



DOI: 10.15587/2706-5448.2023.284518

### PERFORMANCE EVALUATION OF LU MATRIX DECOMPOSITION USING THE SYCL STANDARD

pages 6–9

**Dmytro Nasikan**, Department of System Design, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1840-4344>

**Vadym Yaremenko**, Postgraduate Student, Assistant, Department of System Design, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8557-6938>, e-mail: [yaremenko.v.s@gmail.com](mailto:yaremenko.v.s@gmail.com)

The object of this study is the performance of the SYCL standard tools when solving the LU matrix decomposition problem. SYCL is a fairly new technology for parallel computing in heterogeneous systems, so the topic of evaluating the performance of the standard on specific tasks in the field of parallel computing is relevant. In the study, the algorithm of parallelized LU decomposition of a square matrix was implemented by means of the SYCL standard and standard C++, and an experiment was conducted to test the implementation in a heterogeneous system with several types of processors. During testing, the program received square matrices of various dimensions as input, and the output was the execution time of the LU schedule on the selected processor. The obtained results, presented in the form of tabular and graphic data, show the advantage of the implementation of the SYCL standard over ordinary C++ by more than 2 times when using a graphics processor. It was experimentally shown that the implementation on SYCL is almost not inferior in speed to the implementation on ordinary C++ when executed on a central processor. Such results are caused both by the high possibility of parallelizing the LU schedule algorithm itself, and by the great work of the developers of the standard on its optimization.

The obtained results indicate the possibility of speeding up the solution of the LU decomposition of the matrix and similar algorithms by means of SYCL when using heterogeneous systems with processors optimized for data parallelism. The results of the study can be used in justifying the choice of technology for solving LU matrix decomposition problems or problems with a similar parallelization scheme.

**Keywords:** SYCL standard tools, parallel computing, LU decomposition, SYCL performance, numerical methods.

#### References

- Alpay, A., Heuveline, V. (2020). SYCL beyond OpenCL: The architecture, current state and future direction of hipSYCL. *Proceedings of the International Workshop on OpenCL*. doi: <https://doi.org/10.1145/3388333.3388658>
- Lal, S., Alpay, A., Salzmann, P., Cosenza, B., Hirsch, A., Stawinoga, N. et al. (2020). SYCL-Bench: A Versatile Cross-Platform Benchmark Suite for Heterogeneous Computing. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer, 629–644. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57675-2\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57675-2_39)
- Diop, T., Gurfinkel, S., Anderson, J., Jerger, N. E. (2013). DistCL: A Framework for the Distributed Execution of OpenCL Kernels. *2013 IEEE 21st International Symposium on Modelling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems*, 556–566. doi: <https://doi.org/10.1109/mascots.2013.77>
- Ozcan, C., Sen, B. (2012). Investigation of the performance of LU decomposition method using CUDA. *Procedia Technology*, 1, 50–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.02.011>
- Ghysels, P., Synk, R. (2022). High performance sparse multifrontal solvers on modern GPUs. *Parallel Computing*, 110, 102897. doi: <https://doi.org/10.1016/j.parco.2022.102897>
- Mittal, R. C., Al-Kurdi, A. (2002). LU-decomposition and numerical structure for solving large sparse nonsymmetric linear systems. *Computers & Mathematics with Applications*, 43 (1-2), 131–155. doi: [https://doi.org/10.1016/s0898-1221\(01\)00279-6](https://doi.org/10.1016/s0898-1221(01)00279-6)
- Lambers, J. (2021). «The LU Decomposition» in *MAT 610 – Numerical Linear Algebra, Sec. 3.2*. Available at: <https://www.math.usm.edu/lambers/mat610/class0125.pdf>
- Yang, A., Liu, C., Chang, J., Guo, X. (2020). Research on Parallel LU Decomposition Method and its Application in Circle Transportation. *Journal of Software*, 5, 1250–1255. doi: <https://doi.org/10.4304/jsw.5.11.1250-1255>
- Peng, S., Tan, S. X.-D. (2020). GLU3.0: Fast GPU-based Parallel Sparse LU Factorization for Circuit Simulation. *IEEE Design & Test*, 37 (3), 78–90. doi: <https://doi.org/10.1109/mdat.2020.2974910>
- SYCL Working Group, «SYCL™ 2020 Specification (revision 7)» (2023). The Khronos Group. Available at: <https://registry.khronos.org/SYCL/specs/sycl-2020/pdf/sycl-2020.pdf>

## SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.279437

### DEVELOPMENT OF METHODS FOR IDENTIFYING THE STATE OF VARIOUS DYNAMIC OBJECTS

pages 10–14

**Oleksii Romanov**, PhD, Senior Researcher, Head of Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0611-3260>

**Andrii Shyshatskyi**, PhD, Senior Researcher, Educational and Scientific Institute of Public Administration and Civil Service of Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>, e-mail: [ierikon13@gmail.com](mailto:ierikon13@gmail.com)

**Oleh Shknaï**, PhD, Leading Researcher, Research Department, Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

**Volodymyr Yashchenok**, PhD, Associate Professor, Head of Department of Design and Durability of Aircraft and Engines, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7806-8078>

**Tetiana Stasiuk**, Lecturer, Cyclic Commission of General Education Disciplines, Sergeant Military College, Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8434-1853>

**Oleksandr Trotsko**, PhD, Associate Professor, Department of Automated Control Systems, Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7535-5023>

**Vira Velychko**, Lecturer, Department of Automated Control Systems, Military Institute of Telecommunications and Informa-

tion Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9654-4560>

**Nadiia Protas**, PhD, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

**Hennadii Miahkykh**, Lecturer, Department of Automated Control Systems, Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4491-5395>

**Dmytro Balan**, Lecturer, Department of Automated Control Systems, Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6714-8718>

Artificial intelligence technologies are actively used to solve both general and highly specialized tasks. In the process of assessing (identifying) the condition of complex and heterogeneous objects, there is a high degree of a priori uncertainty regarding their condition and a small amount of initial data describing them. The trends of armed conflicts of the last decades and the regularities of the development of information systems, convincingly indicate the need to change approaches to the collection of information from various sources and their analysis. There is a constant transformation of the forms of information presentation and the order of storage and access to various types of data. The problem of integrating disparate sources of information collection into a single information space is also not fully resolved.

That is why the issue of improving the efficiency of assessing the state of complex and heterogeneous dynamic objects is an important and urgent issue. The objects of research are heterogeneous dynamic objects. The subject of the research is the identification of the state of heterogeneous dynamic objects. In the research, the method of identifying the state of heterogeneous dynamic objects was developed. The novelty of the proposed method consists in:

- taking into account the degree of uncertainty about the state of a heterogeneous dynamic object;
- taking into account the degree of data noise as a result of distortion of data characterizing the state of a heterogeneous dynamic object;
- reducing computing costs while assessing the state of heterogeneous dynamic objects;
- the possibility of performing calculations with source data that are different in nature and units of measurement.

It is advisable to implement the mentioned method in specialized software, which is used to analyze the state of complex technical systems and make decisions.

**Keywords:** heterogeneous dynamic objects, complex technical systems, complex analysis, processing of various types of data.

#### References

1. Shishatekii, A. V., Bashkirov, O. M., Kostina, O. M. (2015). Rozvitok integrovanih sistem zv'iazku ta peredachi danikh dlia potreb Zbroinikh Sil. *Ozbroennia ta viiskova tekhnika*, 1 (5), 35–40.
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
4. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
5. Rotshtein, A. P. (1999). *Intellektualnye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsia: UNIVERSUM, 320.
6. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
7. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
8. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
9. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
10. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
11. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
12. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
13. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
14. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivnyi podkhod k imitatsionnomu modelirovaniu slozhnykh sistem. *Izvestiia IuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.281892

#### DEVELOPMENT OF ASSESSMENT AND FORECASTING TECHNIQUES USING FUZZY COGNITIVE MAPS

pages 15–19

**Andrii Shyshatskyi**, PhD, Senior Researcher, Educational and Scientific Institute of Public Administration and Civil Service of Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>, e-mail: [ierikon13@gmail.com](mailto:ierikon13@gmail.com)

**Oleg Sova**, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Automated Control Systems, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

**Tetiana Stasiuk**, Lecturer, Cyclic Commission of General Education Disciplines, Sergeant Military College, Military Institute of Tele-

communications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8434-1853>

**Vitalii Andronov**, PhD, Head of Research Department, Defence Intelligence Research Institute, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-710X>

**Oleksii Nalapko**, PhD, Senior Research Fellow, Scientific-Research Laboratory of Automation of Scientific Researches, Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipments of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

**Nadiia Protas**, PhD, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

**Gennady Pris**, Deputy Head of Research Department, Scientific Center of Communication and Informatization, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8081-4391>

**Roman Lazuta**, Head of Research Department, Scientific Center of Communication and Informatization, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-9690>

**Illia Kovalenko**, Senior Research Fellow, Research Department, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6827-5196>

**Bohdan Kovalchuk**, Junior Research Fellow, Research Department, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-7624>

Nowadays, no state in the world is able to work on the creation and implementation of artificial intelligence (AI) in isolation from others. AI technologies are used to solve general and highly specialized tasks in various spheres of society. In the process of assessing (identifying) the state of complex objects and objects of management analysis, there is a high degree of a priori uncertainty regarding their state and a small amount of initial data describing them. At the same time, despite the huge amount of information, the degree of non-linearity, illogicality and noisy data is increasing. That is why the issue of improving the efficiency of assessing the condition of components and objects is an important issue. Thus, the objects of analysis were chosen as the research object. The subject of research is the identification and forecasting of the analysis object.

In the research, the evaluation and forecasting method was developed using fuzzy cognitive maps. The features of the proposed method are:

- taking into account the degree of uncertainty about the object state while calculating the correction factor;
- adding a correction factor for data noise as a result of distortion of information about the object state;
- reduction of computing costs while assessing the object state;
- creation of a multi-level and interconnected description of hierarchical objects;
- correction of the description of the object as a result of a change in its current state using a genetic algorithm;
- the possibility of performing calculations with source data that are different in nature and units of measurement.

It is advisable to implement the proposed method in specialized software, which is used to analyze the state of complex technical systems and while making decisions.

**Keywords:** artificial intelligence, analysis objects, complex technical systems, vague cognitive maps, uncertainty.

#### References

1. Shevchenko, A. I., Baranovskiy, S. V., Bilokobylskiy, O. V., Bodianskiy, Ye. V., Bomba, A. Ya. et al.; Shevchenko, A. I. (Ed.) (2023). *Stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini*. Kyiv: IPShI, 305.
2. Shyshatskiy, A. V., Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, 1 (5), 35–40.
3. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskiy, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Shyshatskiy, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O., Neroznak, Ye. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
5. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
6. Rotshtejn, A. P. (1999). *Intellektual'nye tekhnologii identifikacii: nechyotkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti*. Vinnyca: UNIVERSUM, 320.
7. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
8. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
9. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
10. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
11. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
12. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
13. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
14. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1, 65–75.

15. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivnyi podhod k imitatsionnomu modelirovaniu slozhnyh sistem. *Izvestiia IUFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
16. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M., Teshnehlab, M. (2013). A Novel Cat Swarm Optimization Algorithm for Unconstrained Optimization Problems. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 5 (11), 32–41. doi: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2013.11.04>

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.282042

**USING REDUNDANT CONTROL TO OPTIMIZE CONTROL TORQUE**

pages 20–24

**Igor Gritsuk**, Doctor of Technical Science, Professor, Department of Ship Power Plants Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7065-6820>

**Pavlo Nosov**, PhD, Associate Professor, Department of Navigation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: [pason@ukr.net](mailto:pason@ukr.net), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5067-9766>

**Andrii Bondarchuk**, Postgraduate Student, Department of Ship Electrical Equipment and Automatic Devices Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5219-6526>

**Oleksandr Bondarchuk**, Postgraduate Student, Department of Ship Electrical Equipment and Automatic Devices Operation, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1643-6874>

The object of research is the process of automatic control of the redundant structure of the vessel's executive devices for extreme rotation in the yaw channel. Traditionally, redundant structures have been used to improve the reliability of automated control systems and the maneuverability of vessels. At the same time, control redundancy can also be used to optimize control processes, thereby reducing fuel consumption, increasing control forces and moments, and reducing the time required to perform operations. This allows gaining advantages in movement over vessels not equipped with optimization modules. The paper considers the optimal management of the redundant structure of an offshore vessel, which ensures the rotational movement of the vessel around the center of rotation with the maximum angular velocity. As well as simultaneous maintenance of a given position or movement in the longitudinal and lateral channel, taking into account control restrictions. This problem is reduced to a nonlinear optimization problem with nonlinear and linear control constraints. The method, algorithmic and software of the module of extreme rotation of the vessel with a redundant structure of executive devices have been developed. The workability and efficiency of the developed method, algorithmic and software are verified by mathematical modeling in the closed circuit «Control Object – Control System». The results of the conducted experiment showed that the use of optimal control allows, in comparison with traditional methods of splitting controls, to increase the control moment and angular speed of rotation by 1.5–2 times. The obtained opportunities are explained by the use of a mathematical model of the redundant control structure and the optimization procedure for calculating optimal controls in the on-board computer of the automated system. The developed method can be used on vessels, provided it is integrated into the existing automated system of the on-board computer with an open architecture, to increase the capabilities of automatic traffic control.

**Keywords:** navigation safety, human factor, intelligent vehicles, automated system, optimal controls, automatic control module.

**References**

- Podder, T. K., Sarkar, N. (2001). Fault-tolerant control of an autonomous underwater vehicle under thruster redundancy. *Robotics and Autonomous Systems*, 34 (1), 39–52. doi: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(00\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(00)00100-7)
- Zemlyakov, A. S. (2001). Control the angular position of a spacecraft with an excess gyrodin structure. *Bulletin of Kazan State Technical University*, 4, 56–62.
- Lebedev, D. V. (2008). Momentum unloading excessive reaction-wheel system of a spacecraft. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 47 (4), 613–620. doi: <https://doi.org/10.1134/S1064230708040138>
- Xue, L., Yang, B., Wang, X., Cai, G., Shan, B., Chang, H. (2023). MIMU Optimal Redundant Structure and Signal Fusion Algorithm Based on a Non-Orthogonal MEMS Inertial Sensor Array. *Micromachines*, 14 (4), 759. doi: <https://doi.org/10.3390/mi14040759>
- Chiurazzi, M., Alcaide, J. O., Diodato, A., Menciassi, A., Ciuti, G. (2023). Spherical Wrist Manipulator Local Planner for Redundant Tasks in Collaborative Environments. *Sensors*, 23 (2), 677. doi: <https://doi.org/10.3390/s23020677>
- Liu, Y., Wang, L., Yu, Y., Zhang, J., Shu, B. (2022). Optimization of redundant degree of freedom in robot milling considering chatter stability. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1360661/v1>
- Gao, W., Tang, Q., Yao, J., Yang, Y. (2020). Automatic motion planning for complex welding problems by considering angular redundancy. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 62, 101862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101862>
- Navi – Trainer 5000. *Transas offshore simulator* (2012). Transas MIP Ltd.
- Zinchenko, S., Kobets, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I. (2023). Intelligent System Control of the Vessel Executive Devices Redundant Structure. *CEUR Workshop Proceedings*, 3403, 582–594.
- Serhii, Z., Oleh, T., Pavlo, N., Ihor, P., Kostiantyn, K. (2022). Pivot Point position determination and its use for manoeuvring a vessel. *Ships and Offshore Structures*, 18 (3), 358–364. doi: <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2052480>

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.284578

**ANALYTICAL ASPECTS OF APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS OF MANAGEMENT OF COMPUTER SYSTEMS IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS**

pages 25–29

**Holub Halyna**, PhD, Associate Professor, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4028-1025>, e-mail: [golub.galina@ukr.net](mailto:golub.galina@ukr.net)

**Iryna Voronko**, PhD, Senior Lecturer, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3599-6672>

**Borys Azizov**, Senior Lecturer, Department of Repair and Operation of Automotive and Special Vehicles, Military Academy, Odesa, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5251-8151>

**Vitalii Chernenko**, Senior Lecturer, Department of Repair and Operation of Automotive and Special Vehicles, Military Academy, Odesa, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9661-0906>

**Mykola Moseichuk**, Postgraduate Student, Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6814-5989>

**Vitalii Ishchenko**, Postgraduate Student, Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8690-2581>

The object of research is the processes of monitoring and intelligent control of computer systems in transport infrastructure projects. In the design and operation of computer networks, an urgent task is to solve the problem of providing quality services with distributed information processing, which is largely determined by the development of the network management mechanism of the transport system. The increase in the amount of digital data creates security and protection of information solely at the expense of the aspects of their design and operation. The paper considers the methods of intelligent network management of computer systems in transport infrastructure projects, analyzes their principles of operation and functions in relation to the network infrastructure. Methods using intelligent agents are analyzed and the results of their application to computer network management are presented. The use of intelligent agents in computer networks and systems allows automating complex tasks, optimizing resources and increasing the efficiency of the network of the transport economy system. They can contribute to increased productivity, safety, and user satisfaction.

The considered algorithms for processing the results of the examination of the load of the transport network infrastructure are used to ensure effective management of the transport system. Processing algorithms allow analyzing the current state of traffic in different sections of the transport network. These algorithms can be used to develop optimal traffic distribution strategies. A case of their application is presented.

One of the main tasks of the transport sector is to ensure traffic safety, which can be achieved by quickly processing information and receiving it distributed to all levels of the management system for quick analysis, processing, and (if necessary) response. The paper proposes to use methods of monitoring, expert evaluation of the general state of the computer network and the development of management decisions that take into account the peculiarities of the structure and functioning of computer systems in transport infrastructure projects.

This ensures the ability to transmit information with specified service quality parameters with minimal network resource consumption.

The research presented in this paper can be used in practice in organizations and enterprises of the transport sector during the reorganization, improvement, or integration of individual components of the information system.

**Keywords:** monitoring, computer system, computer network, transport management, information processing.

### References

1. Carter, J., Ghorbani, A. A., Marsh, S. (2002). Just-in-time information sharing architectures in multi-agent system. *Proceedings of AAMAS*. Bologna, 647–654. doi: <https://doi.org/10.1145/544862.544893>
2. Mostagir, M., Decker, K. (2002). A multi-agent system architecture for active Networks. *Proceedings of AAMAS 2002*. Bologna, 1417–1418. doi: <https://doi.org/10.1145/545056.545146>
3. Boutaba, R., Iraqi, Y., Mehaoua, A. (2003). A multi-agent architecture for QoS management in multimedia networks. *Journal of Network and Systems Management*, 11 (1), 83–107. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1022497125456>
4. Papavassiliou, S., Puliafito, A., Tomarchio, O., Ye, J. (2002). Mobile agent-based approach for efficient network management and resource allocation: framework and applications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20 (4), 858–872. doi: <https://doi.org/10.1109/jsac.2002.1003050>
5. Iraqi, Y., Boutaba, R., Garcia, A. L. (2000). QoS control in wireless ATM. *Mobile Networks and Applications*, 5, 137–145. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1019148226421>
6. Holub, H., Kulbovskiy, I., Kharuta, V., Tkachuk, M., Tymoshchuk, O. (2021). Methods of Intelligent Data Processing of the System of Control and Diagnostics of Electric Power Transport Objects. *25<sup>th</sup> International Scientific Conference on Transport Means 2021*. Kaunas, 797–801.
7. Carter, J., Ghorbani, A. A., Spencer, B. (2001). Agent design considerations withindistributed information retrieval systems. *Proceedings of the Workshop of Novel E-Commerce Applications of Agents*. Ottawa, 23–28.
8. Bohdanova, N. V. (2006). Method of increase of control effectiveness in telecommunications systems. *Adaptive systems of automatic control*, 1 (9), 23–32. doi: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.9.2006.37488>
9. Kulbovskiy, I., Holub, H., Skliarenko, I., Bambura, O., Soloviova, O. (2019). Development of a system model for the functioning of distribution electrical supply systems in transport infrastructure projects. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (2 (48)), 24–28. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.179260>
10. Vasylevska, A. (2012). Upravlinnia proektamy pidpnyemstva iz zastovuvanniam informatsiinykh tekhnolohii. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu*, 1, 99–105.
11. Plugina, Iu. A. (2010). Upravlenie razvitiem kak optimalnaia model upravleniia predpriatiem. *Vestnik ekonomiki transporta i promyshlennosti*, 30, 89–93.
12. Kulbovskiy, I. I. (2010). Metodyka pobudovy systemnoi modeli funktsionuvannia vyrobno-tekhnolohichnoho potentsialu pidrozdiliv koliinoho hospodarstva metropolitenu. *Transporti systemy i tekhnolohii*, 17, 61–66.
13. Stohnii, B. S., Kyrylenko, O. V., Denysiuk, S. P. (2010). Intelektualni elektrychni merezhi elektroenerhetychnykh system ta yikh tekhnolohichne zabezpechennia. *Tekhnichna elektrodynamika*, 6, 44–50.

## MATHEMATICAL MODELING

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.277565

### RESEARCH OF THE FUČIK SPECTRUM FOR THE $(p,q)$ -LAPLACIAN OPERATOR BY MIN-MAX THEORY

pages 30–35

**Selma Hadjer Djeflal**, Posgraduate Student, Laboratory of Applied Mathematics, Departement of Mathematics, Badji Mokhtar University, Annaba, Algeria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1114-4267>

**Aissa Benselhoub**, PhD, Associate Researcher, Environment, Modeling and Climate Change Division, Environmental Research Cen-

ter (C.R.E), Annaba, Algeria; Visitor Researcher, INFN Frascati National Laboratories, Frascati, Italy, e-mail: [aissabenselhoub@cre.dz](mailto:aissabenselhoub@cre.dz), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5891-2860>

The object of research is the Fučik spectrum for the  $(p,q)$ -Laplacian operator. In the present paper, we are going to introduce the notion of the Fučik spectrum for a non-linear, non-homogeneous operator, which is the  $(p,q)$ -Laplacian operator through the study of the following eigenvalue boundary problem:

$$\begin{cases} -\Delta_p u - \Delta_q u = \lambda(u^+)^{p-1} - \mu(u^-)^{q-1} & \text{in } \Omega, \\ u = 0 & \text{on } \partial\Omega, \end{cases}$$

where  $\Omega \subset \mathbb{R}^N$ ,  $N \geq 1$  is a bounded open subset with smooth boundary and  $\lambda$  and  $\mu$  are two real parameters. In order to establish and show the existence of non-trivial solutions for the problem described above, we will search the weak solution of the energy functional associated to our problem by combining two essentials theorems of the Min-Max theory which are the Ljusternick-Schnirelmann (L-S) approach and the Col theorem. In addition to that we are going to use the Ljusternick-Schnirelman theorem to show that our problem possesses a critical value  $c_k$  in a suitable manifold that we will define later in the present manuscript. Following to that we will verify the Col geometry by using the critical point associated to the critical value  $c_k$  and by applying the Col theorem, we will find a new critical value  $c_n$ . After that, by employing the critical value  $c_n$  we will demonstrate the existence of the family of curves which generate the set of Fučík spectrum of the  $(p,q)$ -Laplacian operator. To complete our research about the structure of the set of the Fučík spectrum of the  $(p,q)$ -Laplacian operator we will give the most important properties of the family of curves which are the continuity and the decrease. We have chosen to put our interest on the study of the Fučík spectrum because it's determination is as important in mathematics as it is in many other fields (physics, plasma-physics, reaction-diffusion equation etc.). We can take as an example it's use in the field of waves and vibrations where the starting point of the wave or the vibration is influenced by the structure and characteristics of the family of curves which constitute the Fučík spectrum of the  $(p,q)$ -Laplacian operator.

**Keywords:**  $(p,q)$ -Laplacian operator, Fučík spectrum, Critical value, Ljusternick-Schnirelmann Theorem, Col Theorem.

#### References

1. Fucik, S. (1980). *Solvability of Nonlinear Equations and Boundary Value Problems*. Dordrecht: Springer, 390.
2. Dancer, E. N. (1977). On the Dirichlet problem for weakly non-linear elliptic partial differential equations. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh: Section A Mathematics*, 76 (4), 283–300. doi: <https://doi.org/10.1017/s0308210500019648>
3. Gossez, J.-P., de Figueiredo, D. G. (1994). On the first curve of the Fučík spectrum of an elliptic operator. *Differential and Integral Equations*, 7 (5-6), 1285–1302. doi: <https://doi.org/10.57262/die/1369329517>
4. Drabek, P. (1992). *Solvability and bifurcations of nonlinear equations, in Pitman Research Notes in Mathematics. Vol. 264*. Harlow/New York: Longman.
5. Massa, E., Ruf, B. (2009). On the Fučík spectrum of the Laplacian on a torus. *Journal of Functional Analysis*, 256 (5), 1432–1452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfa.2008.08.003>
6. Cuesta, M., de Figueiredo, D., Gossez, J.-P. (1999). The Beginning of the Fučík Spectrum for the p-Laplacian. *Journal of Differential Equations*, 159 (1), 212–238. doi: <https://doi.org/10.1006/jdeq.1999.3645>
7. Zhang, J. (2015). The Fučík spectrum of the p-Laplacian and jumping nonlinear problems. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 426 (2), 935–952. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2015.01.048>
8. D'Agui, G., Sciammetta, A., Winkert, P. (2023). The Fucik spectrum of the p-Laplacian with no-flux boundary condition. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 69, 103736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2022.103736>
9. Xiong, M., Yang, Z.-H., Liu, X.-Q. (2016). Sign-changing solutions for  $p$ -Laplacian equations with jumping nonlinearity and the Fučík spectrum. *Topological Methods in Nonlinear Analysis*, 48 (1), 159–181. doi: <https://doi.org/10.12775/tmna.2016.041>
10. Benci, V., D'avenia, P., Fortunato, D., Pisani, L. (2000). Solitons in several space dimensions Derrick's problem and infinitely many solutions. *Archiv for Rational Mechanics and Analysis*, 154, 297–324. doi: <https://doi.org/10.1007/s002050000101>
11. Benci, V., Fortunato, D., Pisani, L. (1998). Soliton Like Solutions of a Lorentz Invariant Equation in Dimension 3. *Reviews in Mathematical Physics*, 10 (3), 315–344. doi: <https://doi.org/10.1142/s0129055x98000100>
12. Benci, V., Micheletti, A. M., Visetti, D. (2001). An eigenvalue problem for a quasi-linear elliptic field equation on  $\mathbb{R}$ . *Topological Methods in Nonlinear Analysis*, 17, 191–211. doi: <https://doi.org/10.12775/tmna.2001.013>
13. Derrick, G. H. (1964). Comments on Nonlinear Wave Equations as Models for Elementary Particles. *Journal of Mathematical Physics*, 5 (9), 1252–1254. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1704233>
14. Zeidler, E. (1985). *Nonlinear Functional Analysis and its Application III: Variational Methods and Optimization*. Springer Verlag, 662. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5020-3>

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.284518

**ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ ДЕКОМПОЗИЦІЇ МАТРИЦЬ LU ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТУ SYCL** сторінки 6–9**Насікан Д. Ю., Яременко В. С.**

Об'єктом дослідження є продуктивність стандартних засобів SYCL при розв'язанні задачі декомпозиції матриці LU. SYCL є до сьогодення новою технологією паралельних обчислень у гетерогенних системах, тому тема оцінки продуктивності стандарту на конкретних завданнях у сфері паралельних обчислень є актуальною. У дослідженні було реалізовано алгоритм розпаралеленої LU-декомпозиції квадратної матриці за допомогою стандарту SYCL і стандарту C++, а також проведено експеримент для перевірки реалізації в гетерогенній системі з кількома типами процесорів. Під час тестування програма отримувала на вхід квадратні матриці різної розмірності, а на виході був час виконання розкладу LU на обраному процесорі. Отримані результати, представлені у вигляді табличних і графічних даних, показують перевагу реалізації стандарту SYCL над звичайним C++ більш ніж у 2 рази при використанні графічного процесора. Експериментально показано, що реалізація на SYCL практично не поступається за швидкістю реалізації на звичайному C++ при виконанні на центральному процесорі. Такі результати обумовлені як високою можливістю розпаралелення самого алгоритму розкладу LU, так і великою роботою розробників стандарту по його оптимізації.

Отримані результати вказують на можливість прискорення розв'язання LU декомпозиції матриці та подібних алгоритмів за допомогою SYCL при використанні гетерогенних систем з процесорами, оптимізованими для паралелізму даних. Результати дослідження можуть бути використані при обґрунтуванні вибору технології розв'язування задач декомпозиції матриці LU або задач з подібною схемою розпаралелювання.

**Ключові слова:** стандартні засоби SYCL, паралельні обчислення, декомпозиція LU, продуктивність SYCL, чисельні методи.

**SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES**

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.279437

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ РІЗНОРІДНИХ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ** сторінки 10–14**Романов О. М., Шишацький А. В., Шкнай О. В., Яценко В. Ж., Стасюк Т. О., Троцько О. О., Протас Н. М., М'ягких Г. Г., Величко В. П., Балах Д. Д.**

Технології штучного інтелекту активно застосовуються для вирішення як загальних, так і вузькоспеціалізованих завдань. В процесі оцінювання (ідентифікації) стану складних та різномірних об'єктів є високий ступінь апріорної невизначеності стосовно їх стану та малий обсяг вихідних даних, що їх описують. Тенденції збройних конфліктів останніх десятиріч, а також закономірності розвитку інформаційних систем переконливо свідчать про необхідність зміни підходів до збору інформації від різнотипних джерел та їх аналізу. Відбувається постійна трансформація форм представлення інформації та порядку зберігання та доступу до різнотипних даних. Невирішеною повністю також є проблема інтеграції різнорідних джерел збору інформації в єдиний інформаційний простір.

Саме тому питання підвищення оперативності оцінювання стану складних та різномірних динамічних об'єктів є важливим та актуальним питанням. Об'єктом дослідження є різномірні динамічні об'єкти. Предметом дослідження є ідентифікація стану різномірних динамічних об'єктів. В дослідженні проведено розробку методики ідентифікації стану різномірних динамічних об'єктів. Новизна запропонованої методики полягає у:

- врахуванні ступеню невизначеності про стан різномірного динамічного об'єкту;
- врахуванні ступеню зашумленості даних в результаті викривлення даних, що характеризують стан різномірного динамічного об'єкту;
- зменшенні обчислювальних витрат при оцінюванні стану різномірних динамічних об'єктів;
- можливості проведення розрахунків з вихідними даними, що є різні за природою та одиницями вимірювання.

Зазначену методику доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних технічних систем та прийняття рішень.

**Ключові слова:** різномірні динамічні об'єкти, складні технічні системи, комплексний аналіз, обробка різнотипних даних.

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.281892

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ** сторінки 15–19**Шишацький А. В., Сова О. Я., Стасюк Т. О., Андронов В. В., Налапко О. Л., Протас Н. М., Прис Г. П., Лазута Р. Р., Коваленко І. Г., Ковальчук Б. П.**

На сьогодні жодна держава у світі не спроможна ізолювати себе від інших працювати над створенням і впровадженням штучного інтелекту (ШІ). Технології ШІ застосовуються для вирішення загальних та вузькоспеціалізованих завдань в різних галузях діяльності суспільства. В процесі оцінювання (ідентифікації) стану складних об'єктів та об'єктів аналізу управління є високий ступінь апріорної невизначеності стосовно їх стану та малий обсяг вихідних даних, що їх описують. Разом з тим, незважаючи на величезну кількість інформації, зростає ступінь нелінійності, нелогічності та зашумленості даних. Саме тому питання підвищення оперативності оцінювання стану складних та об'єктів є важливим питанням. Таким чином, об'єктом дослідження обрано об'єкти аналізу. А предметом дослідження є ідентифікація та прогнозування стану об'єктів аналізу.

В дослідженні проведено розробку методики оцінки та прогнозування з використанням нечітких когнітивних карт. Особливостями запропонованої методики є:

- врахування при розрахунках корегувального коефіцієнту на ступінь невизначеності про стан об'єкту;
- додавання корегувального коефіцієнту на зашумленість даних в результаті викривлення інформації про стан об'єкту;
- зменшення обчислювальних витрат при оцінюванні стану об'єктів;
- створення багаторівневого та взаємопов'язаного опису ієрархічних об'єктів;
- корегування опису об'єкту в результаті зміни його поточного стану за допомогою генетичного алгоритму;
- можливість проведення розрахунків з вихідними даними, що є різні за природою та одиницями вимірювання.

Запропоновану методику доцільно реалізувати у спеціалізованому програмному забезпеченні, яке використовується для аналізу стану складних технічних систем та при прийнятті рішень.

**Ключові слова:** штучний інтелект, об'єкти аналізу, складні технічні системи, нечіткі когнітивні карти, невизначеність.

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.282042

**ВИКОРИСТАННЯ НАДЛИШКОВОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КЕРУЮЧОГО МОМЕНТУ** сторінки 20–24

**Гричук І. В., Носов П. С., Бондарчук А. К., Бондарчук О. К.**

Об'єктом дослідження є процеси автоматичного керування надлишковою структурою виконавчих пристроїв судна для здійснення екстремального обертання у каналі ризику. Традиційно, надлишкові структури використовуються для підвищення надійності автоматизованих систем керування та маневрових можливостей суден. Разом з тим, надлишковість керування можна використовувати ще й для оптимізації процесів керування, зменшення, за рахунок цього, витрат палива, збільшення керуючих сил та моментів, зменшення часу на виконання операцій. Це дозволяє отримати переваги у русі над суднами, не оснащеними оптимізаційними модулями. У роботі розглянуті оптимальні керування надлишковою структурою офшорного судна, що забезпечують обертальний рух судна навколо центру обертання з максимальною кутовою швидкістю. А також одночасне підтримання заданого положення або руху у поздовжньому та боковому каналі, із врахуванням обмежень на керування. Дана задача зводиться до задачі нелінійної оптимізації з нелійними та лінійними обмеженнями на керування. Розроблено метод, алгоритмічне та програмне забезпечення модуля екстремального обертання судна з надлишковою структурою виконавчих пристроїв. Працездатність та ефективність розробленого методу, алгоритмічного та програмного забезпечення перевірені математичним моделюванням у замкнутому контурі «Об'єкт керування – Система керування». Результати проведеного експерименту показали, що використання оптимального керування дозволяє, у порівнянні із традиційними методами розщеплення керувань, збільшити керуючий момент та кутову швидкість обертання у 1,5–2 рази. Отримані можливості пояснюються використанням математичної моделі надлишкової структури керування та оптимізаційної процедури обчислення оптимальних керувань у бортовому обчислювачі автоматизованої системи. Розроблений метод може використовуватися на судах, за умови інтегрування в існуючу автоматизовану систему бортового обчислювача з відкритою архітектурою, для нарощування можливостей автоматичного керування рухом.

**Ключові слова:** безпека судноводіння, людський чинник, інтелектуальні транспортні засоби, автоматизована система, оптимальні керування, автоматичний модуль керування.

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.284578

**АНАЛІТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ КОМП'ЮТЕРНИМИ СИСТЕМАМИ В ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ** сторінки 25–29

**Голуб Г. М., Воронко І. О., Азізов Б. Р., Черненко В. І., Мосейчук М. М., Іщенко В. А.**

Об'єктом дослідження є процеси моніторингу та інтелектуального управління комп'ютерних систем в проектах інфраструктури транспорту. При проектуванні та експлуатації комп'ютерних мереж актуальною задачею є вирішення проблеми надання якісних послуг з розподіленою обробкою інформації, яка в значній мірі визначається розвиненістю механізму управління мережею системи підприємств транспорту. Збільшення обсягу цифрових даних створюють безпеку та захист інформації виключно витратами аспектів їх проектування та експлуатації. В роботі було розглянуті методи інтелектуального управління мережами комп'ютерних систем в проектах інфраструктури транспорту, проаналізовані їх принципи роботи та функції щодо інфраструктури мережі. Проаналізовані методи з використанням інтелектуальних агентів та наведені результати їх застосування для управління комп'ютерною мережею. Використання інтелектуальних агентів у комп'ютерних мережах і системах дозволяє автоматизувати складні задачі, оптимізувати ресурси та підвищити ефективність роботи мережі системи транспортного господарства. Вони можуть сприяти підвищенню продуктивності, безпеки та задоволеності користувачів.

Розглянуті алгоритми обробки результатів експертизи завантаження мережевої інфраструктури транспорту використовують для забезпечення ефективного управління транспортною системою. Алгоритми обробки дозволяють аналізувати поточний стан трафіку на різних ділянках транспортної мережі. За допомогою цих алгоритмів можна розробити оптимальні стратегії розподілу трафіку. Та наведено випадок їх застосування.

Основним з головних завдань транспортного сектору є забезпечення безпеки руху, що можна досягти методом швидкої обробки інформації та отримання її розподілено на всі рівні системи управління для швидкого аналізу, опрацювання та (при необхідності) реагування. В роботі запропоновано використовувати методи моніторингу, експертного оцінювання загального стану комп'ютерної мережі та виробу управлінських рішень, які враховують особливості будови та функціонування комп'ютерних систем саме в проектах інфраструктури транспорту.

Завдяки цьому забезпечується можливість передачі інформації із заданими параметрами якості обслуговування при мінімальних витратах мережних ресурсів.



Дослідження, які наведено в роботі можуть використовуватися на практиці в організаціях, підприємствах транспортного сектору під час реорганізації, удосконаленні або інтеграції окремих складових інформаційної системи.

**Ключові слова:** моніторинг, комп'ютерна система, комп'ютерна мережа, управління транспортом, обробка інформації.

## MATHEMATICAL MODELING

DOI: 10.15587/2706-5448.2023.277565

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРА ФУЧИКА ДЛЯ  $(p,q)$ -ЛАПЛАСОВОГО ОПЕРАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ МІНІМУМ-МАКСИМУМ** сторінки 30–35

**Selma Hadjer Djeflal, Aissa Benselhoub**

Об'єктом дослідження є спектр Фучика для  $(p,q)$ -лапласового оператора. У цій роботі введемо поняття спектра Фучика для нелінійного, неоднорідного оператора, який є  $(p,q)$ -лапласовим оператором, через дослідження наступної крайової задачі з власними значеннями:

$$\begin{cases} -\Delta_p u - \Delta_q u = \lambda(u^+)^{p-1} - \mu(u^-)^{q-1} & \text{in } \Omega, \\ u = 0 & \text{on } \partial\Omega, \end{cases}$$

де  $\Omega \subset \mathbb{R}^N$ ,  $N \geq 1$  – обмежена відкрита підмножина з гладкою границею, а  $\lambda$  та  $\mu$  – два дійсні параметри. Для того, щоб встановити та показати існування нетривіальних розв'язків описаної вище задачі, знайдено слабкий розв'язок енергетичного функціоналу, пов'язаний з задачею, що розглядається, комбінуючи дві основні теореми – теорії мінімуму-максимуму, а саме підхід Люстерніка-Шнірельмана (Л-Ш) і теорему Кола. Крім того, використана теорема Люстерніка-Шнірельмана, щоб показати, що задача, яка розглядається, має критичне значення  $c_k$  на відповідному многовиді, який визначено пізніше в цьому рукописі. Після цього перевірено геометрію Кола, використовуючи критичну точку, пов'язану з критичним значенням  $c_k$ , і застосовуючи теорему Кола, знайдено нове критичне значення  $c_n$ . Після цього, використовуючи критичне значення  $c_n$ , продемонстровано існування сім'ї кривих, які породжують множину спектрів Фучика  $(p,q)$ -лапласового оператора. На завершення дослідження структури множини спектра Фучика  $(p,q)$ -лапласового оператора наведемо найважливіші властивості сімейства кривих, якими є неперервність та спадання. Вирішено зосередити інтерес на вивченні спектра Фучика, оскільки його визначення є настільки ж важливим у математиці, як і в багатьох інших галузях (фізика, фізика плазми, рівняння реакції-дифузії та ін.). Можемо взяти за приклад його використання в області хвиль і коливань, де початкова точка хвилі або коливання залежить від структури та характеристик сімейства кривих, які складають спектр Фучика  $(p,q)$ -лапласового оператора.

**Ключові слова:**  $(p,q)$ -лапласовий оператор, спектр Фучика, критичне значення, теорема Люстерніка-Шнірельмана, теорема Кола.