thermal conductivity of polymer composites with the geometrical characteristics of graphene nanoplatelets. *Scientific Reports*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep26825>
- Olewi, J. K., Abass, B. (2018). Thermal Properties of Polymeric Composites Reinforced by Nanoceramic Materials. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8 (6), 517–524. doi: <https://doi.org/10.24247/ijmperdec201855>
- Arora, G., Pathak, H. (2019). Numerical study on the thermal behavior of polymer nano-composites. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240 (1), 012050. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012050>
- Mohammad Nejad, S., Srivastava, R., Bellussi, F. M., Chávez Thielemann, H., Asinari, P., Fasano, M. (2021). Nanoscale thermal properties of carbon nanotubes/epoxy composites by atomistic simulations. *International Journal of Thermal Sciences*, 159, 106588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106588>
- Fialko, N. M., Dinzhos, R. V., Sherenkovskiy, Y. V., Meranova, N. O., Navrodskaaya, R. A. (2017). Heat conductivity of polymeric micro- and nanocomposites based on polyethylene at various methods of their preparation. *Industrial Heat Engineering*, 39 (4), 21–26. doi: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.03>
- Anis, B., Fllah, H. E., Ismail, T., Fathallah, W. M., Khalil, A. S. G., Hemeda, O. M., Badr, Y. A. (2020). Preparation, characterization, and thermal conductivity of polyvinyl-formaldehyde/MWCNTs foam: A low cost heat sink substrate. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (3), 2934–2945. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.044>
- Aslfattahi, N., Saidur, R., Che Sidik, N. A., Mohd Sabri, M. F., Zahir, M. H. (2020). Experimental Assessment of a Novel Eutectic Binary Molten Salt-based Hexagonal Boron Nitride Nanocomposite as a Promising PCM with Enhanced Specific Heat Capacity. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (1), 73–85. doi: <https://doi.org/10.37934/arfmts.68.1.7385>
- Siddique, S., Smith, G. D., Yates, K., Mishra, A. K., Matthews, K., Csetenyi, L. J., Njuguna, J. (2019). Structural and thermal degradation behaviour of reclaimed clay nano-reinforced low-density polyethylene nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 26 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1802-9>
- Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Izvorska, D., Korzhyk, V. et. al. (2021). Establishing patterns in the effect of temperature regime when manufacturing nanocomposites on their heat-conducting properties. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (112)), 21–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>
- Fialko, N., Dinzhos, R., Sherenkovskii, J., Meranova, N., Alohko, S., Izvorska, D. et. al. (2021). Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and thermal diffusivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (114)), 34–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252771

ANALYSIS OF POWER LOSSES IN MULTILEVEL PULSE-WIDTH MODULATION INVERTERS (p. 31–42)

Symbat Manat

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4171-1832>

Vyacheslav Yugay

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7249-2345>

Nurbol Kaliaskarov

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-1488>

The paper describes the types of multilevel pulse-width modulation, as well as methods for obtaining control signals for the inverter power switches for each of the types. The dependence of the harmonic composition of the output voltage of the inverter on the number of levels and the switching frequency of the keys of each level is analyzed. By modeling, the dependences of the transistor junction temperature on the number of voltage levels, switching frequency and load power are determined. The power switching system of an inverter with phase-shifted pulse-width modulation in high-frequency mode is analyzed, the dependence of switching losses on inductance is investigated. The ways of solving or improving the control systems of the conductivity losses of the converter flowing

through the primary winding of a high-frequency transformer during the free-running period are formulated. The importance of this direction for the technological development of the economy, where efficiency improvements can lower individual utility bills, create jobs, and help stabilize electricity prices and volatility is shown. The most important stage of inverter design is called structural synthesis stage – the choice of topology and modulation algorithm that will ensure the greatest efficiency of the device. In addition, since the efficiency and reliability of inverters depend on the efficiency and reliability of secondary electricity consumers, the task of optimizing inverter circuits is a cornerstone for the effective development of technology and economy. The maximum dynamic power loss at a PWM frequency of 1 kHz reaches only 80 watts compared to the static power loss value of 800 watts.

Keywords: multilevel inverter, pulse-width modulation, output voltage, energy efficiency, total harmonic distortion, switching frequency, transition temperature.

References

- Garapati, D. P., Nalli, P. K., Swaroop, K. P., Vijay Kumar, Y. (2021). She-Pwm Low Cost Multi Level Inverter for Pv Based Water Pumping Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 2089 (1), 012019. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2089/1/012019>
- Dahidah, M. S. A., Agelidis, V. G. (2008). Selective Harmonic Elimination PWM Control for Cascaded Multilevel Voltage Source Converters: A Generalized Formula. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23 (4), 1620–1630. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2008.925179>
- Prasad, G. D., Jegathesan, V., Rao, P. V. V. R. (2017). Hybrid multilevel DC link inverter with reduced power electronic switches. *Energy Procedia*, 117, 626–634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.162>
- Ketjoy, N., Chamsa-ard, W., Mensin, P. (2021). Analysis of factors affecting efficiency of inverters: Case study grid-connected PV systems in lower northern region of Thailand. *Energy Reports*, 7, 3857–3868. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2021.06.075>
- Kanike, V. K., Raju, S. (2020). Analysis of Switching Sequence Operation for Reduced Switch Multilevel Inverter With Various Pulse Width Modulation Methods. *Frontiers in Energy Research*, 7. doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00164>
- Shema, S. S., Daut, I., Irwanto, M., Shatri, C., Syafawati, N., Ashbahani, N. (2011). Study of inverter design and topologies for photovoltaic system. *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECEC)*. doi: <https://doi.org/10.1109/inecce.2011.5953934>
- Zhao, D., Yang, L., Wang, L., Wang, Q. (2015). Research on the inverter circuit of power generation system. *2015 IEEE 5th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication*. doi: <https://doi.org/10.1109/iceiec.2015.7284571>
- Farooqui, S. A., Shees, M. M., Alsharekh, M. F., Alyahya, S., Khan, R. A., Sarwar, A. et. al. (2021). Crystal Structure Algorithm (CryStAl) Based Selective Harmonic Elimination Modulation in a Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter. *Electronics*, 10 (24), 3070. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10243070>
- Dhineshkumar, K., Subramani, C., Geetha, A., Vimala, C. (2019). Performance analysis of PV powered multilevel inverter. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 9 (2), 753. doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i2.pp753-760>
- Maarouf, H. S., Al-Badrani, H., Younis, A. T. (2021). Design and simulation of cascaded H-bridge 5-level inverter for grid connection system based on multi-carrier PWM technique. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1152 (1), 012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1152/1/012034>
- Al-Modaffer, A. M., Chlahawi, A. A., Wahhab, H. A. (2020). Non-isolated multiple input multilevel output DC-DC converter for hybrid power system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19 (2), 635. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v19i2.pp635-643>
- Babkrani, Y., Naddami, A., Hilal, M. (2019). A smart cascaded H-bridge multilevel inverter with an optimized modulation techniques increasing the quality and reducing harmonics. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10 (4), 1852. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v10.i4.pp1852-1862>
- Seifi, A., Hosseinpour, M., Dejamkhooy, A., Sedaghati, F. (2020). Novel Reduced Switch-Count Structure for Symmetric/Asymmetric Cascaded Multilevel Inverter. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45 (8), 6687–6700. doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04659-4>
- Sathik, M. J., Almakhles, D. J., Sandeep, N., Siddique, M. D. (2021). Experimental validation of new self-voltage balanced 9L-ANPC inverter for photovoltaic applications. *Scientific Reports*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84531-z>
- Lee, S. S., Siwakoti, Y., Barzegarkhoo, R., Lee, K.-B. (2021). Switched-Capacitor-Based Five-Level T-Type Inverter (SC-5TI) With Soft-Charging and Enhanced DC-Link Voltage Utilization. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36 (12), 13958–13967. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2021.3088443>
- Lysenko, O. A., Okhotnikov, A. A., Zakharenko, V. A., Kobenko, V. Y. (2019). The study of five-level inverters with various PWM. *Omsk Scientific Bulletin*, 168, 34–39. doi: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2019-168-34-39>
- Antar, R. K., Saied, B. M., Khalil, R. A. (2012). Using seven-level cascade H-bridge inverter with HVDC system to improve power quality. *2012 First National Conference for Engineering Sciences (FNCES 2012)*. doi: <https://doi.org/10.1109/nces.2012.6740457>
- Shcherbakov, A. A. (2011). Spectral modeling of multilevel voltage inverters. *Problems of electric power industry*, 141–145.
- Bouzida, A., Abdelli, R., Ouadah, M. (2016). Calculation of IGBT power losses and junction temperature in inverter drive. *2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icmic.2016.7804216>
- Zotov, L. G., Breido, J. V., Isembergenov, N. T., Yugay, V. V. (2015). Methods for Controlling Autonomous DC System on the Basis of Switching by Capacitors. *Modern Applied Science*, 9 (4). doi: <https://doi.org/10.5539/mas.v9n4p135>
- Hasari, S. A. S., Salemnia, A., Hamzeh, M. (2017). Applicable Method for Average Switching Loss Calculation in Power Electronic Converters. *Journal of Power Electronics*, 17 (4), 1097–1108. doi: <https://doi.org/10.6113/JPE.2017.17.4.1097>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253568

ALGORITHM CONSTRUCTION AND NUMERICAL SOLUTION BASED ON THE GRADIENT METHOD OF ONE INVERSE PROBLEM FOR THE ACOUSTICS EQUATION (p. 43–52)

Syrym Kasenov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0097-1873>

Janar Askerbekova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0334-2308>

Aigerim Tleulesova

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9280-1048>

The paper considers the problem of continuation of solutions of hyperbolic equations from a part of the domain boundary. These problems include the Cauchy problem for a hyperbolic equation with data on a timelike surface. In the inverse problems, the inhomogeneities are located at some depth under the medium layer, the parameters of which are known. In this case, an important tool for practitioners are the problems of continuation of geophysical fields from the Earth's surface towards the lay of inhomogeneities. In equations of mathematical physics, solution of the continuation problem from part of the boundary is in many cases strongly ill-posed problems in classes of functions of finite smoothness. The ill-posedness of this problem is considered, that is, the example of Hadamard, a Cauchy problem for a hyperbolic equation, is given. The physical formulation of the continuation problem is considered and reduced to the inverse problem. The definition of the generalized solution is formulated and the correctness of the direct problem is presented in the form of a theorem. The inverse problem is reduced to the problem of minimizing the objective functional. The objective functional is minimized by the Landweber method. By the increment of the functional, we consider the perturbed problem for the direct problem. We multiply the equation of the perturbed problem by some function and integrate by parts, we obtain the formulation of the conjugate problem. After that, we get the gradient of the functional. The algorithm for solving the inverse problem is listed. A finite-difference algorithm for the numerical solution of the problem is presented. The numerical solution of the direct problem is performed by the method of inversion of difference schemes. The results of numerical calculations are presented.

Keywords: inverse problems, continuation problem, acoustic equation, numerical experiment, Landweber method.

References

- Kabanikhin, S., Nurseitov, D., Sholpanbaev, B. (2014). Zadacha prodolzheniya elektromagnitnogo polya v napravlenii k neodnorodnostyam. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya*, 11, 85–102.
- Pierce, A. (2019). *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*. Springer, 768. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11214-1>
- Koskov, N., Koskov, B. (2007). *Geofizicheskie issledovaniya skvazhin i interpretatsiya dannykh GIS*. Perm': Izd. Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 307.
- Tsai, C.-C., Lin, C.-H. (2022). Review and Future Perspective of Geophysical Methods Applied in Nearshore Site Characterization. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (3), 344. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse10030344>
- Obornev, E. A., Obornev, I. E., Rodionov, E. A., Shimelevich, M. I. (2020). Application of Neural Networks in Nonlinear Inverse Problems of Geophysics. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 60 (6), 1025–1036. doi: <https://doi.org/10.1134/s096554252006007x>
- Yaman, F., Yakhno, V. G., Potthast, R. (2013). A Survey on Inverse Problems for Applied Sciences. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–19. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/976837>
- Kasenov, S., Nurseitova, A., Nurseitov, D. (2016). A conditional stability estimate of continuation problem for the Helmholtz equation. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4959733>
- Kozlov, V. A., Maz'ya, V. G., Fomin, A. V. (1991). Ob odnom iteratsionnom metode resheniya zadachi Koshi dlya ellipticheskikh uravneniy. *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki*, 31 (1), 45–52.
- Safarov, Z. S., Durdiev, D. K. (2018). Inverse Problem for an Integro-Differential Equation of Acoustics. *Differential Equations*, 54 (1), 134–142. doi: <https://doi.org/10.1134/s0012266118010111>
- Blaunstein, N., Yakubov, V. (2018). *Electromagnetic and Acoustic Wave Tomography: Direct and Inverse Problems in Practical Applications*. CRC Press, 380. doi: <https://doi.org/10.1201/9780429488276>
- Ibraheem, K. I., Khudhur, H. M. (2022). Optimization algorithm based on the Euler method for solving fuzzy nonlinear equations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (115)), 13–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252014>
- Kabanikhin, S. (2011). *Inverse and Ill-posed Problems: Theory and Applications*. De Gruyter. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110224016>
- Kabanikhin, S., Nurseitova, A., Kasenov, S. (2021). Stability estimation of the generalized solution to the direct problem for the acoustic equation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2092 (1), 012005. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2092/1/012005>
- Shishlenin, M. A., Kasenov, S. E., Askerbekova, Z. A. (2019). Numerical Algorithm for Solving the Inverse Problem for the Helmholtz Equation. *Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education*, 197–207. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12203-4_20
- Kabanikhin, S. I., Scherzer, O., Shishlenin, M. A. (2003). Iteration methods for solving a two dimensional inverse problem for a hyperbolic equation. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 11 (1), 87–109. doi: <https://doi.org/10.1515/156939403322004955>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254337

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ НОРМОВАНИХ ВЕЛИЧИН НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ КВАДРАТИЧНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ (с. 6–16)

В. Ю. Щербань, Г. О. Корогод, О. З. Колиско, А. П. Волівач, Ю. Ю. Щербань, Г. В. Щуцька

Проведеними дослідженнями систем рівнянь величин, що описують, відповідно, 5-ть та 6-ть тактів вимірювання, встановлені особливості формування надлишковості. Доведено, що найбільший вплив на результат вимірювання для обох систем має нормована за значенням температура T_1 . Крім того, встановлено, що в обох системах підвищення точності відтворення нормованої за значенням температури T_1 (при незмінному значенні похибки відтворення T_2) не призводить до суттєвого покращення результатів. Завдяки цьому можна стверджувати про використання непрецензійних нормованих джерел для відтворення температури T_1 . Однак при збільшенні на порядок точності відтворення обох нормованих за значенням температур T_1 та T_2 відбувається підвищення точності вимірювання також на порядок. Комп'ютерним моделюванням підтверджено, що для рівняння надлишкових вимірювань (11) при співвідношенні $T_1 = T_i(0,0005 \cdot T_i + 1)$ на діапазоні $(10 \div 200)^\circ\text{C}$ забезпечується вимірювання з відносною похибкою $(0,01 \div 0,00003)\%$. При застосуванні рівняння надлишкових вимірювань (13) підвищення точності відбувається до $0,0059\%$ лише в кінці діапазону. На основі отриманих результатів встановлено, що на точність надлишкових вимірювань чинить вплив вид самого рівняння, а не їх кількість. Обробка результатів за рівняння надлишкових вимірювань, до речі, забезпечує незалежність результату вимірювання від впливу абсолютних значень параметрів функції перетворення, а також їх відхилення від номінальних значень під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Таким чином, є підстави стверджувати про можливість підвищити точність вимірювання в широкому його діапазоні за рахунок дотримання встановленого співвідношення між нормованою і контрольованою величинами.

Ключові слова: надлишкові методи, рівняння вимірювань, підвищення точності, нормовані за значенням величини, похибки відтворення величин.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.254825

РОЗРОБКА ПРОЄКТУ ПРЕЦИЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НЕОДНОРІДНОЇ ЩІЛЬНОСТІ РОЗЧИНУ В ПРОЦЕСІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ (с. 17–24)

Kulzhan Berikhanova, German Seredin, Dastan Sarbassov, Gulsara Berikhanova, Aidar Alimbayev

Розроблено проєкт прецизійної установки для вимірювання неоднорідної щільності розчину. Даний модуль є одним із ключових компонентів автоматизованого програмно-керованого комплексу, створеного для інкапсуляції транспортних систем клітин.

Аналіз існуючих методів визначення значень зрушень в'язкості та щільності показує, що оптичні методи вимірювання є найбільш придатними для проєктування прецизійної установки з огляду на їхню простоту та надійність.

Впровадження оптичного вимірювання також зумовлено необхідністю забезпечення стерильності аналізованого матеріалу, а також неруйнівного контролю рідини.

Використання ультразвукового методу вимагає занурення в рідину передавального елемента та приймача, що порушує принцип стерильності. За результатами вимірювань було встановлено, що метод реєстрації оптичного випромінювання дозволяє з високим ступенем точності визначати розподіл щільності в обсязі кювети після центрифугування. Досягнуто точне позиціонування голки для відбору рідини. Для визначення неоднорідної щільності рідини був розроблений вимірювальний оптичний модуль.

Досягнуто точне позиціонування каруселі у заданих точках за рахунок встановлення постійних неодимових магнітів в основі кюветних відсіків.

Спрощення вимірювальної схеми за рахунок виключення дисперсійних елементів, фільтрів та монохроматора значно знижує вартість вимірювального обладнання та спрощує його реалізацію для вирішення подібних задач.

Впровадження в проєкт сучасних цифрових технологій дозволяє обробляти пакети сигналів від датчиків позиціонування та окремих каналів, що особливо важливо для автоматизації процесів вимірювання та позиціонування з урахуванням стерильності.

Ключові слова: прецизійна установка, оптичний модуль, неоднорідна щільність розчину, автоматизація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.255830

ВПЛИВ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПЗИТІВ ТРИВАЛОСТІ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ У РОЗПЛАВІ ПОЛІМЕРУ (с. 25–30)

Н. М. Фіалко, Р. В. Дінжос, Н. О. Меранова, В. Г. Прокопов, В. П. Бабак, В. М. Коржик, Diana Izvorska, М. М. Лазаренко, В. М. Махровський

Виконано комплекс експериментальних досліджень щодо встановлення впливу часу змішування компонентів наноконпозиційних матеріалів на їхню теплопровідність, питому теплоємність та густину. Дослідженню підлягали фізичні

властивості композитів «поліпропілен-вуглецеві нанотрубки». При проведенні експериментів тривалість змішування компонентів у розплав полімеру змінювалася від 5 до 52 хв, масова частка наповнювача – у діапазоні 0,3...10 % і температура нанокompозитів – від 290 К до 475 К.

Встановлено, що збільшення часу змішування компонентів нанокompозиційних матеріалів може призводити до суттєвого (більш ніж 70 разів) підвищення їх теплопровідності. Показано також, що вплив зазначеного часу обмежується його значенням 27 хв, при перевищенні якого зміною теплопровідності нанокompозитів можна знехтувати. Встановлено, що чутливість теплопровідності нанокompозитів до часу змішування їх компонентів знижується зі зменшенням масової частки наповнювача.

Отримано температурні залежності питомої теплоємності досліджуваних композитів при варіюванні часу змішування їх компонентів та масової частки наповнювача. Встановлено, що при підвищенні зазначеного часу має місце зменшення теплоємності нанокompозитів, яка суттєво проявляється лише в області температур, близьких до температури плавлення композиційної матриці.

Показано, що залежність густини нанокompозитів від часу змішування їх компонентів у якісному відношенні є подібною до відповідної залежності для їх теплопровідності. Отримані дані можуть використовуватися для вибору часу змішування нанокompозиційних компонентів матеріалів при розробці відповідної технології їх отримання.

Ключові слова: полімерні нанокompозити, вуглецеві нанотрубки, поліпропілен, теплопровідність нанокompозитів, теплоємність нанокompозитів, густина нанокompозитів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252771

АНАЛІЗ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ У БАГАТОРІВНЕВИХ ШІМ-ІНВЕРТОРАХ (с. 31–42)

Symbat Manat, Vyacheslav Yugay, Nurbol Kaliaskarov

У роботі описані види багаторівневої широтно-імпульсної модуляції, а також способи отримання керуючих сигналів для вимикачів живлення інвертора для кожного виду. Проаналізовано залежність гармонійного складу вихідної напруги інвертора від кількості рівнів та частоти перемикання ключів кожного рівня. Шляхом моделювання визначені залежності температури переходу транзистора від кількості рівнів напруги, частоти перемикання та потужності навантаження. Проаналізовано систему комутації потужності інвертора з широтно-імпульсною модуляцією із зсувом фази у високочастотному режимі, досліджено залежність комутаційних втрат від індуктивності. Сформульовані шляхи вирішення або удосконалення систем управління втратами провідності перетворювача, що протікає через первинну обмотку високочастотного трансформатора в період холостого ходу. Показано важливість даного напрямку для технологічного розвитку економіки, де підвищення ефективності дозволяє знизити індивідуальні комунальні платежі, створити робочі місця, стабілізувати ціни на електроенергію та їхню волатильність. Найважливішим етапом проектування інвертора є структурний синтез – вибір топології та алгоритму модуляції, які забезпечать найбільшу ефективність пристрою. Крім того, оскільки ефективність та надійність функціонування інверторів залежать від ефективності та надійності функціонування вторинних споживачів електроенергії, задача оптимізації інверторних схем є наріжним каменем ефективного розвитку техніки та економіки. Максимальні динамічні втрати потужності при частоті ШІМ 1 кГц досягають всього 80 Вт у порівнянні зі статичними втратами потужності 800 Вт.

Ключові слова: багаторівневий інвертор, широтно-імпульсна модуляція, вихідна напруга, енергоефективність, коефіцієнт нелінійних спотворень, частота перемикання, температура переходу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.253568

ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ ТА ЧИСЕЛЬНЕ РІШЕННЯ НА ОСНОВІ ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ ОДНІЄЇ ЗВОРотної ЗАДАЧІ ДЛЯ РІВНЯННЯ АКУСТИКИ (с. 43–52)

Syrym Kasenov, Janar Askerbekova, Aigerim Tleulesova

У роботі розглядається задача продовження розв'язків гіперболічних рівнянь від частини межі області. До таких задач належить задача Коші для гіперболічного рівняння з даними на часоподібній поверхні. У зворотних задачах неоднорідності розташовуються на деякій глибині під шаром середовища з відомими параметрами. В даному випадку важливим інструментом для практиків є задача продовження геофізичних полів від поверхні Землі в бік залягання неоднорідностей. У рівняннях математичної фізики розв'язання задачі продовження від частини межі у багатьох випадках є суттєво некоректними задачами у класах функцій скінченної гладкості. Розглянуто некоректність цієї задачі, тобто наведено приклад Адамара, задачі Коші для гіперболічного рівняння. Розглянуто фізичну постановку задачі продовження, яка зводиться до зворотної задачі. Сформульовано визначення узагальненого рішення та представлена коректність прямої задачі у вигляді теореми. Зворотна задача зводиться до задачі мінімізації цільового функціоналу. Цільовий функціонал мінімізується за методом Ландвебера. За збільшенням функції оналу розглядається збурена задача для прямої задачі. Множимо рівняння збуреної задачі на деяку функцію та інтегруємо по частинах, отримуємо постановку сполученої задачі. Після цього отримуємо градієнт функціоналу. Наведено алгоритм вирішення зворотної задачі. Представлений конечно-різницевий алгоритм чисельного розв'язку задачі. Чисельне рішення прямої задачі виконується методом звернення різницевої схем. Представлені результати чисельних розрахунків.

Ключові слова: зворотні задачі, задача продовження, акустичне рівняння, чисельний експеримент, метод Ландвебера.