

ABSTRACT AND REFERENCES

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365105
DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO THE
NORMALIZED FUNCTIONAL FOR DEVIATION
IN EFFICIENCY INDICATOR (p. 6–17)

Igor Lutsenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1959-4684>

Iryna Oksanych

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4570-711X>

Maksim Drachko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0870-8811>

Evgeniia Burdilna

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,
Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4539-9655>

This study examines controlled technological process of heating liquid, which is considered as a cybernetic system for transforming resources into a usable technological product. The work investigates the possibility of constructing a normalized functional of deviation in the efficiency indicator in dynamic models of technological processes, used to synthesize optimal control effects. They provide a quantitative assessment of deviation of the actual efficiency from the required level and allow the application of optimal control methods.

The task addressed is to find a standardized indicator of efficiency deviation E , which would ensure the dimensionlessness of this indicator and its large-scale independence. It is a dimensionless quadratic measure of difference between the total useful result and the total costs. It has been shown that the parameter E has the properties of computational constancy and could be used for analysis, normalization, and comparison of various control modes.

The ELF (Normalized Efficiency Criterion) computing block has been designed, which makes it possible to convert input parameters into cost form, accumulate total costs and useful effect, form indicators of additional benefit and resource intensity, as well as calculate a normalized efficiency criterion. It is shown that ELF is an integrated indicator of efficiency as a ratio of additional benefit to the resource intensity of the permissible mode; the indicator E represents its normalized metric form.

The results make it possible to assess the effectiveness of the process in a quantitative way. And the functional E shows a deviation from the required mode, which gives the opportunity to conduct an analysis and make the right decisions in the management of a technological process.

The research findings could be used in any technological processes.

Keywords: cybernetic control, efficiency criterion, ELF, normalized deviation index, mode selection.

References

- Ellis, M., Liu, J., Christofides, P. D. (2017). Economic Model Predictive Control. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41108-8>
- Angeli, D., Amrit, R., Rawlings, J. B. (2012). On Average Performance and Stability of Economic Model Predictive Control. IEEE Transactions on Automatic Control, 57 (7), 1615–1626. <https://doi.org/10.1109/tac.2011.2179349>

- Hu, C., Chen, S., Wu, Z. (2023). Economic Model Predictive Control of Nonlinear Systems Using Online Learning of Neural Networks. Processes, 11 (2), 342. <https://doi.org/10.3390/pr11020342>
- Simkoff, J. M., Lejarza, F., Kelley, M. T., Tsay, C., Baldea, M. (2020). Process Control and Energy Efficiency. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering, 11 (1), 423–445. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-092319-083227>
- Orzan, A., Precup, R. (2023). Dinkelbach Type Approximation Algorithms for Nonlinear Fractional Optimization Problems. Numerical Functional Analysis and Optimization, 44 (9), 954–969. <https://doi.org/10.1080/01630563.2023.2217893>
- Bertsekas, D. P. (2005). Dynamic Programming and Optimal Control. Athena Scientific. Available at: https://web.mit.edu/dimitrib/www/DP1_Short_View.pdf
- Bryson, A. E., Ho, Y.-C. (2018). Applied Optimal Control. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781315137667>
- Goodwin, G. C., Graebe, S. F., Salgado, M. E. (2001). Control System Design. Prentice Hall.
- Santander, O., Betts, C. L., Archer, E. E., Baldea, M. (2020). On the interaction and integration of production planning and (advanced) process control. Computers & Chemical Engineering, 133, 106627. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.106627>
- Dorf, R. C., Bishop, R. H. (2016). Modern Control Systems. Pearson. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Dorf_Modern_control_systems_2017_1106.pdf
- Åström, K. J., Murray, R. M. (2020). Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. Princeton University Press. Available at: https://www.cds.caltech.edu/~murray/books/AM08/pdf/fbs-public_24Jul2020.pdf
- Rawlings, J. B., Mayne, D. Q., Diehl, M. (2017). Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design. Nob Hill Publishing. Available at: <https://sites.engineering.ucsb.edu/~jbraw/mpc/MPC-book-2nd-edition-1st-printing.pdf>
- Li, H., Pangborn, H. C., Kovalenko, I. (2023). A System-Level Energy-Efficient Digital Twin Framework for Runtime Control of Batch Manufacturing Processes. 2023 IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/case56687.2023.10260642>
- Bertsekas, D. P. (2019). Reinforcement Learning and Optimal Control. Athena Scientific. Available at: https://faculty.engineering.asu.edu/bertsekas/wp-content/uploads/sites/129/2019/10/RL_Frontmatter-SHORT-INTERNET-POSTED.pdf
- Lutsenko, I. (2026). Development of a universal integral criterion for cybernetic control. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (4 (140)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.356114>
- Lutsenko, I. (2015). Identification of target system operations. Development of global efficiency criterion of target operations. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2 (74)), 35–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.38963>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360833
FUZZY OPTIMIZATION OF HETEROGENEOUS SMART
CITY SERVER NETWORKS UNDER UNCERTAINTY
IN MOUNTAINOUS TERRAIN (p. 18–31)

Javanshir Mammadov

Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1998-3137>

Esmira Mehbaliyeva

Sumgayit State University, Sumgayit, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9732-652X>

The object of this study is a heterogeneous smart city server network consisting of distributed computing nodes and based on processing data streams from multiple sources. This article examines the efficiency, reliability, and adaptability of a heterogeneous smart city server network under conditions of uncertainty, dynamic load, and information insecurity. A comparative analysis of modern methods for managing information resources in heterogeneous server networks applied to smart city infrastructure is provided.

The advantages and feasibility of using a fuzzy optimization method to improve the efficiency of a heterogeneous smart city server network are substantiated. Based on measurement data from vision, transport, and energy supply sensors, a network architecture for the server infrastructure of the Shusha smart city system, located in the Karabakh region of Azerbaijan, is proposed.

To solve this problem, the advantages of a fuzzy optimization model are substantiated, and it is found that this model can improve the performance of the Shusha smart city heterogeneous server network under uncertainty. To address this problem, a new method for stage-by-stage fuzzy modeling of energy loads arising from influencing meteorological parameters and potential failures was proposed. Unlike traditional deterministic and stochastic optimization methods, the applied fuzzy optimization method allowed for a more detailed study of external factors in the Shusha smart city system, uncertainty regarding the grid power supply, operational reliability, and the criticality of network performance parameters. The results obtained during the study show that processing time is reduced by up to 30%, and fault tolerance of the entire system is increased. This method ensures efficiency and practical application for the development and operation of a heterogeneous server in the Shusha smart city system.

Keywords: fuzzy inference systems, heterogeneous networks, resource allocation, energy resource optimization, fault tolerance, computing network in a smart city.

References

- Harchol-Balter, M. (2013). *Performance Modeling and Design of Computer Systems*. Cambridge University Press, 541. Available at: https://assets.cambridge.org/97811070/27503/frontmatter/9781107027503_frontmatter.pdf
- Goren, G., Vargaftik, S., Moses, Y. (2021). Stochastic Coordination in Heterogeneous Load Balancing Systems. *Proceedings of the 2021 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, 403–414. <https://doi.org/10.1145/3465084.3467923>
- Zhang, C., Patras, P., Haddadi, H. (2019). Deep Learning in Mobile and Wireless Networking: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21 (3), 2224–2287. <https://doi.org/10.1109/comst.2019.2904897>
- Zadeh, L. A. (2015). Fuzzy logic – a personal perspective. *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 4–20. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.05.009>
- Bibri, S. E., Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 183–212. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016>
- Ebadifard, F., Babamir, S. M. (2018). APSO-based task scheduling algorithm improved using a load-balancing technique for the cloud computing environment. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 30 (12). <https://doi.org/10.1002/cpe.4368>
- Cai, T., Liu, M., Xia, Y. (2021). Individual Data Protected Integrative Regression Analysis of High-Dimensional Heterogeneous Data. *Journal of the American Statistical Association*, 117 (540), 2105–2119. <https://doi.org/10.1080/01621459.2021.1904958>
- Mellal, M. A., Al-Dahidi, S., Williams, E. J. (2020). System reliability optimization with heterogeneous components using hosted cuckoo optimization algorithm. *Reliability Engineering & System Safety*, 203, 107110. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107110>
- Martinez, L., Herrera, F. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8 (6), 746–752. <https://doi.org/10.1109/91.890332>
- Mutua, P. W., Mbuthia, M. (2020). Intelligent Multi-coloured Lighting System Design with Fuzzy Logic Controller. *APTİKOM Journal on Computer Science and Information Technologies*, 1 (3), 128–140. <https://doi.org/10.34306/csit.v1i3.58>
- Wu, H., Xu, Z. (2020). Fuzzy Logic in Decision Support: Methods, Applications and Future Trends. *International Journal Of Computers Communications & Control*, 16 (1). <https://doi.org/10.15837/ijccc.2021.1.4044>
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54 (15), 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons. Available at: <https://pzs.dstu.dp.ua/logic/bibl/engineering.pdf>
- Gou, Y., Zhang, T., Yang, T., Liu, J., Song, S., Cui, J.-H. (2023). A Deep MARL-Based Power-Management Strategy for Improving the Fair Reuse of UWSNs. *IEEE Internet of Things Journal*, 10 (7), 6507–6522. <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3226953>
- Tan, W. W., Chua, T. W. (2007). Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions (Mendel, J.M.; 2001) [book review]. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2 (1), 72–73. <https://doi.org/10.1109/mci.2007.357196>
- Su, Y., Liwang, M., Gao, Z., Huang, L., Du, X., Guizani, M. (2021). Optimal Cooperative Relaying and Power Control for IoUT Networks With Reinforcement Learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 8 (2), 791–801. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.3008178>
- Lim, C., Cho, G.-H., Kim, J. (2021). Understanding the linkages of smart-city technologies and applications: Key lessons from a text mining approach and a call for future research. *Technological Forecasting and Social Change*, 170, 120893. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120893>
- Alam, T. (2021). Cloud-Based IoT Applications and Their Roles in Smart Cities. *Smart Cities*, 4 (3), 1196–1219. <https://doi.org/10.3390/smartcities4030064>
- Islam, K. Y., Ahmad, I., Habibi, D., Jin, J., Waqas, M. (2022). Lifetime Maximization in Underwater Wireless Communication Networks. *IEEE Sensors Journal*, 22 (15), 15549–15560. <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3186032>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29 (7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Garg, S. K., Versteeg, S., Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 29 (4), 1012–1023. <https://doi.org/10.1016/j.future.2012.06.006>
- Alhashimi, H. F., Hindia, M. N., Dimiyati, K., Hanafi, E. B., Alden, F. Z., Qamar, F., Nguyen, Q. N. (2025). Survey on AI-Enabled Resource Management for 6G Heterogeneous Networks: Recent Research, Challenges, and Future Trends. *Computers, Materials & Continua*, 83 (3), 3585–3622. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.062867>
- Gupta, P., Ding, B., Guan, C., Ding, D. (2024). Generative AI: A systematic review using topic modelling techniques. *Data and Information Management*, 8 (2), 100066. <https://doi.org/10.1016/j.dim.2024.100066>
- Ahmed, M., Naser Mahmood, A., Hu, J. (2016). A survey of network anomaly detection techniques. *Journal of Network and Computer Applications*, 60, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.11.016>
- Soft Computing and Optimization (2022). *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*. Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-6406-0>
- Mao, Y., You, C., Zhang, J., Huang, K., Letaief, K. B. (2017). A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective.

- IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19 (4), 2322–2358. <https://doi.org/10.1109/comst.2017.2745201>
27. Sun, G., Guan, X., Yi, X., Zhou, Z. (2018). An innovative TOPSIS approach based on hesitant fuzzy correlation coefficient and its applications. *Applied Soft Computing*, 68, 249–267. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.04.004>
28. Cuervo, E., Balasubramanian, A., Cho, D.-k., Wolman, A., Saroiu, S., Chandra, R., Bahl, P. (2010). MAUI. Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 49–62. <https://doi.org/10.1145/1814433.1814441>
29. Karimzadeh-Farshbafan, M., Shah-Mansouri, V., Niyato, D. (2020). Reliability Aware Service Placement Using a Viterbi-Based Algorithm. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 17 (1), 622–636. <https://doi.org/10.1109/tnsm.2019.2959818>
30. Ullah, I., Arishi, A., Singh, S. K., Alharbi, F., Ibrahim, A. H., Islam, M. et al. (2025). Autonomous network management for 6G communication: A comprehensive survey. *Digital Communications and Networks*, 11 (6), 1917–1940. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2025.07.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363063
**DEVELOPMENT OF A MULTIFACTORIAL
 ECONOMETRIC MODEL FOR ASSESSING
 A COUNTRY'S CYBERVULNERABILITY
 IN A CONTEXT OF GEOPOLITICAL
 TURBULENCE (p. 32–43)**

Oleksandr Kushnerov

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8253-5698>

Inna Tiutiunyk

Sumy State University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5883-2940>

Serhii Yevseiev

National Technical University

"Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

Ivan Opirskyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8461-8996>

Vladyslav Sokol

National Technical University

"Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9446-2049>

Olena Voloshchuk

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5912-4126>

Oleksandr Novoseletskyy

National University of Ostroh Academy, Ostroh, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3757-0552>

Yevhen Melenti

National Academy of the Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2955-2469>

Iryna Husarova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1421-0864>

Dmytro Balagura

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9839-3317>

The subject of the study was the national cyber vulnerability of sovereign states in a context of geopolitical turbulence. The study

addresses the lack of proven, multi-factor econometric tools that would enable an accurate quantitative assessment of the impact of macroeconomic instability and military conflicts on the overall level of institutional cybersecurity. The results of the study showed that armed conflicts create a strong non-linear link with breaches of digital systems' information security, leading to a 10.2 percentage point increase in critical system vulnerabilities during periods of war. This was explained by the combined effect of the 'war multiplier' and the 'paradox of institutional inertia', as demonstrated by official Computer Security Incident Response Teams (CSIRTs) which were unable to protect systems due to a lack of adequate funding. The study showed that gross domestic product (GDP) acts as a protective factor, as every 1% increase in GDP leads to a 10.1% reduction in risk. The study's results were unique, as a pooled logit regression model with cluster-consistent standard errors was used to analyze panel data from 14 countries ($n = 68$), and the threshold values for cyberattacks were determined at the 75th percentile. The developed model was used to quantify the effect of detection bias during crisis situations. The mathematical framework of the developed model acted as a central element, enabling macroeconomic early warning systems to fully realize their potential in the allocation of defense resources and the protection of digital sovereignty.

Keywords: national cybersecurity, panel logistic regression, geopolitical turbulence, cyber vulnerability, early warning systems.

References

1. Foca, A.-C. (2024). The impact of the Ukrainian-Russian war on European cybersecurity. *Eurint*, 11, 259–272. <https://doi.org/10.47743/eurint-2024-foc>
2. Beyer, J. L. (2023). The Politics of Cybersecurity and the Global Internet. *Perspectives on Politics*, 21 (2), 664–668. <https://doi.org/10.1017/s1537592723000361>
3. Westbrook, T. (2024). Aircraft vulnerability to politically motivated Radio Frequency Interference (RFI) in Eastern Europe. *Security and Defence Quarterly*. <https://doi.org/10.35467/sdq/178249>
4. Ngalim, B. (2023). Integrating NIST and ISO Cybersecurity Audit and Risk Assessment Frameworks into Cameroonian Law. *Journal of Cybersecurity Education Research and Practice*, 2024 (1). <https://doi.org/10.32727/8.2023.29>
5. Eygi Erdogan, B. (2016). Long-term Examination of Bank Crashes Using Panel Logistic Regression: Turkish Banks Failure Case. *International Journal of Statistics and Probability*, 5 (3), 42. <https://doi.org/10.5539/ijsp.v5n3p42>
6. Biru, W. D., Zeller, M., Loos, T. K. (2020). The Impact of Agricultural Technologies on Poverty and Vulnerability of Smallholders in Ethiopia: A Panel Data Analysis. *Social Indicators Research*, 147 (2), 517–544. <https://doi.org/10.1007/s11205-019-02166-0>
7. Kandasamy, K., Srinivas, S., Achuthan, K., Rangan, V. P. (2020). IoT cyber risk: a holistic analysis of cyber risk assessment frameworks, risk vectors, and risk ranking process. *EURASIP Journal on Information Security*, 2020 (1). <https://doi.org/10.1186/s13635-020-00111-0>
8. Pollini, A., Callari, T. C., Tedeschi, A., Ruscio, D., Save, L., Chiarugi, F., Guerri, D. (2021). Leveraging human factors in cybersecurity: an integrated methodological approach. *Cognition, Technology & Work*, 24 (2), 371–390. <https://doi.org/10.1007/s10111-021-00683-y>
9. Stevanović, M., Pavličević, P., Vujanović, N., Radovanović, M. (2023). International relations challenges and sustainable development in developing countries after 2022: conceptualization of the risk assessment model. *Energy, Sustainability and Society*, 13 (1). <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00430-3>
10. Konar, M., Kushnir, N., (2023). Assessment of factors of foreign economic relations of ukrainian business. *Herald UNU. International Economic Relations and World Economy*, 49. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2023-49-12>

11. Bilotserkivskiy, H., Gudkova, N. (2024). E-commerce in Ukraine in conditions of military conflict. *Grail of Science*, 41, 58–64. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.05.07.2024.007>
12. Shareef, O. S. F., Hasan, R. F., Farhan, A. H. (2023). Analyzing SQL payloads using logistic regression in a big data environment. *Journal of Intelligent Systems*, 32 (1). <https://doi.org/10.1515/jisys-2023-0063>
13. Kam, Y. H.-S., Jones, K., Rawlinson-Smith, R., Tam, K. (2024). In Search of Suitable Methods for Cost-Benefit Analysis of Cyber Risk Mitigation in Offshore Wind: A Survey. *Journal of Informatics and Web Engineering*, 3 (3), 314–328. <https://doi.org/10.33093/jiwe.2024.3.3.20>
14. Meleouni, C., Efthymiou, I. P. (2023). Artificial Intelligence and its Impact in International Relations. *Journal of Politics and Ethics in New Technologies and AI*, 2 (1), e35803. <https://doi.org/10.12681/jpentai.35803>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362504
DEVELOPING A SET OF MODELS TO
SUPPORT INTELLIGENT DECISION SUPPORT
SYSTEMS (p. 44–53)

Hennadii Shapovalov

Military Institute of Taras Shevchenko
 National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8979-0648>

Vladyslav Shostak

State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2956-1069>

Oleg Sova

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

Viktor Pokaliuk

National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8706-7096>

Oleksandr Yefymenko

Kharkiv National Automobile
 and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0628-7893>

Elena Odarushchenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2293-2576>

Olesia Zhuk

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8974-0309>

Bohdan Molodetskyi

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2704-7963>

Yevhen Sudnikov

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2484-4972>

Roman Lazuta

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-9690>

Intelligent decision support systems are the object of the study. The problem addressed in the study is the improvement of the validity of the functioning of intelligent decision support systems. The hypothesis of the study is the possibility of increasing the efficiency of the functioning of intelligent decision support systems due to the development of a set of mathematical models of their functioning.

The originality of the study consists of:

- comprehensive assessment of the state of functioning of intelligent decision support systems due to multi-level assessment;
- modeling of possible states of functioning of intelligent decision support systems;
- reconfiguring the number of input parameters to model the functioning process of intelligent decision support systems due to the use of evolving artificial neural networks, which achieves an increase in the efficiency and reliability of the received decisions and evaluations;
- setting the number of input channels of destructive influence for their accurate assessment due to the use of queuing theory;
- setting the input parameters of the models by adjusting the parameters of the membership function of evolving artificial neural networks, which achieves an increase in the accuracy of modeling the state of functioning of intelligent decision support systems.

Modeling of the proposed set of mathematical models of the functioning of intelligent decision support systems was carried out. In the course of modeling, it was established that an average of up to 20% gain is ensured in the efficiency and reliability of calculations, while ensuring an average level of use of hardware resources.

Keywords: destabilizing factors, complex systems, efficiency of decision-making, modeling of complex systems.

References

1. Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskyi, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pietvsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Dahiya, A., Gupta, B. B. (2021). A reputation score policy and Bayesian game theory based incentivized mechanism for DDoS attacks mitigation and cyber defense. *Future Generation Computer Systems*, 117, 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.11.027>
7. Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
8. Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>

9. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
10. Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
11. Morales-Sáenz, F. I., Medina-Quintero, J. M., Reyna-Castillo, M. (2024). Beyond Data Protection: Exploring the Convergence between Cybersecurity and Sustainable Development in Business. *Sustainability*, 16 (14), 5884. <https://doi.org/10.3390/su16145884>
12. Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2020.104044>
13. Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
14. Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
15. Shmatko, O., Yevseiev, S., Dudykevych, V., Milevskiy, S., Solnyshkova, S., Havrylova, A. et al. (2024). Development of a method for synthesizing an information-analytical system for assessing the level of information transmission channels protection. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (128)), 36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.302495>
16. Zarreh, A., Wan, H., Lee, Y., Saygin, C., Janahi, R. A. (2019). Cybersecurity Concerns for Total Productive Maintenance in Smart Manufacturing Systems. *Procedia Manufacturing*, 38, 532–539. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.067>
17. Zhuravskiy, Y. (Ed.) (2026). *Intelligent decision support systems: methods for optimizing and supporting management decisions*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-23-8>
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskiy, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Shyshatskiy, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>
20. Voznytsia, A., Sharonova, N., Babenko, V., Ostapchuk, V., Neronov, S., Feoktystov, S. et al. (2025). Development of methods for intelligent assessment of parameters in decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (136)), 73–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337528>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363508

IMPROVING A GENERALIZED APPROACH TO ASSESSING THE LEVEL OF COMPETENCE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL STAFF AT HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS (p. 54–65)

Oleksandr Maistrenko

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9900-5930>

Denys Sysolyatin

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1308-1972>

Volodymyr Kurban

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4794-0169>

Oleksandr Karavanov

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6189-8032>

Serhii Voitenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4134-5964>

Olha Babych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-2395>

Andrii Diakov

Lviv State University of Internal Affairs, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6729-2464>

Oleksandr Lykholot

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-9529>

Serhii Horbenko

Military and Strategic Research Centre, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4864-6033>

Nataliia Rusenko

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2462-9981>

This work assesses the level of competencies development by the scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions.

The task addressed is the need to increase objectivity and accuracy in assessing the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions.

Within the framework of this study, a generalized approach to assessing the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions includes a methodology and an assessment procedure.

The methodology for assessing the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions has been improved by applying the principal component method to it.

That has made it possible, in contrast to conventional methodologies based on simple averaging of assessment results, to eliminate multicollinearity, ensure maximum objectivity and accuracy in assessing the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions.

It is proven that ignoring internal correlations leads to the loss of important information and a biased assessment of the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions.

The procedure for assessing the level of development of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions has been improved, which is based on an improved methodology, which made it possible to increase the objectivity and accuracy of the assessment by 16.6%.

It has been confirmed that taking into account the sources of origin of the competencies of scientific and pedagogical workers at higher military educational institutions is an important component for their objective and accurate assessment.

The practical significance of the improved approach to assessing the level of development of competencies in the activities of personnel services at higher military educational institutions has been determined.

Keywords: assessment of competencies, sources of origin of competencies, scientific and pedagogical workers, principal component method.

References

1. Maistrenko, O., Artamoshchenko, V., Petushkov, V., Shcherba, A., Balandin, M., Stetsiv, S. et al. (2022). Improving the methodological approach to determining the number of postgraduates planned for admission. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (117)), 43–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259707>
2. Matviishyn, Ye. H., Mylyanyk, R. V. (2023). Evaluating the development of managerial competencies through the prism of the organization's performance. *Efficiency of Public Administration*, 70/71, 73–79. <https://doi.org/10.36930/507010>
3. Vynokurov, D. (2022). Methodological approach for assessing the level of competence of the variable composition of a training center. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 44 (2), 69–73. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2022-44-2-69-73>
4. Pravdyvets, O. (2025). Justification of the choice of indicators and criteria for assessing the qualifications of military accounting inspectors. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 2025 (2), 353–358. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-2-69>
5. Pushkarova, Y. (2025). Diagnostic tools for research competence in pharmaceutical education. *Scientific Works of Interregional Academy of Personnel Management. Pedagogical sciences*, 3 (66), 61–66. <https://doi.org/10.32689/maup.ped.2025.3.10>
6. Gorodianska, L. V. (2024). Modeling and assessment of renewal level of person's competence potential. *Journal of Strategic Economic Research*, 2, 74–92. <https://doi.org/10.30857/2786-5398.2024.2.8>
7. Kulikov, O. (2023). Judge performance indicator evaluation system: improvement continues. *Uzhhorod National University Herald. Series: Law*, 2 (79), 276–284. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2023.79.2.43>
8. Hlushak, O., Semeniaka, S., Zinchenko, N., Solomko, V. (2025). Assessment of stability factors of information security systems using regression analysis methods. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3 (31), 333. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.31.1023>
9. Greenacre, M., Groenen, P. J. F., Hastie, T., D'Enza, A. I., Markos, A., Tuzhilina, E. (2022). Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, 2 (1). <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00184-w>
10. Bakhrushyn, V. Ye. (2011). *Metody analizu danykh*. Zaporizhzhia: KPU, 268. Available at: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4122>
11. Sysoliatin, D. I. (2025). Decomposition of competencies of academic staff with consideration of contemporary requirements. *Science and Defense*, 3, 53–61. <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2025-30-3-53-61>
12. Maistrenko, O., Khoma, V., Kurban, V., Mozghova, Y., Voitenko, S., Babych, O. et al. (2025). Improvement of the approach to choosing the optimal strategy for assessing a military serviceman. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (135)), 37–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329088>
13. Kalkbrenner, M. T. (2024). Choosing Between Cronbach's Coefficient Alpha, McDonald's Coefficient Omega, and Coefficient H : Confidence Intervals and the Advantages and Drawbacks of Interpretive Guidelines. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 57 (2), 93–105. <https://doi.org/10.1080/07481756.2023.2283637>
14. Maistrenko, O., Khoma, V., Shcherba, A., Olshevskiy, Y., Pereverzin, Y., Popkov, O. et al. (2022). Improving a procedure for determining the factors that influence the need of higher education institutions for specialists of the highest qualification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (115)), 86–96. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251027>
15. Gordiienko-Mytrofanova, I., Pidchasov, Y., Sauta, S., Kobzieva, I. (2018). The problem of sample representativeness for conducting experimental and broad psychological research. *Psycholinguistics*, 23 (1), 11–46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1212360>
16. Boxplotanalyse in Excel: Schnell und Einfache Anleitung. Available at: https://www.tutkit.com/de/text-tutorials/4182-boxplotanalyse-in-excel-schnell-und-einfache-anleitung#google_vignette
17. Statystichni kryteriyi vyavleniia hrubrykh pomylok. Available at: <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/babap/2-4-id2-4.html>
18. Kryteriyi perevirky vidpovidnosti normalnomu zakonu rozpodilu. Available at: https://biem.sumdu.edu.ua/images/stories/docs/NC/NMS/15_04_2011.pdf
19. Perevirka normalnosti vybirky za dopomohoiu kryteriu Kolmogorova-Smyrnova z vykorystanniam paketa SPSS. Available at: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/210/26.pdf>
20. Shcho take hrafiq Q-Q dlia riznykh rozpodiliv? Available at: <https://hash.kozak.cx.ua/ukraincyam/shho-take-grafik-q-q-dlya-riznykh-rozpodiliv.html>
21. Begun, S., Sakharuk, M. (2020). Multicollinearity and its influence on the estimation of model parameters. *Young Scientist*, 4 (80). <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-56>
22. Renichenko, Ye. O. (2021). Perevirka prypushchennia pro nezalezhnist ta normalnyi rozpodil vpadkovoi velychyny v modeli tsinoutvorennia na osnovnyi kapital. Available at: <https://ekmair.ukma.edu.ua/bitstreams/8f14a90f-be07-4876-8839-ed7264555345/download>
23. Yakovlyev, M. (2010). Factor analysis of causes of social and political transformations in bertelsmann transformation index 2010. *Naukovi zapysky*, 108, 12–16. Available at: <https://ekmair.ukma.edu.ua/bitstreams/8b5fdc02-e01c-4568-af90-12ba4e4d349c/download>
24. Shcho take KMO i proba Bartletta? Available at: <https://bishche.figacx.ua/maysternist/shho-take-kmo-i-proba-bartletta.html>
25. Chudakova, V. (2024). Realization of correlation analysis, construction of a "correlation matrix" and "correlation pleiades", features of the relationship and interdependence of the empirical data of the study "priority of psychological competence of the competitiveness of the individual" (according to the methodology of V. Chudakova), based on the results of mathematical and statistical analysis using the SPSS program, digital and STEM methods (part 16). *Education and Development of Gifted Personality*, 3 (94), 69–85. [https://doi.org/10.32405/2309-3935-2024-3\(94\)-69-85](https://doi.org/10.32405/2309-3935-2024-3(94)-69-85)
26. Sun, R., Ma, T., Liu, S., Sathye, M. (2019). Improved Covariance Matrix Estimation for Portfolio Risk Measurement: A Review. *Journal of Risk and Financial Management*, 12 (1), 48. <https://doi.org/10.3390/jrfm12010048>
27. Bytsiura, L. (2020). Formuvannia stratehiyi enerhoefektyvnosti na pidpriemstvi. Ternopil. Available at: <https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/41388/1/dis%20bytsiura.pdf>
28. Braeken, J., van Assen, M. A. L. M. (2017). An empirical Kaiser criterion. *Psychological Methods*, 22 (3), 450–466. <https://doi.org/10.1037/met0000074>
29. Klymchuk, V. O. (2006). Faktorni analiz: vykorystannia u psykholohichnykh doslidzhenniakh. *Praktychna psykholohiya ta sotsialna robota*, 8, 43–48. Available at: <https://eprints.zu.edu.ua/4128/1/8.pdf>
30. Dlia choho vykorystovuietsia kiltseva diahrama? Available at: <https://studfile.net/preview/7404159/page:2/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360208

DEVELOPMENT OF A METHOD OF DATA INTERPRETATION IN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS (p. 66–73)

Andrii Shyshatskyi

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine, Kharkiv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

Anatolii Pavlikovskiy

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0637-368X>

Pavlo Zhuk

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9628-8074>

Oleksii Nalapko

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military
 Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

Volodymyr Cherneha

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6190-3252>

Yurii Artabaiev

Yevhenii Bereznyak Military Academy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9446-3011>

Nadiia Protas

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>

Andrii Veretnov

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military
 Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

Yevhen Peleshok

Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0033-1160>

Danylo Pliekhov

Kharkiv National Automobile
 and Highway University, Ukraine, Kharkiv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7873-1716>

Intelligent decision support systems (IDSS) are the object of the study. The problem that is solved in the study is the increase in the processing of heterogeneous data while ensuring the given reliability of their processing. The hypothesis of the study is the possibility of increasing the level of reliability of heterogeneous data processing in IDSS due to the development of a method of data interpretation in IDSS.

The originality of the study consists of:

– taking into account the influence of data uncertainty on the process of processing heterogeneous data in IDSS due to the use of fuzzy analytical expressions;

– reduction of loss of reliability of heterogeneous data processing due to verification of information about IDSS and data circulating in it;

– increasing the reliability of heterogeneous data processing in IDSS due to multi-level deep learning of knowledge bases, using evolving artificial neural networks;

– estimation of zero data values in IDSS databases, due to the use of the procedure for estimating the zero data value, which achieves the prevention of looping of the method;

– carry out unambiguous classification of data, their attributes circulating in the IDSS due to the use of artificial immune detectors, which achieves an increase in the accuracy of IDSS settings and the reliability of heterogeneous data processing;

– recovery of data that was lost during the processing of heterogeneous data in IDSS due to their preliminary processing, which achieves an increase in the reliability of heterogeneous data circulating in IDSS.

The proposed method provides an increase in the efficiency of heterogeneous data processing by increasing the reliability of decision-making at the level of 14–18% due to the use of additional procedures, which is confirmed by the results of a computational experiment.

Keywords: heterogeneous data, processing of various types of data, reliability of decision-making, artificial intelligence.

References

- Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskyi, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
- Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyuk, 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
- Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
- Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
- 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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
- Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model. *Computers & Security*, 89, 101659. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>
- Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
- Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>
- Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
- Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
- Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
- Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
- Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
- Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
- Promyslov, V. G., Semenkov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>

16. Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
17. Zhuravskiy, Y. (Ed.) (2026). *Intelligent decision support systems: methods for optimizing and supporting management decisions*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-23-8>
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>
20. Voznytsia, A., Sharonova, N., Babenko, V., Ostapchuk, V., Neronov, S., Feoktystov, S. et al. (2025). Development of methods for intelligent assessment of parameters in decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (136)), 73–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337528>

АНОТАЦІЇ

MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365105

РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ НОРМОВАНОГО ФУНКЦІОНАЛУ ВІДХИЛЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ (с. 6–17)

І. А. Луценко, І. Г. Оксанич, М. О. Драчко, Є. В. Бурдільна

Об'єктом дослідження є керований технологічний процес нагрівання рідини, який розглядається як кібернетична система перетворення ресурсів у корисний технологічний продукт. Досліджується можливість побудови нормованого функціонала відхилення показника ефективності в динамічних моделях технологічних процесів і його використання для синтезу оптимальних керувальних впливів. Вони забезпечують кількісну оцінку відхилення фактичної ефективності від необхідного рівня та дають змогу застосовувати методи оптимального керування.

У роботі розв'язується проблема пошуку нормованого показника відхилення ефективності E , який би забезпечував безрозмірність цього показника та його масштабну незалежність. Він є безрозмірною квадратичною мірою різниці між сумарним корисним результатом і сукупними витратами. Показано, що показник E має властивості інваріантності обчислень і може використовуватися для аналізу, нормування та порівняння різних режимів керування.

Розроблено обчислювальний блок ELF (Normalized Efficiency Criterion), який дає змогу перетворювати вхідні параметри у варіантну форму, накопичувати сукупні витрати та корисний ефект, формувати показники додаткової вигоди й ресурсоемності, а також обчислювати нормалізований критерій ефективності. Показано, що ELF є інтегральним показником ефективності як відношення додаткової вигоди до ресурсоемності допустимого режиму, а показник E являє собою його нормовану метричну форму.

Отримані результати дають змогу оцінювати ефективність процесу в числовому вигляді. Функціонал E показує відхилення від необхідного режиму, що надає можливість провести аналіз і прийняти обґрунтовані рішення щодо керування технологічним процесом.

Результати дослідження можуть бути використані в будь-яких технологічних процесах.

Ключові слова: кібернетичне керування, критерій ефективності, ELF, нормований показник відхилення, режимна селекція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360833

НЕЧІТКА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ СЕРВЕРІВ РОЗУМНОГО МІСТА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ (с. 18–31)

Javanshir Mammadov, Esmira Mekhbalieva

Об'єктом цього дослідження є гетерогенна мережа серверів розумного міста, що складається з розподілених обчислювальних вузлів та базується на обробці потоків даних з кількох джерел. У цій статті розглядається ефективність, надійність та адаптивність гетерогенної мережі серверів розумного міста в умовах невизначеності, динамічного навантаження та інформаційної незахищеності. Наведено порівняльний аналіз сучасних методів управління інформаційними ресурсами в гетерогенних мережах серверів, що застосовуються до інфраструктури розумного міста.

Обґрунтовано переваги та доцільність використання методу нечіткої оптимізації для підвищення ефективності гетерогенної мережі серверів розумного міста. На основі даних вимірювань від датчиків зору, транспорту та енергопостачання запропоновано мережеву архітектуру для серверної інфраструктури системи розумного міста Шуша, розташованого в Карабахському регіоні Азербайджану.

Для вирішення цієї проблеми обґрунтовано переваги моделі нечіткої оптимізації та встановлено, що ця модель може покращити продуктивність гетерогенної мережі серверів розумного міста Шуша в умовах невизначеності. Для вирішення цієї проблеми запропоновано новий метод поетапного нечіткого моделювання енергетичних навантажень, що виникають внаслідок впливу метеорологічних параметрів та потенційних збоїв. На відміну від традиційних детерміністичних та стохастичних методів оптимізації, застосований метод нечіткої оптимізації дозволив детальніше дослідити зовнішні фактори в системі розумного міста Шуша, невизначеність щодо живлення мережі, надійність експлуатації та критичність параметрів продуктивності мережі. Результати, отримані в ході дослідження, показують, що час обробки скорочується до 30%, а відмовостійкість усієї системи підвищується. Цей метод забезпечує ефективність та практичне застосування для розробки та експлуатації гетерогенного сервера в системі розумного міста Шуша.

Ключові слова: системи нечіткого висновку, гетерогенні мережі, розподіл ресурсів, оптимізація енергетичних ресурсів, відмовостійкість, обчислювальна мережа в розумному місті.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363063

РОЗРОБКА БАГАТОФАКТОРНОЇ ЕКОНОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КІБЕРВРАЗЛИВОСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ (с. 32–43)

О. С. Кушнерьов, І. В. Тютюник, С. П. Євсєєв, І. Р. Опирський, В. Є. Сокол, О. Б. Волощук, О. М. Новоселецький, Є. О. Меленті, І. Г. Гусарова, Д. С. Балагура

Об'єктом дослідження виступала національна кібервразливість суверенних держав в умовах геополітичної турбулентності. Дослідження вирішує проблему відсутності перевірених багатофакторних економетричних інструментів, які б дозволяли проводити точну кількісну оцінку впливу макроекономічної нестабільності та військових конфліктів на загальний рівень інституційної кібербезпеки. Результати дослідження показали, що збройні конфлікти створюють стійкий нелінійний зв'язок із порушеннями інформаційної безпеки цифрових систем, що призводить до зростання критичних системних вразливостей у воєнні періоди на 10,2 процентних пункти. Пояснювалися комбінованим впливом «воєнного мультиплікатора» та «парадоксу інституційної інерції», що демонструють офіційні команди реагування на комп'ютерні інциденти (Computer Security Incident Response Team, CSIRT), які не змогли захистити

системи через відсутність належного фінансового забезпечення. Дослідження показало, що валовий внутрішній продукт (ВВП) діє як захисний фактор, оскільки кожне 1% зростання ВВП призводить до зниження ризику на 10,1%. Результати дослідження мали унікальні характеристики, оскільки для аналізу панельних даних із 14 країн ($n = 68$) було використано об'єднану логіт-регресійну модель із кластерно-стійкими стандартними похибками, а порогові значення кібератак було визначено за 75-м перцентилем. За допомогою розробленої моделі було кількісно оцінено ефект упередженості виявлення (detection bias) під час кризових ситуацій. Математична система розробленої моделі діяла як центральний елемент, що дозволив макроекономічним системам раннього попередження повністю реалізувати свій потенціал у розподілі оборонних ресурсів та захисті цифрового суверенітету.

Ключові слова: національна кібербезпека, панельна логістична регресія, геополітична турбулентність, кібервразливість, системи попередження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362504

РОЗРОБКА СУКУПНОСТІ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 44–53)

Г. М. Шаповалов, В. Г. Шостак, О. Я. Сова, В. М. Покалюк, О. В. Эфименко, О. Б. Одарущенко, О. Г. Жук, Б. В. Молодецький, Є. О. Судніков, Р. Р. Лазута

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення достовірності функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Гіпотезою дослідження є можливість підвищення ефективності функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за рахунок розробки сукупності математичних моделей їх функціонування.

Оригінальність дослідження полягає у:

- комплексній оцінці стану функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за рахунок багаторівневого оцінювання;
- моделюванні можливих станів функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень;
- проведенні переналаштування кількості вхідних параметрів для моделювання процесу функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень за рахунок використання штучних нейронних мереж, що еволюціонують, чим досягається підвищення оперативності та достовірності отриманих рішень та оцінок;
- налаштуванні кількості вхідних каналів деструктивного впливу для їх точної оцінки за рахунок використання теорії масового обслуговування;
- налаштуванні вхідних параметрів моделей за рахунок налаштування параметрів функції належності штучних нейронних мереж, що еволюціонують, чим досягається підвищення точності моделювання стану функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Проведено моделювання роботи запропонованої сукупності математичних моделей функціонування інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. В ході моделювання встановлено, що забезпечується в середньому до 20% виграш у оперативності та достовірності проведення обчислень, при забезпеченні середнього рівня використання апаратних ресурсів.

Ключові слова: дестабілізуючі фактори, складні системи, оперативність прийняття рішень, моделювання складних систем.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363508

УДОСКОНАЛЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ РОЗВИНЕНОСТІ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ ВИЩИХ ВІЙСЬКОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ (с. 54–65)

О. В. Майстренко, Д. І. Сисолятин, В. А. Курбан, О. А. Караванов, С. С. Войтенко, О. О. Бабич, А. В. Д'яков, О. В. Лихольот, С. В. Горбенко, Н. В. Русенко

Об'єктом дослідження є оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів.

Проблемою, яка вирішувалась у дослідженні, є необхідність підвищення об'єктивності та точності оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів.

В межах даного дослідження узагальнений підхід до оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів складається з методики та процедури оцінювання.

У дослідженні удосконалено методику оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів завдяки застосуванню в ній методу головних компонент.

Це дозволило, на відміну від традиційних методик, які базуються на простому усередненні результатів оцінювання, усунути мультиколінеарність, забезпечити максимальну об'єктивність та точність оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів.

Доведено, що ігнорування внутрішніх кореляцій призводить до втрати важливої інформації та необ'єктивного оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів.

Удосконалено процедуру оцінювання рівня розвиненості компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів, яка базується на удосконаленій методиці, що дозволило підвищити об'єктивність та точність оцінювання на 16,6%.

Підтверджено, що врахування джерел походження компетентностей науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів є важливою складовою для їх об'єктивного та точного оцінювання.

Визначено практичне значення удосконаленого підходу щодо оцінювання рівня розвиненості компетентностей у діяльності служб персоналу вищих військових навчальних закладів.

Ключові слова: оцінювання компетентностей, джерела походження компетентностей, науково-педагогічні працівники, метод головних компонент.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360208

РОЗРОБКА МЕТОДУ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (с. 66–73)

А. В. Шишацький, А. К. Павліковський, П. В. Жук, О. Л. Налапко, В. М. Чернега, Ю. З. Артабаев, Н. М. Протас, А. О. Веретнов, Є. В. Пелешок, Д. О. Плехов

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР). Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення обробки гетерогенних даних при забезпеченні заданої достовірності їх обробки. Гіпотезою дослідження є можливість підвищення рівня достовірності обробки гетерогенних даних в ІСППР за рахунок розробки методу інтерпретації даних в ІСППР.

Оригінальність дослідження полягає у:

– врахуванні впливу невизначеності даних на процес обробки гетерогенних даних в ІСППР за рахунок використання нечітких аналітичних виразів;

– зменшення втрат достовірності обробки гетерогенних даних за рахунок верифікації відомостей про ІСППР та дані, що циркулюють в ній;

– підвищенні достовірності обробки гетерогенних даних в ІСППР за рахунок багаторівневого глибокого навчання баз знань, з використанням штучних нейронних мереж, що еволюціонують;

– оцінці нульових значень даних в базах даних ІСППР, за рахунок використання процедури оцінки нульового значення даних, чим досягається не допущення зацикловання роботи методу;

– здійсненні однозначної класифікації даних, їх атрибутів, що циркулюють в ІСППР за рахунок використання штучних імунних детекторів, чим досягається підвищення точності налаштування ІСППР та достовірності обробки гетерогенних даних;

– відновленні дані, які були втрачені при обробці гетерогенних даних в ІСППР, за рахунок здійснення попередньої їх обробки, чим досягається підвищення достовірності гетерогенних даних, що циркулюють в ІСППР.

Запропонований метод забезпечує підвищення ефективності обробки гетерогенних даних за рахунок підвищення достовірності прийняття рішень на рівні 14–18% за рахунок використання додаткових процедур, що підтверджується результатами обчислювального експерименту.

Ключові слова: гетерогенні дані, обробка різнотипних даних, достовірність прийняття рішень, штучний інтелект.