

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329094

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF SPECIALIZED HIERARCHICAL SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (p. 6–12)**Qasim Abbood Mahdi**Al Taff University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6612-3511>**Anastasiia Voznytsia**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3767-7354>**Igor Shostak**National Aerospace University
Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3051-0488>**Andrii Lebedynskyi**Kharkiv National Automobile and
Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5086-8209>**Oleh Ivanenko**Kharkiv National Automobile and
Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3597-5102>**Olena Feoktystova**National Aerospace University
Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8490-3108>**Vitalii Fedoriienko**National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0921-3390>**Nadiia Babkova**National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2200-7794>**Kostiantin Radchenko**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8056-6293>**Yevhen Karpov**State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3610-7506>

The object of the study is specialized hierarchical systems. The problem addressed in the research is improving the efficiency of evaluating hierarchical systems while ensuring a specified level of reliability regardless of the volume of data entering the system. The originality of the method lies in the use of additional enhanced procedures that allow to:

- verify the topology and parameters of specialized hierarchical systems, considering the degree of uncertainty of the initial data known about them. The consideration of uncertainty is achieved through the application of corresponding correction coefficients;
- perform a primary selection of individuals for tuning the convolutional artificial neural network using an improved genetic algorithm, which reduces solution search time and increases the reliability of obtained results;

– explore the solution spaces of the problem of evaluating the state of specialized hierarchical systems described by atypical functions using an improved monkey swarm algorithm;

– tune the memory of the convolutional artificial neural network via a memory training procedure, thereby reducing the estimation error of parameters of specialized hierarchical systems;

– adjust the weights of the convolutional artificial neural network, which leads to increased accuracy in estimating parameters of specialized hierarchical systems;

– employ additional mechanisms to adjust convolutional artificial neural network parameters by changing the membership function.

An increase in decision-making efficiency of 15–18% was established due to the use of additional procedures, with the reliability of the decisions ensured at the level of 0.9.

Keywords: convolutional artificial neural networks, genetic algorithm, destabilizing factors, metaheuristic algorithm.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroyennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
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. 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>
5. Zuiiev, 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. Shyshatskyi, A. (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. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. 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. https://doi.org/10.46338/ijatcse0521_05
8. Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Odarushchenko, E., Berezanska, K., Demianenko, H. (2023). Method of assessing the state of hierarchical objects based on bio-inspired algorithms. Advanced Information Systems, 7 (3), 44–48. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.06>

9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
10. 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. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
11. 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. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
12. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
13. 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. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
14. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
15. 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. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
16. 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. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
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. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). *Decision support systems: mathematical support*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 202. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9>
20. Litvinenko, O., Kashkevich, S., Shyshatskyi, A., Dmytriieva, O., Neronov, S., Plekhova, G. et al.; Shyshatskyi, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331875

ALGORITHMIC SUPPORT AND EFFICIENCY ANALYSIS OF COMPREHENSIVE PRESCRIPTIVE MAINTENANCE FOR CARGO SHIPS USING PREDICTIVE MONITORING (p. 13–26)

Andrii Holovan

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6589-4381>

Igor Gritsuk

Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7065-6820>

Valerii Verbovskiy

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4684-6768>

Volodymyr Kalchenko

Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

Yuriy Grytsuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine
National University of Ostroh Academy, Ostroh, Rivenska oblast, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3389-1172>

Oleksiy Verbovskiy

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5306-9576>

Serhii Dotsenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6397-5038>

Alla Lysykh

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0979-7736>

Roman Symonenko

State Enterprise "DergavtotransNDIproect", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4269-5707>

Oleksandr Subochev

Pryazovskiy State Technical University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6867-9991>

The object of this study is the processes of prescriptive technical maintenance (TM) of vessel machinery and structures of cargo ships. The task addressed relates to the insufficient efficiency of conventional methods for vessel machinery TM, which leads to increased risks of failures and enhanced operating costs.

In this work, algorithmic support to a system of comprehensive prescriptive maintenance of cargo ships based on predictive monitoring methods has been developed. Data on the parameters of machinery technical condition were experimentally acquired and systemized; a comprehensive analysis of costs, risks, and reliability was carried out using the developed algorithms. The results demonstrated that applying the proposed methodology could reduce the cost of maintenance by up to 44.4%, as well as decrease the risk of malfunctions by up to 89.4%. It has been established that the total economic effect of optimizing the maintenance processes of the principal engine components equals USD 4849 per life cycle of the machinery. This confirms the feasibility and effectiveness of using comprehensive predictive monitoring in vessel TM systems.

Special feature of the results is their integrated nature, which makes it possible to simultaneously consider technical and economic aspects of TM. This is what makes it possible to avoid the shortcomings inherent in conventional regulatory systems, ensuring a higher level of operational reliability and economic efficiency of cargo ships.

The practical application of the devised methodology is possible provided that the proposed algorithms are integrated into vessel operation processes with appropriate information and analytical support, including automated data collection and continuous monitoring of machinery condition.

Keywords: prescriptive technical maintenance, vessel equipment, cost optimization, operational efficiency, forecasting.

References

- Podrigalo, M., Bogomolov, V., Kholodov, M., Koryak, A., Turenko, A., Kaidalov, R. et al. (2020). Energy Efficiency of Vehicles with Combined Electromechanical Drive of Driving Wheels. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2260>
- Mateichyk, V., Saga, M., Smieszek, M., Tsiuman, M., Goridko, N., Gritsuk, I., Symonenko, R. (2020). Information and analytical system to monitor operating processes and environmental performance of vehicle propulsion systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 776 (1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/776/1/012064>
- Kuric, I., Gorobchenko, O., Litikova, O., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Bulgakov, M., Klackova, I. (2020). Research of vehicle control informative functioning capacity. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 776 (1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/776/1/012036>
- Podrigalo, M., Klets, D., Sergiyenko, O., Gritsuk, I. V., Soloviov, O., Tarasov, Y. et al. (2018). Improvement of the Assessment Methods for the Braking Dynamics with ABS Malfunction. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1881>
- Golovan, A., Gritsuk, I., Popeliuk, V., Sherstyuk, O., Honcharuk, I., Symonenko, R. et al. (2019). Features of Mathematical Modeling in the Problems of Determining the Power of a Turbocharged Engine According to the Characteristics of the Turbocharger. SAE International Journal of Engines, 13 (1). <https://doi.org/10.4271/03-13-01-0001>
- Golovan, A., Rudenko, S., Gritsuk, I., Shakhov, A., Vychuzhanin, V., Mateichyk, V. et al. (2018). Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1774>
- Turenko, A., Podrygalo, M., Klets, D., Hatsko, V., Barun, M. (2016). A method of evaluating vehicle controllability according to the dynamic factor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (81)), 29–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72117>
- Parsadanov, I., Marchenko, A., Tkachuk, M., Kravchenko, S., Polyvianchuk, A., Stokov, A. et al. (2020). Complex Assessment of Fuel Efficiency and Diesel Exhaust Toxicity. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2182>
- Gritsuk, I., Pohorletskyi, D., Mateichyk, V., Symonenko, R., Tsiuman, M., Volodarets, M. et al. (2020). Improving the Processes of Thermal Preparation of an Automobile Engine with Petrol and Gas Supply Systems (Vehicle Engine with Petrol and LPG Supplying Systems). SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2031>
- Li, Y., Zou, Z., Zhang, J., He, Y., Huang, G., Li, J. (2023). Refined evaluation methods for preventive maintenance of project-level asphalt pavement based on confusion-regression model. Construction and Building Materials, 403, 133105. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133105>
- Golovan, A., Gritsuk, I., Rudenko, S., Saravas, V., Shakhov, A., Shumylo, O. (2019). Aspects of Forming the Information V2I Model of the Transport Vessel. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 390–393. <https://doi.org/10.1109/mees.2019.8896595>
- Golovan, A., Gritsuk, I., Honcharuk, I. (2023). Principles of transport means maintenance optimization: equipment cost calculation. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 5, 77–84. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-5/077>
- Karatuğ, Ç., Arslanoğlu, Y., Soares, C. G. (2023). Review of maintenance strategies for ship machinery systems. Journal of Marine Engineering & Technology, 22 (5), 233–247. <https://doi.org/10.1080/20464177.2023.2180831>
- Patil, C., Theotokatos, G., Tsitsilonis, K. (2024). Data-driven model for marine engine fault diagnosis using in-cylinder pressure signals. Journal of Marine Engineering & Technology, 24 (1), 70–82. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2432777>
- Karatuğ, Ç., Ceylan, B. O., Arslanoğlu, Y. (2024). A hybrid predictive maintenance approach for ship machinery systems: a case of main engine bearings. Journal of Marine Engineering & Technology, 24 (1), 12–21. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2393484>
- Liu, J., Achurra, A., Zhang, C., Bury, A., Wang, X. (2024). A long short term memory network-based, global navigation satellite system/inertial navigation system for unmanned surface vessels. Journal of Marine Engineering & Technology, 23 (5), 316–328. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2334029>
- Xiao, Z., Xie, M., Wang, X., Wang, H., Fang, S., Arnáez, R. (2024). Risk assessment of emergency operations of floating storage and regasification unit. Journal of Marine Engineering & Technology, 23 (5), 357–372. <https://doi.org/10.1080/20464177.2024.2364994>
- Yuksel, O., Pamik, M., Bayraktar, M. (2025). The assessment of alternative fuel and engine power limitation utilisation in hybrid marine propulsion systems regarding energy efficiency metrics. Journal of Marine Engineering & Technology, 1–15. <https://doi.org/10.1080/20464177.2025.2479319>
- Zhang, P., Gao, Z., Cao, L., Dong, F., Zou, Y., Wang, K. et al. (2022). Marine Systems and Equipment Prognostics and Health Management: A Systematic Review from Health Condition Monitoring to Maintenance Strategy. Machines, 10 (2), 72. <https://doi.org/10.3390/machines10020072>
- Sanchez, L., Costa, N., Couso, I. (2025). Addressing data scarcity in industrial reliability assessment with Physically Informed Echo State Networks. Reliability Engineering & System Safety, 261, 111135. <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.111135>
- Golovan, A., Gritsuk, I., Honcharuk, I. (2023). Reliable ship emergency power source: A Monte Carlo simulation approach to optimize remaining capacity measurement frequency for Lead-Acid battery maintenance. SAE International Journal of Electrified Vehicles, 13 (2). <https://doi.org/10.4271/14-13-02-0009>
- Jeon, J., Theotokatos, G. (2024). A Framework to Assure the Trustworthiness of Physical Model-Based Digital Twins for Marine Engines. Journal of Marine Science and Engineering, 12 (4), 595. <https://doi.org/10.3390/jmse12040595>
- Raptodimos, Y., Lazakis, I. (2018). Using artificial neural network-self-organising map for data clustering of marine engine condition monitoring applications. Ships and Offshore Structures, 13 (6), 649–656. <https://doi.org/10.1080/17445302.2018.1443694>
- Hornýák, O. (2024). Data-Driven Engine Health Monitoring with AI. SMTS 2024, 39. <https://doi.org/10.3390/engproc2024079039>
- Visconti, P., Rausa, G., Del-Valle-Soto, C., Velázquez, R., Cafagna, D., De Fazio, R. (2024). Machine Learning and IoT-Based Solutions in

- Industrial Applications for Smart Manufacturing: A Critical Review. *Future Internet*, 16 (11), 394. <https://doi.org/10.3390/fi16110394>
26. Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Legutko, S., Kluk, P. (2020). Maintenance 4.0 technologies – new opportunities for sustainability driven maintenance. *Management and Production Engineering Review*. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.133730>
 27. Durlik, I., Miller, T., Kostecka, E., Tuński, T. (2024). Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Applications. *Applied Sciences*, 14 (18), 8420. <https://doi.org/10.3390/app14188420>
 28. Simion, D., Postolache, F., Fleacă, B., Fleacă, E. (2024). AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport-Enhancing Operational Efficiency and Reliability. *Applied Sciences*, 14 (20), 9439. <https://doi.org/10.3390/app14209439>
 29. Yigin, B., Celik, M. (2024). A Prescriptive Model for Failure Analysis in Ship Machinery Monitoring Using Generative Adversarial Networks. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12 (3), 493. <https://doi.org/10.3390/jmse12030493>
 30. Jimenez, V. J., Bouhmala, N., Gausdal, A. H. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5 (4), 358–386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
 31. Mat Esa, M. A., Muhammad, M. (2023). Adoption of prescriptive analytics for naval vessels risk-based maintenance: A conceptual framework. *Ocean Engineering*, 278, 114409. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114409>
 32. Koskina, Y., Onyshenko, S., Drozhzhyn, O., Melnyk, O. (2023). Efficiency of tramp fleet operating under the contracts of affreightment. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 120, 137–149. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.120.9>
 33. Cheliotis, M., Lazakis, I., Theotokatos, G. (2020). Machine learning and data-driven fault detection for ship systems operations. *Ocean Engineering*, 216, 107968. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107968>
 34. Onyshchenko, S., Melnyk, O. (2021). Probabilistic Assessment Method of Hydrometeorological Conditions and their Impact on the Efficiency of Ship Operation. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14 (6), 132–136. <https://doi.org/10.25103/jestr.146.15>
 35. Sagin, S. V., Semenov, O. V. (2016). Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors. *American Journal of Applied Sciences*, 13 (2), 200–208. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2016.200.208>
 36. Sagin, S. V., Solodovnikov, V. G. (2017). Estimation of operational properties of lubricant coolant liquids by optical methods. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12 (19), 8380–8391. Available at: https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n19_51.pdf
 37. Tong, S., Yanqiao, C., Yuan, Z. (2020). Fault prediction of marine diesel engine based on time series and support vector machine. 2020 International Conference on Intelligent Design (ICID), 75–81. <https://doi.org/10.1109/icid52250.2020.00023>
 38. Zhan, Y., Shi, Z., Liu, M. (2007). The Application of Support Vector Machines (SVM) to Fault Diagnosis of Marine Main Engine Cylinder Cover. *IECON 2007 – 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 3018–3022. <https://doi.org/10.1109/iecon.2007.4459891>
 39. Vychuzhanin, V., Rudnichenko, N., Shybaiev, D., Gritsuk, I., Boyko, V., Shybaieva, N. et al. (2018). Cognitive Model of the Internal Combustion Engine. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1738>
 40. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S. (2023). Renewable Energy Concept Development and Application in Shipping Industry. *Lex Portus*, 9 (6). <https://doi.org/10.26886/2524-101x.9.6.2023.2>
 41. Golovan, A., Mateichyk, V., Gritsuk, I., Lavrov, A., Smieszek, M., Honcharuk, I., Volska, O. (2024). Enhancing Information Exchange in Ship Maintenance through Digital Twins and IoT: A Comprehensive Framework. *Computers*, 13 (10), 261. <https://doi.org/10.3390/computers13100261>
 42. Volyanskaya, Y., Volyanskiy, S., Onishchenko, O., Nykul, S. (2018). Analysis of possibilities for improving energy indicators of induction electric motors for propulsion complexes of autonomous floating vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (92)), 25–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126144>
 43. Vychuzhanin, V. V., Rudnichenko, N. R., Sagova, Z., Smieszek, M., Cherniavskiy, V. V., Golovan, A. I., Volodarets, M. V. (2020). Analysis and structuring diagnostic large volume data of technical condition of complex equipment in transport. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 776 (1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/776/1/012049>
 44. Senova, A., Tobisova, A., Rozenberg, R. (2023). New Approaches to Project Risk Assessment Utilizing the Monte Carlo Method. *Sustainability*, 15 (2), 1006. <https://doi.org/10.3390/su15021006>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332938

IMPLEMENTATION OF DEEP LEARNING MODEL WITH ATTENTION AND THEORY OF PLANNED BEHAVIOR FOR PREDICTING FLIGHT TRACKER USAGE ON BOEING 737-900ER (p. 27–36)

Daniel Dewantoro Rumani

Indonesia Civil Pilot Academy, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0400-5290>

Miko Andi Wardana

Indonesia Civil Pilot Academy, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3451-9815>

Ahmad Mubarak

Indonesia Civil Pilot Academy, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5811-3305>

The object of research is the prediction system for the use of live flight tracker technology on the Boeing 737-900ER aircraft. The problems solved are related to the low accuracy of the prediction system that only relies on technical data without considering aspects of user behavior, as well as the limitations of interpretability in conventional deep learning models that hinder decision validation in critical and sensitive flight environments. The essence of the results obtained is the development of a prediction model based on bidirectional long short-term memory combined with an attention layer and psychological elements from the theory of planned behavior. This model is able to increase prediction accuracy up to 91.2%, much higher than conventional models with an accuracy of around 78%, and shows high F1 and AUC scores indicating a balance between precision and sensitivity. Due to its features and characteristic differences, namely the integration of bidirectional sequential learning, focusing on the most relevant input features through the attention mechanism, and psychological contextualization through the theory planned behavior, these results make it possible to effectively solve the problems of low accuracy and lack of interpretability in predicting flight tracker usage. These results are explained by the model's ability to highlight key variables such as usage time, flight conditions, and previous interaction patterns that correlate with user intentions and behaviors. The theory planned behavior structure provides a basis for interpreting system decisions based on attitudes,

social norms, and users' perceived control over the technology used. In practical conditions, the results of this study can be implemented in a simulation-based training system for pilots, which aims to identify optimal interaction patterns with flight tracker technology.

Keywords: advanced deep learning, attention layer, theory of planned behavior, flight, prediction.

References

- Vasigh, B., Azadian, F. (2022). Aircraft Financial and Operational Efficiencies. *Aircraft Valuation in Volatile Market Conditions*, 113–163. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82450-1_3
- Bakır, M., Itani, N. (2024). Modelling Behavioural Factors Affecting Consumers' Intention to Adopt Electric Aircraft: A Multi-Method Investigation. *Sustainability*, 16 (19), 8467. <https://doi.org/10.3390/su16198467>
- Healy, C. G. (2025). Flying Into the Future: Exploring Commercial Airline Pilots' Perceptions of AI Implementation in Cockpit Operations. University of Arizona Global Campus.
- Bağcı, B., Kartal, M. (2024). A combined multi criteria model for aircraft selection problem in airlines. *Journal of Air Transport Management*, 116, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102566>
- Genc, O. F., Capar, N., Ahmed, Z. U. (2024). Turkish Airlines: A New Era After the Pandemic. *Emerging Economies Cases Journal*, 6 (2), 100–116. <https://doi.org/10.1177/25166042241245515>
- Borkers, P. (2024). Measuring Service Quality During and After In-Flight Incidents: A Case Study of Alaska Airlines Flight 1282. University of Hamburg.
- Zheng, Y., Jiang, W., Zhou, A., Hung, N. Q. V., Zhan, C., Chen, T. (2024). Epidemiology-informed Graph Neural Network for Heterogeneity-aware Epidemic Forecasting. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2411.17372>
- Karunarathna, I., Gunasena, P., Hapuarachchi, T., Gunathilake, S. (2024). The crucial role of data collection in research: Techniques, challenges, and best practices. *Uva Clin. Res.*
- Kabashkin, I., Perekestov, V. (2024). Ecosystem of Aviation Maintenance: Transition from Aircraft Health Monitoring to Health Management Based on IoT and AI Synergy. *Applied Sciences*, 14 (11), 4394. <https://doi.org/10.3390/app14114394>
- Zhou, P., Shi, W., Tian, J., Qi, Z., Li, B., Hao, H., Xu, B. (2016). Attention-Based Bidirectional Long Short-Term Memory Networks for Relation Classification. *Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 2: Short Papers)*. <https://doi.org/10.18653/v1/p16-2034>
- Wang, Z., Yang, B. (2020). Attention-based Bidirectional Long Short-Term Memory Networks for Relation Classification Using Knowledge Distillation from BERT. *2020 IEEE Intl Conf on Dependable, Automatic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech)*, 562–568. <https://doi.org/10.1109/dasc-picom-cbdcom-cybersci-tech49142.2020.00100>
- Calvet, L. (2024). Towards Environmentally Sustainable Aviation: A Review on Operational Optimization. *Future Transportation*, 4 (2), 518–547. <https://doi.org/10.3390/futuretransp4020025>
- Meyer, T. R. (2024). Purpose, Performance, and Process Influence on Airline Pilot Trust in Automation Technology: A Quantitative Study. Liberty University.
- De Cerqueira, J. S., Kemell, K.-K., Rousi, R., Xi, N., Hamari, J., Abrahamsson, P. (2025). Mapping Trustworthiness in Large Language Models: A Bibliometric Analysis Bridging Theory to Practice. *arXiv*. <http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2503.04785>
- Moura Lopes, N., Aparicio, M., Trindade Neves, F. (2024). Determinants of Pilots' Performance: Investigating Technology Trust and Situation Awareness. *Journal of Aerospace Information Systems*, 21 (8), 651–660. <https://doi.org/10.2514/1.i011373>
- Boyacı, T., Canyakmaz, C., de Véricourt, F. (2024). Human and Machine: The Impact of Machine Input on Decision Making Under Cognitive Limitations. *Management Science*, 70 (2), 1258–1275. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2023.4744>
- Liu, G., Guo, J. (2019). Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification. *Neurocomputing*, 337, 325–338. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.01.078>
- Shen, J., Shafiq, M. O. (2019). Learning Mobile Application Usage – A Deep Learning Approach. *2019 18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA)*, 287–292. <https://doi.org/10.1109/icmla.2019.00054>
- Luong, T., Pham, H., Manning, C. D. (2015). Effective Approaches to Attention-based Neural Machine Translation. *Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*. <https://doi.org/10.18653/v1/d15-1166>
- Islam, M. R. (2024). Explainable Artificial Intelligence for Enhancing Transparency in Decision Support Systems. Malardalen University.
- Chaurasia, S., Bharti, K. K., Gupta, A. (2024). A multi-model attention based CNN-BiLSTM model for personality traits prediction based on user behavior on social media. *Knowledge-Based Systems*, 300, 112252. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.112252>
- Al-Emran, M., Abu-Hijleh, B., Alsewari, A. A. (2024). Exploring the Effect of Generative AI on Social Sustainability Through Integrating AI Attributes, TPB, and T-EESST: A Deep Learning-Based Hybrid SEM-ANN Approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 14512–14524. <https://doi.org/10.1109/tem.2024.3454169>
- Zhang, N., Hwang, B.-G., Lu, Y., Ngo, J. (2022). A Behavior theory integrated ANN analytical approach for understanding households adoption decisions of residential photovoltaic (RPV) system. *Technology in Society*, 70, 102062. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102062>
- Li, Y., Qi, Y., Shi, Y., Chen, Q., Cao, N., Chen, S. (2022). Diverse Interaction Recommendation for Public Users Exploring Multi-view Visualization using Deep Learning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2022.3209461>
- Tan, G. W.-H., Ooi, K.-B., Leong, L.-Y., Lin, B. (2014). Predicting the drivers of behavioral intention to use mobile learning: A hybrid SEM-Neural Networks approach. *Computers in Human Behavior*, 36, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.052>
- Chaganti, R., Ravi, V., Pham, T. D. (2023). A multi-view feature fusion approach for effective malware classification using Deep Learning. *Journal of Information Security and Applications*, 72, 103402. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2022.103402>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329088

IMPROVEMENT OF THE APPROACH TO CHOOSING THE OPTIMAL STRATEGY FOR ASSESSING A MILITARY SERVICEMAN (p. 37–48)

Oleksandr Maistrenko

Command and Staff Institute

of Troops (Forces) Employment, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9900-5930>

Vitalii Khoma

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9900-855X>

Volodymyr Kurban

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

Yuliia Mozghova

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4913-8436>

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>

Denis Sysolyatin

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

Ihor Fishchuk

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5567-9004>

Serhii Horbenko

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

The object of the study is the process of choosing the optimal strategy for assessing a military serviceman.

The problem, which was being solved, is non-adaptability of the existing scientific approach to the necessity of taking into account the rapid transformation of functional responsibilities and long-term career planning when assessing military servicemen.

In terms of improving the approach of choosing the optimal strategy for assessing a military serviceman, the algorithm for choosing the appropriate strategy has been suggested. The algorithm is based on the application of optimal selection criteria (Laplace, Wald and Savage). The essence of the developed algorithm implies the level of uncertainty regarding the possible transformation of service functions, the possible transformation of service functions and acquired competencies.

The peculiarity of the developed algorithm is that it allows to take into account the long-term perspective of career development by considering the uncertainty in the process of transformation of service functions.

As part of improving the approach to choosing the optimal strategy for assessing a serviceman, the procedure for choosing the appropriate optimal strategy has been improved.

The peculiarity of the suggested procedure is that it is based on the identification of the level of uncertainty, the use of a tabular method for determining the correspondence of service functions to competencies, and the distribution of competencies on the basis of their acquisition. This procedure allows to increase the accuracy of determining the level of correspondence of a military serviceman's competencies to service functions by 15% if no changes occur, and

by 17% in case of minor changes and by 24% in case of fundamental changes. A distinctive feature of the procedure is the division of competencies into three groups: professional, general development, and acquired through experience.

The scope of practical application of the improved procedure is the management processes to ensure the effectiveness of HR management in the command-and-control bodies of military formations.

Keywords: HR management, assessment of military servicemen, competencies, service functions, optimal selection criteria.

References

1. Zubarev, S. (2024). HR-management during the war: personnel support. *Scientific Journal of Polonia University*, 63 (2), 212–219. <https://doi.org/10.23856/6328>
2. Levchuk, K., Bandurka, K. (2024). HR management: challenges faced by employers during martial law in Ukraine. *Economic Bulletin of the Dniprovsk State Technical University*, 2 (9), 90–94. [https://doi.org/10.31319/2709-2879.2024iss2\(9\).318987pp90-94](https://doi.org/10.31319/2709-2879.2024iss2(9).318987pp90-94)
3. Soeters, J. (2023). Economics, Logistics, and (Human Resources) Management in Military Sciences. *Handbook of Military Sciences*, 1–17. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02866-4_67-2
4. Mazilu (Alexandrescu), E.-A. (2024). The Necessity of the Process of Modernisation of the Human Resources of the Military System. *Nemzet Ész Biztonság*, 16 (2), 90–99. <https://doi.org/10.32576/nb.2023.2.6>
5. Setiawan, B. (2024). Enhancing Human Resources Competency in a Defense University: Strategies and Best Practices. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 16 (3), 3101–3117. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i3.5796>
6. op den Buijs, T., Olsthoorn, P. (2023). Human Resource Management for Military Organizations: Challenges and Trends. *Handbook of Military Sciences*, 1–26. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02866-4_68-1
7. Özcan, K., Genç*, S. (2019). Developing An Hr Strategy Map For Military Context. *The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 86–97. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2019.01.02.8>
8. Mazari Abdessameud, O., Van Utterbeeck, F., Guerry, M.-A. (2021). Military Human Resource Planning through Flow Network Modeling. *Engineering Management Journal*, 34 (2), 302–313. <https://doi.org/10.1080/10429247.2021.1900660>
9. Noor, M. M., Razali, R. (2011). Human Resources Information Systems (HRIS) for military domain - a conceptual framework. *Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/iceei.2011.6021559>
10. Okazawa, S. (2013). A discrete event simulation environment tailored to the needs of military human resources management. *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, 2784–2795. <https://doi.org/10.1109/wsc.2013.6721649>
11. Arifin, M. A., Tajudeen, F. P. (2020). Impact of human resources information systems in the military environment. *Asia Pacific Management Review*, 25 (4), 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.02.001>
12. Costa, I. P. de A., Terra, A. V., Moreira, M. Â. L., Pereira, M. T., Fávero, L. P. L., Santos, M. dos, Gomes, C. F. S. (2022). A Systematic Approach to the Management of Military Human Resources through the ELECTRE-MOr Multicriteria Method. *Algorithms*, 15 (11), 422. <https://doi.org/10.3390/a15110422>
13. Levianto, J., Husin, Z., Kusnadi, K. (2024). HRM Model In Civil-Military Environment: Investigation Of The Influencing Factors

- On Performance. *Management Studies and Entrepreneurship Journal (MSEJ)*, 5 (2), 5273–5280. Available at: <https://journal.yrpioku.com/index.php/msej/article/view/4959>
14. Ranamukha, N. C. (2024). The Role of Human Resources Flexibility in Strategic Thinking of Strategic Level Military Officers of Sri Lanka Air Force. *Journal of Management, Social Sciences and Humanities*, 5 (1), 115–137. <https://doi.org/10.4038/jmsh.v5i1.22>
 15. Jnitova, V., Elsworth, S., Ryan, M. (2017). Review of simulation models in military workforce planning and management context. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 14 (4), 447–463. <https://doi.org/10.1177/1548512917704525>
 16. Profesiyniy standart za hrupoiu profesiyy "Operator bezpilotnykh aviatsiynykh system: operator nazemnykh zasobiv keruvannya bezpilotnym litalnym aparatom; operator dystantsiyno kerovanykh bezpilotnykh litalnykh aparativ; operator dystantsiyno kerovanykh bezpilotnykh aparativ ahropromyslovoho vyrobnytstva" (2025). Hromadskoi orhanizatsiyyi "Ukrainska asotsiatsiia operatoriv bezpilotnykh aparativ". Available at: https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/724-ilovepdf_merged_14.pdf
 17. Profesiyniy standart. Dystantsiyniy komandyr bezpilotnoho povitriano sudna (2024). Available at: https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/682-distancijnij_komandir_bezpilotnogo_povitranogo_sudna.pdf
 18. Sniedovich, M. (2016). From Statistical Decision Theory to Robust Optimization: A Maximin Perspective on Robust Decision-Making. *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics*, 59–87. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33121-8_4
 19. Manski, C. F. (2021). Econometrics for Decision Making: Building Foundations Sketched by Haavelmo and Wald. *Econometrica*, 89 (6), 2827–2853. <https://doi.org/10.3982/ecta17985>
 20. Maistrenko, O., Khoma, V., Kurban, V., Saveliev, A., Shcherba, A., Karavanov, O. et al. (2023). Improving the scientific and methodological apparatus for determining the optimum strategy when selecting a grouping element for performing the task. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (125)), 64–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289100>
 21. Tuyl, F., Gerlach, R., Mengersen, K. (2008). A Comparison of Bayes-Laplace, Jeffreys, and Other Priors. *The American Statistician*, 62 (1), 40–44. <https://doi.org/10.1198/000313008x267839>
 22. Manski, C. F. (2017). Optimize, satisfice, or choose without deliberation? A simple minimax-regret assessment. *Theory and Decision*, 83 (2), 155–173. <https://doi.org/10.1007/s11238-017-9592-1>
 23. 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>
 24. 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>
 25. Walker, G., MacDonald, J. R. (2001). Designing and Implementing an HR Scorecard. *Human Resource Management*, 40 (4), 365–377. <https://doi.org/10.1002/hrm.1025>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330351

DEVELOPMENT OF CONTINGENCY COST ANALYSIS MODEL IN CONSTRUCTION PROJECT WITH COST-TIME-QUALITY RISK INTEGRATION (p. 49–56)

I Nyoman Yudha Astana

Udayana University, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7905-1836>

Dewa Ketut Sudarsana

Udayana University, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9101-8833>

Ariany Frederika

Udayana University, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7616-2353>

Putu Ari Sanjaya

Udayana University, Badung, Bali, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1607-9506>

The object of this study is the contingency cost in the implementation of construction projects. The problem to be solved is the development of a contingency cost model in the implementation of construction projects, by integrating cost, quality, and time risks. The previously used models involve cost, quality, and time risks separately. It is still rare to find an analysis in construction project execution that incorporates these three risks into a contingency cost model. The formulation of this integration is crucial since every project is unique and carries varying degrees of risk. Data were investigated and collected from the Bali Province Regency Road Improvement Project, and the descriptive strategy analysis was employed. Using the probability (P) by impact (I) approach, which is the multiplication of (P) by (I) on a Likert scale of 5, triple constraint risks are included in the Expected Monetary Value (EMV) analysis. Moreover, monetary units are used to develop impact scale I, in which daily penalties and quality with rework costs are applied using the monetary unit approach of time effect. The simultaneous total of the PI from time, cost, and quality concerns is the EMV contingency cost formulation for the integration of these risks.

The study obtained that, a cost contingency model was created that incorporates the risk factors of cost, time, and quality. This model's cost contingency value was 9.61% of the total cost when it was applied to a case study. Specifically, this finding falls between 5% and 10%, which is adequate and consistent with the empirical approach. This contingency cost model is thought to be more rational since it accounts for project risks, including the likelihood of potential risks as well as their effects. The project team can use this approach to estimate contingency expenses.

Keywords: construction project, risk integration, cost-time-quality, contingency cost, EMV.

References

1. Barraza, G. A., Bueno, R. A. (2007). Cost Contingency Management. *Journal of Management in Engineering*, 23 (3), 140–146. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0742-597x\(2007\)23:3\(140\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0742-597x(2007)23:3(140))
2. Matějková, J. (2024). Assessing Public Works Procurement in the Czech Republic's over-limit Regime: Survey Results and Recommendations for Contracting Authorities. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 34 (2), 84–99. <https://doi.org/10.59440/ceer/189313>
3. Leśniak, A. (2023). Delays In Execution Of Building Projects And Their Financial Consequences For Contractors – Polish View. *Civil*

- and Environmental Engineering Reports, 33 (1), 99–108. <https://doi.org/10.59440/ceer-2023-0007>
4. Turskis, Z., Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Kosareva, N. (2015). A Hybrid Model Based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS for Construction Site Selection. *International Journal of Computers Communications & Control*, 10 (6), 113. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2015.6.2078>
 5. Vaghela, V. N. (2020). Risk management in the construction industry. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 7, 584–588. Available at: <https://www.irjet.net/archives/V7/i6/IRJET-V7I6107.pdf>
 6. Ziegel, E. R., Vose, D. (1999). Quantitative Risk Analysis. *Technometrics*, 41 (4), 381. <https://doi.org/10.2307/1271374>
 7. Marco, A., Thaheem, M., Grimaldi, S., Rafele, C. (2014). A Framework Methodology for Selection of Risk Analysis Techniques in Construction Projects. Conference: Proceedings of the Creative Construction Conference 2012. Available at: https://www.researchgate.net/publication/258506573_A_Framework_Methodology_for_Selection_of_Risk_Analysis_Techniques_in_Construction_Projects
 8. Walke, R., Topkar, V., Kabiraj, S. (2010). Risk Quantification Using EMV Analysis – A Strategic Case of Ready Mix Concrete Plants. *International Journal of Computer*, 7 (5), 399–408. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266214429_Risk_Quantification_Using_EMV_Analysis_-_A_Strategic_Case_of_Ready_Mix_Concrete_Plants
 9. Purnus, A., Bodea, C.-N. (2014). Correlation between Time and Cost in a Quantitative Risk Analysis of Construction Projects. *Procedia Engineering*, 85, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.570>
 10. Rezaian, A. (2011). Time-Cost-Quality-Risk of Construction and Development Projects or Investment. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 10 (2), 218–223.
 11. Demir, S. T., Bryde, D. J., Fearon, D. J., Ochieng, E. G. (2014). A tool for integrating time, cost and quality perspectives in Probability Impact (P-I) Tables. *International Journal of Project Organisation and Management*, 6 (4), 303. <https://doi.org/10.1504/ijpom.2014.066410>
 12. Idrus, A., Fadhil Nuruddin, M., Rohman, M. A. (2011). Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications*, 38 (3), 1501–1508. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.061>
 13. Jaya, N. M., Sudarsana, D. K. (2023). Development of Contingency Value Analysis Model Using Cost-Time Risk Integration and WBS-Pareto Hybrid in Construction Projects. *International Journal on Engineering Applications (IREA)*, 11 (2), 121. <https://doi.org/10.15866/irea.v11i2.23235>
 14. Aloko, M. N. (2018). Risk Assessment Process for Construction Projects in Afghanistan. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5 (8), 211–217. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.8.26>
 15. Simosa, F. (2024). Qualitative Risk Analysis Tools, Definition, Examples. *Projectcubicle*. Available at: <https://www.projectcubicle.com/qualitative-risk-analysis-tools-definition-examples/>
 16. Singam, H. B., Chaudhari, P. S. (2016). Risk Analysis of Construction Project Using Sensitivity Analysis. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 3(6).
 17. Hulett, D. T., Nosbisch, M. R. (2018). Integrated Cost / Schedule Risk Analysis Using Monte Carlo Simulation of CPM Model. Available at: http://www.projectrisk.com/white_papers/Presentation-Hulett-Nosbisch-rev2.pdf
 18. A guide to the project management body of knowledge (2017). PMI.
 19. Sudarsana, D. K., Astana, N. Y., Frederika, A., Sanjaya, P. A. (2024). Development of a Quantitative Scale for the Impact of Quality Risk on Construction Project. *International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering*. Available at: <https://icrmce06.ft.uns.ac.id/assets/doc/ICRMCE06Guidebook.pdf>
 20. Cooper, D., MacDonald, D., Chapman, C. (1985). Risk analysis of a construction cost estimate. *International Journal of Project Management*, 3 (3), 141–149. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(85\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0263-7863(85)90065-1)

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329994

DEVISING A METHOD FOR STRATEGIC-ORIENTED EVALUATION OF THE ACTIVITIES OF LOGISTICS PERSONNEL TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF RISK AND UNCERTAINTY FACTORS (p. 57–66)

Tatiana Vorkut

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0354-476X>

Lyudmila Volynets

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5064-2349>

The object of this study is the process of strategically-oriented assessment of the activities of an employee at an entity involved in the rendering of logistics services to internal and/or external clients (consumers) of the organization, taking into account the effects of risk and uncertainty factors. The task addressed is to improve the efficiency of decisions (according to a specified optimization criterion) in the field of logistics personnel management in the organization based on the further development of methodological approaches to assessing the activities of logistics personnel.

A structural model of an integral indicator for strategically-oriented assessment of the activities of an employee of the organization involved in the provision of logistics services has been built. The hierarchical structural model involves establishing a connection between the system for assessing the activities of logistics personnel with the strategic goals of the organization.

The study also reports a constructed mathematical model of an integral indicator for strategically-oriented assessment of the activities of an employee of the organization involved in the provision of logistics services, taking into account the effects of risk and uncertainty factors. A procedure for the interaction of these models has been proposed, owing to which a method of strategically oriented assessment of the activities of logistics personnel was suggested, taking into account the action of risk and uncertainty factors.

Applying the method could make it possible to form integral and complex indicators for assessing the activities of logistics personnel, aimed at achieving the strategic goals of the organization. This would also enable determining general directions and building individual trajectories for the training and development of logistics personnel. The specified method is advisable to use when developing software for planning the logistics activities of enterprises.

Keywords: strategically oriented assessment of personnel activities, logistics personnel, functional areas of logistics.

References

1. Niven, P. R. (Ed.) (2012). *Balanced Scorecard Step-By-Step*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119205081>

2. Kaplan, R. S., Norton, D. P. (2001). *The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*. Harvard Business Press, 400.
3. Kaplan, R. S., Norton, D. P. (2006). *Alignment: Using the Balanced Scorecard to Create Corporate Synergies*. Boston: Harvard Business School Press, 320.
4. Drucker, P. F. (2006). *The Practice of Management*. Harper Collins, 416.
5. Deming, W. E. (2000). *Out of the Crisis*. MIT Press, 507.
6. Neave, H. R. (1990). *The Deming Dimension*. Knoxville: SPC Press, 440.
7. Vorkut, T., Volynets, L. (2025). Improvement of scientific and methodological approaches to the formation of key performance indicators in a logistics organization in the context of implementing the concept of a balanced system of indicators. *Ekonomika transportnoho kompleksu*, 45, 273–287. Available at: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/f24e73f6-72b7-4006-89d4-ef8d1289575f>
8. Drucker, P. (2012). *Management Challenges for the 21st Century*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780080942384>
9. Nazarenko, I., Tesliuk, N., Shayakhmetov, S., Abiyev, B., Uderbayeva, A. (2025). Scientific and methodological principles of formation of financial support strategies for the concept of sustainable development of passenger transport enterprises. *Strategic-oriented management of the transport industry: logistics approaches, innovative solutions and management models*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 67–82. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-14-6.ch6>
10. Popova, N., Shynkarenko, V., Kryvoruchko, O., Zéman, Z. (2018). Enterprise management in VUCA conditions. *Economic Annals-XXI*, 170 (3-4), 27–31. <https://doi.org/10.21003/ea.v170-05>
11. Kryvoruchko, O., Fedotova, I. (2024). An Integrated Comprehensive Approach to Improving Transport and Logistics Business Processes. *Transport Means 2024. Proceedings of the 28th International Scientific Conference*. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.p84-90>
12. Zachosova, N., Kutsenko, D., Koval, O. (2022). Strategy and mechanism of enterprises financial and economic security management in the conditions of war, industry 4.0 and bani world. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 4 (45), 223–233. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.4.45.2022.3819>
13. Parfentjeva, O. G., Grechan, P. Yu., Grechan, A. P. (2019). Stimulating innovative activity as a tool for ensuring strategic development of motor transport enterprises. *Management Science Letters*, 1655–1668. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.5.022>
14. Grechan, A. P., Bezuglyi, A. O., Parfentjeva, O. G., Kompanets, K. A., Hroza, A. M. (2020). Strategic development and ensuring competitiveness of transport companies in the context of market digitization. *International Journal of Management*, 11 (6), 1124–1133. Available at: https://iaeme.com/MasterAdmin/Journal_uploads/IJM/VOLUME_11_ISSUE_6/IJM_11_06_100.pdf
15. Prokudin, G., Lebid, I., Luzhanska, N., Chupaylenko, O. (2020). Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks. *Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. Part I*. Kaunas, 22–26. Available at: <https://transport-means.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-A4-I-dalis.pdf>
16. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Lebid, V., Denys, O., Khobotnia, T., Nazarova, A. (2022). Logistics of freight transportation and customs service in international transportation. *Logistics Systems: Technological and Economic Aspects of Efficiency*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 38–74. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-66-4.ch2>
17. Kunda, N. T., Lebid, V. V. (2019). Assessment of the Quality Indicators Interconnection of Transport Services while Cargo Transportation. *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 10 (8), 2394–2406. Available at: <https://journals.aserspublishing.eu/jarle/article/view/5286>
18. Al-Ammouri, A., Kharuta, V., Klochan, A., Shkurko, O., Al-Ammori, H. (2024). Enhancing the reliability of information in positioning systems on road transport by using parallel information redundancy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (129)), 78–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304129>
19. Vorkut, T. A., Bilonoh, O. Ye., Dmytrychenko, A. M., Petunin, A. V., Sribna, N. V., Tretynychenko, Yu. O. (2021). *Portfelno-orientovane upravlinnia v orhanizatsiynykh merezhakh*. Kyiv: Milenium, 227.
20. Vorkut, T., Volynets, L., Volynets, Ya. (2023). Development of indicators for evaluating the level of sustainable development of logistics organizational structures. *Ekonomika transportnoho kompleksu*, 42, 37–48. Available at: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8ceb20d2-8ce8-4420-86fe-30f9c7684a27/content>
21. Vorkut, T. A., Volynets, L. M., Dobrovolska, A. M., Prokudin, O. H. (2025). *Stratehichno-orientovane upravlinnia proiektamy: kontekst problemyky lohistychnoho upravlinnia v orhanizatsiyakh i orhanizatsiynykh merezhakh*. Kyiv: Milenium, 246.
22. Vorkut, T., Volynets, L., Bilonog, O., Sopotsko, O., Levchenko, I. (2019). The model to optimize deliveries of perishable food products in supply chains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (101)), 43–50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177903>
23. DSTU ISO 8258-2001. *Statystychnyi kontrol. Kontrolni karty Shukhar-ta (ISO 8258:1991, IDT)*.
24. Saaty, N. T. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh: RWS Publications, 352.
25. Keller, S. B., Savitskie, K., Stank, T. P., Lynch, D. F., Ellinger, A. (2002). Summary and Analysis of Multi-item Scales Used in Logistics Research. *Journal of Business Logistics*, 23 (2), 83–281.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326135

DEVELOPMENT OF OPTIMIZATION ALGORITHMS TO VEHICLE ROUTING PROBLEM (p. 67–77)

Muhammad AminUniversitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9902-5642>**Syahril Efendi**Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>**Mahyuddin K. M. Nasution**Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1089-9841>**Marischa Elveny**Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2014-6173>

The Capacitated Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Demands (CVRPTD) is a significant optimization challenge in the logistics and transportation domain, characterized by dynamic customer demands, strict time windows, and heterogeneous vehicle fleets. This study focuses on urban parcel delivery operations as the primary object of research. The problem addressed involves the inefficiency of conventional vehicle routing strategies in adapting to time-varying customer

demands and operational constraints, which often lead to increased costs and service delays. This study aims to minimize total operational costs while ensuring compliance with capacity constraints, service continuity, and demand fluctuations. A comprehensive mathematical model is developed based on a fully connected, directed acyclic graph $G = (V, A)$, incorporating decision variables that represent vehicle routing sequences, timing, and vehicle type assignments. This study addresses the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time-Dependent Demands (CVRPTD) in urban parcel delivery, where traditional routing methods struggle with dynamic demands and operational constraints. A mathematical model using a directed acyclic graph is developed, optimized via a gradient-based method with Hessian approximation, LU decomposition, and quasi-Newton techniques. Experiments on datasets with up to 200 customers and 20 vehicles with reductions ranging from 1.79% to 12.75%. The most significant improvement was observed in Sidorame Timur, where the optimization distance decreased by 12.75%, indicating high accuracy in route optimization. For the SCP, the proposed algorithm achieved a 6.46% improvement in solution quality over traditional greedy algorithms.

Keywords: optimization, machine learning, set cover, CVRP, cost.

References

- Anityasari, M., Rinardi, H. C., Warmadewanthi, I. D. A. A. (2024). Analysing medical waste transportation using periodic vehicle routing problem for Surabaya public health facilities. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27 (2), 830–847. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02124-0>
- Rezaei, B., Gadelha Guimaraes, F., Enayatifar, R., C. Haddow, P. (2024). Exploring dynamic population Island genetic algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem. *Memetic Computing*, 16 (2), 179–202. <https://doi.org/10.1007/s12293-024-00412-8>
- Ambrosino, D., Cerrone, C. (2022). A Rich Vehicle Routing Problem for a City Logistics Problem. *Mathematics*, 10 (2), 191. <https://doi.org/10.3390/math10020191>
- Lim, H., Lee, G. M., Singgih, I. K. (2021). Multi-Depot Split-Delivery Vehicle Routing Problem. *IEEE Access*, 9, 112206–112220. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3103640>
- Wei, X., Niu, C., Zhao, L., Wang, Y. (2024). Combination of ant colony and student psychology based optimization for the multi-depot electric vehicle routing problem with time windows. *Cluster Computing*, 28 (2). <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04821-9>
- Kim, G. (2024). Electric Vehicle Routing Problem with States of Charging Stations. *Sustainability*, 16 (8), 3439. <https://doi.org/10.3390/su16083439>
- Li, B., Wu, G., He, Y., Fan, M., Pedrycz, W. (2022). An Overview and Experimental Study of Learning-Based Optimization Algorithms for the Vehicle Routing Problem. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9 (7), 1115–1138. <https://doi.org/10.1109/jas.2022.105677>
- Khorsi, M., Chaharsooghi, S. K., Husseinzadeh Kashan, A., Bozorgi-Amiri, A. (2022). Solving the humanitarian multi-trip cumulative capacitated routing problem via a grouping metaheuristic algorithm. *Annals of Operations Research*, 319 (1), 173–210. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04757-6>
- Yue, B., Ma, J., Shi, J., Yang, J. (2024). A Deep Reinforcement Learning-Based Adaptive Search for Solving Time-Dependent Green Vehicle Routing Problem. *IEEE Access*, 12, 33400–33419. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3369474>
- Thakur, G., Pal, A., Mittal, N., Yajid, M. S. A., Gared, F. (2024). A significant exploration on meta-heuristic based approaches for optimization in the waste management route problems. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64133-1>
- Shahbazian, R., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., Macrina, G. (2024). Integrating Machine Learning Into Vehicle Routing Problem: Methods and Applications. *IEEE Access*, 12, 93087–93115. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3422479>
- Pan, B., Zhang, Z., Lim, A. (2021). Multi-trip time-dependent vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 291 (1), 218–231. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.09.022>
- Azad, T., Rahman, H. F., Chakraborty, R. K., Ryan, M. J. (2022). Optimization of integrated production scheduling and vehicle routing problem with batch delivery to multiple customers in supply chain. *Memetic Computing*, 14 (3), 355–376. <https://doi.org/10.1007/s12293-022-00372-x>
- Huang, G., Qi, Y., Cai, Y., Luo, Y., Huang, H. (2024). A Grey Wolf Optimizer Algorithm for Multi-Objective Cumulative Capacitated Vehicle Routing Problem Considering Operation Time. *Biomimetics*, 9 (6), 331. <https://doi.org/10.3390/biomimetics9060331>
- Hesam Sadati, M. E., Çatay, B., Aksen, D. (2021). An efficient variable neighborhood search with tabu shaking for a class of multi-depot vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 133, 105269. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105269>
- Akbarpour, N., Salehi-Amiri, A., Hajiaghahi-Keshteli, M., Oliva, D. (2021). An innovative waste management system in a smart city under stochastic optimization using vehicle routing problem. *Soft Computing*, 25 (8), 6707–6727. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05669-6>
- Chen, C.-M., Lv, S., Ning, J., Wu, J. M.-T. (2023). A Genetic Algorithm for the Waitable Time-Varying Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem. *Symmetry*, 15 (1), 124. <https://doi.org/10.3390/sym15010124>
- Park, S., Ha, C., Seok, H. (2023). Vehicle Routing Problem Model with Practicality. *Processes*, 11 (3), 654. <https://doi.org/10.3390/pr11030654>
- Fernández Gil, A., Lalla-Ruiz, E., Gómez Sánchez, M., Castro, C. (2023). The cumulative vehicle routing problem with time windows: models and algorithm. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-05102-7>
- Mancini, S., Gansterer, M. (2024). Bundle generation for the vehicle routing problem with occasional drivers and time windows. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 36 (4), 1189–1221. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09529-3>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330363

MULTI-CRITERION OPTIMIZATION OF URBAN PUBLIC ELECTRIC TRANSPORT ROUTES (p. 78–85)

Denys Zakharov

O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5751-6771>

Oleksii Palant

O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8178-6874>

Oleg Proskurnin

Scientific Research Institution "Ukrainian Scientific Research
Institute of Ecological Problems", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9774-9306>

Karina Belokon

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2000-4052>

Olexander Krasnoshtan

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsya, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9866-9930>

Serhii Tsymbal

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsya, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5237-7814>

The object of this study is the public transport route network. The task addressed is to choose optimal transport routes. Existing scientific research in this field is mainly aimed at increasing its reliability and reducing economic risks. The social and environmental aspects are considered separately, not in connection with technical and economic issues. The study proposes a comprehensive approach to solving the task of urban transport operation.

To solve the problem of multi-criteria optimization of the transport network, the use of the hierarchy analysis method (HAM), which is based on expert assessments, has been proposed. A hierarchical structure of the route selection problem was constructed. Three optimization criteria were determined, as well as ten factors influencing the selected criteria. A comprehensive approach to choosing urban electric transport routes could make it possible, with minimal capital investments and operating costs, to promote the normal functioning of cities. This is especially relevant for Ukraine, which in the post-war period, due to demographic changes and changes in local infrastructure, will face the need to radically revise the operation mode of public transport.

The advantage of HAM over other expert methods is the complex hierarchical structure of cause-and-effect relationships between the choice of the optimum and alternative options, as well as the presence of a mechanism for internal control over the consistency of expert judgments.

The procedure for using HAM has been demonstrated using an example of optimizing transport communication between two districts in the city of Kharkiv (Ukraine). The existing tram route was considered, as well as alternative options. The option consisting of one tram and one trolleybus route was chosen as optimal according to technical, economic, social, and environmental criteria.

Keywords: public electric transport, route, multi-criteria optimization, hierarchy analysis method, optimization criteria.

References

- Vodovozov, Ye. N., Dymchenko, O. V., Palant, O. Yu., Tararuev, Yu. O. (2018). Problemy restrukturyzatsiyi pidpriemstv nazemnoho elektrychnoho transportu. Kharkiv: Zoloti storinky, 208.
- Zakharov, D., Palant, O., Rudachenko, O. (2024). Modeling of financial performance of urban electric transport enterprises in the war and post-war periods. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (4 (80)), 12–20. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.318464>
- Arabahmadi, R., Mohammadi, M., Samizadeh, M., Rabbani, M., Gharibi, K. (2023). Facility Location Optimization For Technical Inspection Centers Using Multi-Objective Mathematical Modeling Considering Uncertainty. *Journal of Soft Computing and Decision Analytics*, 1 (1), 181–208. <https://doi.org/10.31181/jscda11202314>
- Olivková, I. (2017). Comparison and Evaluation of Fare Collection Technologies in the Public Transport. *Procedia Engineering*, 178, 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.099>
- UNECE launches handbook on sustainable urban mobility and spatial planning to help steer cities' green recovery (2020). Available at: <https://unece.org/pep/press/unece-launches-handbook-sustainable-urban-mobility-and-spatial-planning-help-steer-cities>
- Bubenko, P. T., Dymchenko, O. V., Rudachenko, O. O., Haidenko, S. M., Diegtiar, O. A. (2021). Territorial organization of innovative development: Entrepreneurial aspect of sustainability. *Rivista Di Studi Sulla Sostenibilita'*, 2, 171–185. <https://doi.org/10.3280/riss2021-002013>
- Akhiezer, O., Dunaevskaya, O., Serdyuk, I., Strelnikova, A., Harmash, D. (2018). Methods for solving multi-index transport tasks of high dimensionality. *Control, Navigation and Communication Systems*, 4 (50), 57–61. <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.4.057>
- Gross, J. L., Yellen, J. (2005). *Graph theory and its applications*. Chapman and Hall/CRC, 800. <https://doi.org/10.1201/9781420057140>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1 (1), 83. <https://doi.org/10.1504/ijssci.2008.017590>
- Kyzym, M., Dymchenko, O., Smachylo, V., Rudachenko, O., Dril, N. (2022). Cluster Analysis Usage as Prerequisite for Implementing Strategies of Countries Startup Ecosystems Development. *Smart Technologies in Urban Engineering*, 290–301. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_27
- Potomkin, M. M., Nikolaenko, M. V., Grazion, D. I. (2020). Improvement of Analytic Hierarchy Process based on the Refinement of the Procedures for the Formation of Pairwise Comparison Matrices. *Cybernetics and Systems Analysis*, 56 (4), 603–610. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00277-y>
- Copeland, B. J. (2025). Artificial intelligence. Available at: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
- Vovk, O. B., Shakhovska, N. B., Kamynskyi, R. M. (2018). *Systemy shchnoho intelektu*. Lviv: Vyd-vo Lviv. politekhniki, 392.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326193

DESIGN AND OPTIMIZATION OF A TYPE-2 FUZZY LOGIC-BASED LATERAL CONTROL SYSTEM FOR ENHANCING TRAJECTORY STABILITY IN AUTONOMOUS VEHICLES (p. 86–104)

Bhakti Yudho Suprpto

Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-6347>

Suci Dwijayanti

Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2060-6408>

Muhammad Irvin Fadillah

Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9901-764X>

The focus of this study is the lateral control system of autonomous vehicles using steering control. The main objective is to ensure the vehicle consistently stays on the correct path. Existing methods remain limited, as they often assume ideal road conditions without obstacles or dynamic objects. To address this limitation, this study investigates steering angle control for autonomous vehicles in unstructured environments with potential obstacles. It specifically analyzes the application of a type-2 fuzzy logic controller (type-2 FLC) for steering control, using input values in the form of error and delta error. These values are calculated from the difference between the output generated and the steering angle measured by a pulse encoder mounted on the steering wheel. The type-2 FLC demonstrated high accuracy in obstacle avoidance tests: 1.54% (human), 4.28% (one car), 1.2% (two objects on the

left), and 2.13% (two on the left, one on the right). In contrast, the PID controller produced higher error rates: 2.19%, 3.49%, 1.12%, and 3.49%, respectively. Full-route testing showed average forward-route errors of 8.87% for the type-2 FLC and 12.35% for the PID controller. On the return route, the type-2 FLC recorded a 4.52% error, while the PID controller showed 7.57%. Overall, the type-2 FLC achieved lower error rates and better accuracy than the PID controller, particularly in dynamic conditions. These results highlight the effectiveness of the type-2 FLC in enhancing autonomous vehicle performance and steering accuracy. Its low error values indicate superior path-tracking capabilities, effectively addressing the research objective.

Keywords: autonomous vehicle, type-2 FLC, PID control, steering angle, membership function, maneuvers.

References

- Hussain, R., Zeadally, S. (2019). Autonomous Cars: Research Results, Issues, and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21 (2), 1275–1313. <https://doi.org/10.1109/comst.2018.2869360>
- Fagnant, D. J., Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 167–181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- Daily, M., Medasani, S., Behringer, R., Trivedi, M. (2017). Self-Driving Cars. *Computer*, 50 (12), 18–23. <https://doi.org/10.1109/mc.2017.4451204>
- Yaqoob, I., Khan, L. U., Kazmi, S. M. A., Imran, M., Guizani, N., Hong, C. S. (2020). Autonomous Driving Cars in Smart Cities: Recent Advances, Requirements, and Challenges. *IEEE Network*, 34 (1), 174–181. <https://doi.org/10.1109/mnet.2019.1900120>
- Parekh, D., Poddar, N., Rajpurkar, A., Chahal, M., Kumar, N., Joshi, G. P., Cho, W. (2022). A Review on Autonomous Vehicles: Progress, Methods and Challenges. *Electronics*, 11 (14), 2162. <https://doi.org/10.3390/electronics11142162>
- Kuutti, S., Fallah, S., Katsaros, K., Dianati, M., McCullough, F., Mouzakitis, A. (2018). A Survey of the State-of-the-Art Localization Techniques and Their Potentials for Autonomous Vehicle Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 5 (2), 829–846. <https://doi.org/10.1109/jiot.2018.2812300>
- Hossain, T., Habibullah, H., Islam, R. (2022). Steering and Speed Control System Design for Autonomous Vehicles by Developing an Optimal Hybrid Controller to Track Reference Trajectory. *Machines*, 10 (6), 420. <https://doi.org/10.3390/machines10060420>
- Kebbaty, Y., Ait-Oufroukh, N., Ichalal, D., Vigneron, V. (2022). Lateral control for autonomous wheeled vehicles: A technical review. *Asian Journal of Control*, 25 (4), 2539–2563. <https://doi.org/10.1002/asjc.2980>
- Filho, C. M., Wolf, D. F., Grassi, V., Osorio, F. S. (2014). Longitudinal and lateral control for autonomous ground vehicles. 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 588–593. <https://doi.org/10.1109/ivs.2014.6856431>
- Chebly, A., Talj, R., Charara, A. (2017). Coupled Longitudinal and Lateral Control for an Autonomous Vehicle Dynamics Modeled Using a Robotics Formalism. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 12526–12532. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2190>
- Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., Zhao, J., Bella, F. (2020). Safety of Autonomous Vehicles. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/8867757>
- Hasmitha, J., Shivani, M., Manasa, M., Chavan, A. (2020). Steering Control for Autonomous Vehicle using Model Predictive Controller. 2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON), 1–5. <https://doi.org/10.1109/inocon50539.2020.9298205>
- Jung, C., Kim, H., Son, Y., Lee, K., Yi, K. (2014). Parameter adaptive steering control for autonomous driving. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 1462–1467. <https://doi.org/10.1109/itsc.2014.6957892>
- Yuan, T., Zhao, R. (2022). LQR-MPC-Based Trajectory-Tracking Controller of Autonomous Vehicle Subject to Coupling Effects and Driving State Uncertainties. *Sensors*, 22 (15), 5556. <https://doi.org/10.3390/s22155556>
- Emirler, M. T., Uygan, İ. M. C., Aksun Güvenç, B., Güvenç, L. (2014). Robust PID Steering Control in Parameter Space for Highly Automated Driving. *International Journal of Vehicular Technology*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/259465>
- Wang, X., Fu, M., Ma, H., Yang, Y. (2015). Lateral control of autonomous vehicles based on fuzzy logic. *Control Engineering Practice*, 34, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.09.015>
- de Silva, C. W. (1995). Applications of fuzzy logic in the control of robotic manipulators. *Fuzzy Sets and Systems*, 70 (2-3), 223–234. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(94\)00219-w](https://doi.org/10.1016/0165-0114(94)00219-w)
- Kodagoda, K. R. S., Wijesoma, W. S., Teoh, E. K. (2002). Fuzzy speed and steering control of an AGV. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 10 (1), 112–120. <https://doi.org/10.1109/87.974344>
- Liang, Q., Mendel, J. M. (2000). Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8 (5), 535–550. <https://doi.org/10.1109/91.873577>
- Arifin, B., Suprpto, B. Y., Prasetyowati, S. A. D., Nawawi, Z. (2022). Steering Control in Electric Power Steering Autonomous Vehicle Using Type-2 Fuzzy Logic Control and PI Control. *World Electric Vehicle Journal*, 13 (3), 53. <https://doi.org/10.3390/wevj13030053>
- Carreon-Ortiz, H., Valdez, F., Castillo, O. (2023). Comparative Study of Type-1 and Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems in Parameter Adaptation for the Fuzzy Discrete Mycorrhiza Optimization Algorithm. *Mathematics*, 11 (11), 2501. <https://doi.org/10.3390/math11112501>
- Rastelli, J. P., Peñas, M. S. (2015). Fuzzy logic steering control of autonomous vehicles inside roundabouts. *Applied Soft Computing*, 35, 662–669. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.06.030>
- Naranjo, J. E., Gonzalez, C., Garcia, R., de Pedro, T. (2008). Lane-Change Fuzzy Control in Autonomous Vehicles for the Overtaking Maneuver. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9 (3), 438–450. <https://doi.org/10.1109/tits.2008.922880>
- Ashraf, Z., Roy, M. L., Muhuri, P. K., Danish Lohani, Q. M. (2020). Interval type-2 fuzzy logic system based similarity evaluation for image steganography. *Heliyon*, 6 (5), e03771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03771>
- Ginarsa, I. M., Muljono, A. B., Nrartha, I. M. A., Zebua, O. (2018). De-sain Power System Stabilizer Berbasis Fuzzy Tipe-2 untuk Perbaikan Stabilitas Mesin Tunggal. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 14 (1), 1–8. <https://doi.org/10.17529/jre.v14i1.8464>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329830

IDENTIFYING THE IMPACT OF POSTED SPEED LIMITS ON VEHICLE TRAVEL MODE ON URBAN ROUTES (p. 105–114)

Oleksandr Riabushenko

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8415-5733>

Ivan Nahliuk

Kharkiv National Automobile and
Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9411-4479>

Serhii Danets

Kharkiv Research Expert and Forensic Center
of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>

Mykola Bahlai

National Academy of the National Guard
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7759-2214>

The object of the study is the vehicle driving mode and the results of trip on the road network of a large city under various speed limit conditions. The problem of quantitative assessment of the impact of speed limits on the average speed on the route, as well as on the indicators of driving mode unevenness, was solved. The values of such traffic parameters as average speed, average speed deviation, acceleration noise, speed gradient, energy gradient at different values of the posted speed limit (PSL) were obtained. Graphs of changes in the average speed and indicators of the unevenness of the speed regime were constructed and mathematical models of the dependence of the average speed on urban routes on the adopted speed limit were proposed. The results showed an increase in the average speed on the route by an average of 2.4 km/h with an increase in PSL by 10 km/h. At the same time, the dependence of the average speed on the PSL is non-linear and shows a decrease in the impact of the speed limit factor at higher PSL values (from 3.5 km/h for a PSL of 50 km/h to 1.24 km/h for a PSL of 80 km/h). Increasing the PSL does not affect the specific time in motion and leads to an increase in the specific idle time. With an increase in PSL, the acceleration noise and energy gradient increase. The increase in average speed is explained by the ability to increase speed in low-loaded sections of the route, but with an increase in PSL, the ability to realize the increased speed decreases, and the traffic mode itself becomes more uneven.

The research was carried out using the "driving laboratory" method on three different routes under the same initial conditions for speed limits from 50 to 80 km/h. The driving mode of the car was recorded in the form of GPS tracks. The results can be used to assess the impact of PSL changes on the technical and economic performance of urban road transport. The results will also be useful in conducting an information campaign and promoting a culture of compliance with the speed limits established in cities among drivers.

Keywords: speed limit, average speed, speed mode, acceleration noise, speed gradient, GPS track.

References

- Raccagni, S., Ventura, R., Barabino, B. (2024). Impact of urban road characteristics on vehicle speed: Insights from Brescia, Italy. *Heliyon*, 10 (20), e39459. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39459>
- van Eggermond, M. A. B., Schaffner, D., Studer, N., Erath, A. (2025). Quantifying the effect of road design on urban road driving speed. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 112, 148–169. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.04.005>
- Castillo-Manzano, J. I., Castro-Nuño, M., López-Valpuesta, L., Vassallo, F. V. (2019). The complex relationship between increases to speed limits and traffic fatalities: Evidence from a meta-analysis. *Safety Science*, 111, 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.030>
- Gupta, N., Megat Johari, M. U., Jashami, H., Savolainen, P. (2022). How is traffic safety affected by changes in traffic speeds following speed limit increases? An evaluation with probe vehicle data. *Traffic Safety Research*, 3, 000017. <https://doi.org/10.55329/xsjw3584>
- Othman, B., De Nunzio, G., Di Domenico, D., Canudas-de-Wit, C. (2022). Analysis of the Impact of Variable Speed Limits on Environmental Sustainability and Traffic Performance in Urban Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23 (11), 21766–21776. <https://doi.org/10.1109/tits.2022.3192129>
- Othman, B., Nunzio, G. D., Di Domenico, D., Canudas-de-Wit, C. (2021). Urban Road Traffic Fuel Consumption Optimization via Variable Speed Limits or Signalized Access Control: A Comparative Study. 2021 60th IEEE Conference on Decision and Control (CDC), 1929–1934. <https://doi.org/10.1109/cdc45484.2021.9683194>
- Al-Mosherefawi, O. J., Jwad, R. A. (2025). Evaluation of the Urban Transport System According to the Principles of the Active City: Kufa City as a Case Study. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, 5 (1), 27–34. <https://doi.org/10.55640/eijmrms-05-01-05>
- van Goeverden, C. D. (2022). The value of travel speed. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 13, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100530>
- Zheng, L., Ma, H., Wang, Z. (2024). Travel Time Estimation for Urban Arterials Based on the Multi-Source Data. *Sustainability*, 16 (17), 7845. <https://doi.org/10.3390/su16177845>
- Nian, G., Sun, J., Huang, J. (2021). Exploring the Effects of Urban Built Environment on Road Travel Speed Variability with a Spatial Panel Data Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (12), 829. <https://doi.org/10.3390/ijgi10120829>
- Schweppenhäuser, M., Schrab, K., Protzmann, R., Radusch, I. (2025). Evaluating spatiotemporal speed metrics for traffic state estimation on complex urban roads. *Simulation*. <https://doi.org/10.1177/00375497241308890>
- Shi, C., Chen, B., Li, Q. (2017). Estimation of Travel Time Distributions in Urban Road Networks Using Low-Frequency Floating Car Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6 (8), 253. <https://doi.org/10.3390/ijgi6080253>
- Salonen, M., Toivonen, T. (2013). Modelling travel time in urban networks: comparable measures for private car and public transport. *Journal of Transport Geography*, 31, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.06.011>
- Lu, Q.-L., Qurashi, M., Antoniou, C. (2023). Simulation-based policy analysis: The case of urban speed limits. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 175, 103754. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103754>
- Jia, R., Li, Z., Xia, Y., Zhu, J., Ma, N., Chai, H., Liu, Z. (2020). Urban road traffic condition forecasting based on sparse ride-hailing service data. *IET Intelligent Transport Systems*, 14 (7), 668–674. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0338>
- Pulugurtha, S., Koilada, K. (2020). Exploring Correlations between Travel Time Based Measures by Year, Day-of-the-week, Time-of-the-day, Week-of-the-Year and the Posted Speed Limit. *Urban, Planning and Transport Research*, 9 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/21650020.2020.1845230>
- Jin, J., Rafferty, P. (2021). How the speed limit policy affects travel speed?: Quasi-experimental approach. *Transport Policy*, 103, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.01.003>

18. Wei, L., Li, W., Liang, H., Luo, F. (2023). Traffic Flow Characteristics of Speed Limited Roads Based on Cellular Automata NaSch Traffic Flow Model. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics IV*, 629–638. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24475-9_51
19. Yang, H., Wang, X., Yin, Y. (2012). The impact of speed limits on traffic equilibrium and system performance in networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46 (10), 1295–1307. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2012.08.002>
20. Li, S., Wang, T., Ren, H., Shi, B., Kong, X. (2021). Optimization Model and Method of Variable Speed Limit for Urban Expressway. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/9950417>
21. Jang, S., Wu, S., Kim, D., Song, K.-H., Lee, S. M., Suh, W. (2022). Impact of Lowering Speed Limit on Urban Transportation Network. *Applied Sciences*, 12 (11), 5296. <https://doi.org/10.3390/app12115296>
22. Bist, T. C., Tiwari, H. (2024). Assessment of Stratified Speed Characteristics and Compliance with Posted Speed Limit in an Urban Area: A Case Study of Section of Karnali Highway, Nepal. *International Journal on Engineering Technology*, 2 (1), 187–194. <https://doi.org/10.3126/injet.v2i1.72571>
23. Alkaissi, Z. A., Hussain, R. Y. (2025). Travel Time Variability and Spatio-Temporal Analysis of Urban Streets Using Global Positioning System: A Review. *Journal of Engineering*, 31 (1), 173–188. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2025.01.10>
24. Alomari, A. H., Khedaywi, T. S., Marian, A. R. O., Jadah, A. A. (2022). Traffic speed prediction techniques in urban environments. *Heliyon*, 8 (12), e11847. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11847>
25. Babu, Y. S., Pattnaik, S. B. (1997). Acceleration noise and level of service of urban roads - A case study. *Journal of Advanced Transportation*, 31 (3), 325–342. <https://doi.org/10.1002/atr.5670310307>
26. Naef, M., Al-Taei, A. (2021). Evaluation of Acceleration Noise Parameter as a Traffic Flow Performance Indicator for Multi-Lane Urban Highways. *Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)*, 26 (1), 44–52. <https://doi.org/10.33899/rengj.2021.128127.1059>
27. Kadoya, Y., Watanapongvanich, S., Khan, M. S. R. (2021). How is emotion associated with driving speed? A study on taxi drivers in Japan. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 79, 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.04.020>
28. Shirazinejad, R. S., Dissanayake, S. (2020). Speed Characteristics in Relation to Speed Limit Increase and Its Influence on Driver's Speed Selection Behavior. *Sustainability*, 12 (4), 1369. <https://doi.org/10.3390/su12041369>
29. Riabushenko, O. (2023). Methodology for determining bottlenecks on the city's street-road network by analyzing GPS track data. *Automobile Transport*, 52, 71–79. <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2023.52.0.08>
30. Alomari, A., Al-Omari, A., Aljizawi, W. (2022). Evaluation of travel time reliability in urban areas using mobile navigation applications in Jordan. *Journal of Applied Engineering Science*, 20 (3), 644–656. <https://doi.org/10.5937/jaes0-35118>

АНОТАЦІЇ CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329094

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ (с. 6–12)

Qasim Abbood Mahdi, A. С. Возниця, І. В. Шостак, А. В. Лебединський, О. І. Іваненко, О. І. Феоктистова, В. А. Федорієнко, Н. В. Бабкова, Є. С. Карпов, К. М. Радченко

Об'єктом дослідження є спеціалізовані ієрархічні системи. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення оперативності оцінювання ієрархічних систем при забезпеченні заданої достовірності незалежно від обсягів даних, які надходять на її вхід. Оригінальність методу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

- провести верифікацію топології та параметрів спеціалізованих ієрархічних систем з врахуванням ступеню невизначеності вихідних даних про інформацію, яка відома про її. Врахування ступеню невизначеності відбувається за рахунок застосування відповідних корегувальних коефіцієнтів;
- здійснити первинний відбір особин для налаштування згорточної штучної нейронної мережі з використанням удосконаленого генетичного алгоритму, чим зменшується час пошуку рішення та підвищується достовірність отриманих рішень;
- дослідити простори рішення проблеми оцінки стану спеціалізованих ієрархічних систем, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання удосконаленого алгоритму зграї мавп;
- налаштувати пам'ять згорточної штучної нейронної мережі за рахунок процедури тренування пам'яті, чим досягається зменшення похибки оцінювання параметрів спеціалізованих ієрархічних систем;
- корегуванням ваг згорточної штучної нейронної мережі, чим досягається підвищення точності оцінювання параметрів спеціалізованих ієрархічних систем;
- задіювати додаткові механізми корегування параметрів згорточної штучної нейронної мережі за рахунок використання процедури зміни функції належності.

Встановлено підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 15–18% за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.9.

Ключові слова: згорточні штучні нейронні мережі, генетичний алгоритм, дестабілізуючі фактори, метаевристичний алгоритм.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331875

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕСКРИПТИВНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ СУДЕН ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГНОЗНОГО МОНІТОРИНГУ (с. 13–26)

А. І. Головань, І. В. Грицук, В. С. Вербовський, В. В. Кальченко, Ю. В. Грицук, О. В. Вербовський, С. М. Доценко, А. Ю. Лисих, Р. В. Симоненко, О. І. Субочев

Об'єктом дослідження є процеси прескриптивного технічного обслуговування (ТО) суднових технічних засобів і конструкцій вантажних суден. Вирішувалась проблема недостатньої ефективності традиційних методів ТО суднового обладнання, що призводить до підвищення ризиків відмов та збільшення експлуатаційних витрат.

У роботі розроблено алгоритмічне забезпечення системи комплексного прескриптивного ТО вантажних суден на основі методів прогнозного моніторингу. Виконано експериментальний збір і систематизацію даних про параметри технічного стану обладнання, проведено комплексний аналіз витрат, ризиків та надійності при використанні розроблених алгоритмів. Отримані результати показали, що застосування запропонованих методик дозволяє зменшити витрати на проведення ТО до 44,4%, а також знизити ризики виникнення несправностей до 89,4%. Встановлено, що загальний економічний ефект від оптимізації процесів ТО основних компонентів двигуна складає 4849 дол. США на життєвий цикл обладнання, що підтверджує доцільність і ефективність застосування комплексного прогнозного моніторингу у системах ТО суден.

Особливістю отриманих результатів є інтегрований характер, що дозволяє одночасно враховувати як технічні, так і економічні аспекти ТО. Саме це дає змогу уникнути недоліків традиційних регламентних систем, забезпечуючи більш високий рівень експлуатаційної надійності та економічної ефективності роботи вантажних суден.

Практичне використання розроблених методик можливе за умови інтеграції запропонованих алгоритмів у процеси експлуатації суден з відповідною інформаційно-аналітичною підтримкою, яка включає автоматизований збір даних і безперервний моніторинг стану обладнання.

Ключові слова: прескриптивне технічне обслуговування, суднове обладнання, оптимізація витрат, експлуатаційна ефективність, прогнозування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332938

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ З УВАГОЮ ТА ТЕОРІЇ ПЛАНОВАНОЇ ПОВЕДІНКИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ БОРТОВОГО ТРЕКЕРУ НА BOEING 737-900ER (с. 27–36)

Daniel D Rumani, Miko Andi Wardana, Ahmad Mubarak

Об'єктом дослідження є система прогнозування для використання технології відстеження польотів у реальному часі на літаку Boeing 737-900ER. Вирішувана проблема пов'язана з низькою точністю системи прогнозування, яка спирається лише на технічні дані без врахування аспектів поведінки користувача, а також з обмеженнями інтерпретованості в традиційних моделях глибокого навчання, що перешкоджають перевірці рішень у критичних та чутливих умовах польоту. Суть отриманих результатів полягає в розробці

моделі прогнозування на основі двонаправленої довготривалої короткочасної пам'яті, поєднаної з шаром уваги та психологічними елементами з теорії планованої поведінки. Ця модель здатна підвищити точність прогнозування до 91,2%, що значно вище, ніж у традиційних моделей з точністю близько 78%, та демонструє високі показники F1 та AUC, що вказує на баланс між точністю та чутливістю. Завдяки своїм особливостям та характерним відмінностям, а саме інтеграції двонаправленого послідовного навчання, зосередженню на найбільш релевантних вхідних ознаках через механізм уваги та психологічній контекстуалізації через теорію планованої поведінки, ці результати дозволяють ефективно вирішувати проблеми низької точності та відсутності інтерпретованості при прогнозуванні використання відстежувача польотів. Ці результати пояснюються здатністю моделі виділяти ключові змінні, такі як час використання, умови польоту та попередні моделі взаємодії, що корелюють з намірами та поведінкою користувачів. Теорія структури запланованої поведінки забезпечує основу для інтерпретації системних рішень на основі ставлення, соціальних норм та сприйнятого користувачами контролю над використовуваною технологією. У практичних умовах результати цього дослідження можуть бути впроваджені в систему навчання пілотів на основі моделювання, метою якої є визначення оптимальних моделей взаємодії за допомогою технології відстеження польотів.

Ключові слова: розширене глибоке навчання, рівень уваги, теорія запланованої поведінки, політ, прогнозування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329088

УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦЯ (с. 37–48)

О. В. Майстренко, В. В. Хома, В. А. Курбан, Ю. В. Мозгова, С. С. Войтенко, О. О. Бабич, А. В. Д'яков, Д. І. Сисолятін, І. М. Фіщук, С. В. Горбенко

Об'єктом дослідження є процес вибору оптимальної стратегії оцінювання військовослужбовця.

Проблемою, що вирішувалась, є не адаптованість існуючого підходу до оцінювання військовослужбовців до необхідності врахування швидкої трансформації функціональних обов'язків та необхідністю довготривалого планування кар'єри.

У межах удосконалення підходу до вибору оптимальної стратегії оцінювання військовослужбовця запропоновано алгоритм вибору відповідної стратегії, який базується на застосуванні критеріїв оптимального вибору (Лапласа, Вальда та Севіджа). Сутність розробленого алгоритму полягає у врахуванні рівня невизначеності щодо можливої трансформації службових функцій, можливої трансформації службових функцій та набутих компетентностей.

Особливістю розробленого алгоритму є те, що він дозволяє врахувати довгострокову перспективу розвитку кар'єри через врахування невизначеності у процесі трансформації службових функцій.

У межах удосконалення підходу до вибору оптимальної стратегії оцінювання військовослужбовця удосконалено процедуру вибору відповідної стратегії.

Особливістю запропонованої процедури є те, що вона базується на ідентифікації рівня невизначеності, застосуванні табличного способу визначення відповідності службових функцій компетентностям, розподілі компетентностей за ознакою їх набуття. Зазначена процедура дозволяє підвищити точність визначення рівня відповідності компетентностей військовослужбовця службовим функціям на 15% за умов відсутності змін, на 17% за несуттєвих змін та на 24% при кардинальних змінах. Відмінною рисою процедури є розподіл компетентностей за трьома групами: професійні, загального розвитку, набуті з досвідом.

Сфера практичного використання удосконаленої процедури є процеси управління щодо забезпечення ефективності кадрового менеджменту в органах управління військовими формуваннями.

Ключові слова: кадровий менеджмент, оцінювання військовослужбовців, компетентність, службові функції, критерії оптимального вибору.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330351

РОЗРОБКА МОДЕЛІ АНАЛІЗУ ВИТРАТ НА НЕПЕРЕДБАЧЕНІ ВИПАДКИ В БУДІВЕЛЬНОМУ ПРОЕКТІ З ІНТЕГРАЦІЄЮ РИЗИКІВ ВИТРАТ, ЧАСУ ТА ЯКОСТІ (с. 49–56)

І Nyoman Yudha Astana, Dewa Ketut Sudarsana, Ariany Frederika, Putu Ari Sanjaya

Об'єктом цього дослідження є вартість непередбачених витрат під час реалізації будівельних проектів. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає в розробці моделі вартості непередбачених витрат під час реалізації будівельних проектів шляхом інтеграції ризиків, пов'язаних з вартістю, якістю та часом. Раніше використовувані моделі окремо включали ризики вартості, якості та часу. Досі рідко можна знайти аналіз виконання будівельних проектів, який враховує ці три ризики в модель вартості непередбачених витрат. Формулювання цієї інтеграції має вирішальне значення, оскільки кожен проект унікальний і несе різний ступінь ризику. Були досліджені та зібрані дані з проекту покращення доріг провінції Балі, і було застосовано описовий стратегічний аналіз. Використовуючи підхід ймовірності (P) за впливом (I), який є множенням (P) на (I) за шкалою Лайкерта 5, ризики трьох обмежень включені до аналізу очікуваної грошової вартості (ОГВ). Крім того, грошові одиниці використовуються для розробки шкали впливу I, в якій щоденні штрафи та якість з витратами на переробку застосовуються з використанням підходу грошових одиниць з урахуванням часового ефекту. Одночасна сума PI від питань часу, вартості та якості є формулюванням вартості непередбачених витрат ОГВ для інтеграції цих ризиків.

У дослідженні було виявлено, що була створена модель непередбачених витрат, яка враховує фактори ризику вартості, часу та якості. Значення непередбачених витрат цієї моделі становило 9,61% від загальної вартості, коли її застосували до тематичного дослідження. Зокрема, цей висновок знаходиться в межах від 5% до 10%, що є адекватним та узгоджується з емпіричним підходом. Ця модель непередбачених витрат вважається більш раціональною, оскільки вона враховує ризики проекту, включаючи ймовірність потенційних ризиків, а також їх наслідки. Команда проекту може використовувати цей підхід для оцінки непередбачених витрат.

Ключові слова: будівельний проект, інтеграція ризиків, співвідношення витрат-час-якість, непередбачені витрати, ОГВ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329994

РОЗРОБКА МЕТОДУ СТРАТЕГІЧНО-ОРІЄНТОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ ІЗ УРАХУВАННЯМ ДІЇ ЧИННИКІВ РИЗИКУ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ (с. 57–66)

Т. А. Воркут, Л. М. Волинець

Об'єктом дослідження є процес стратегічно-орієнтованого оцінювання діяльності працівника організації, задіяного у наданні логістичних послуг внутрішнім і/або зовнішнім клієнтам (споживачам) організації, із урахуванням дії чинників ризику та невизначеності. Проблема, яка вирішується в дослідженні, – підвищення ефективності рішень (за визначеним критерієм оптимізації) у сфері управління логістичним персоналом в організації на основі подальшого розвитку методологічних підходів до оцінювання діяльності логістичного персоналу.

Розроблено структурну модель інтегрального показника для стратегічно-орієнтованого оцінювання діяльності працівника організації, задіяного у наданні логістичних послуг. Модель ієрархічної структурної будови передбачає встановлення зв'язку системи оцінювання діяльності логістичного персоналу зі стратегічними цілями організації.

Також у дослідженні розроблено математичну модель інтегрального показника для стратегічно-орієнтованого оцінювання діяльності працівника організації, задіяного у наданні логістичних послуг, із урахуванням дії чинників ризику та невизначеності. Запропоновано порядок взаємодії зазначених моделей, завдяки чому був запропонований метод стратегічно-орієнтованого оцінювання діяльності логістичного персоналу із урахуванням дії чинників ризику та невизначеності.

Застосування методу дозволить формувати інтегральні і комплексні показники для оцінювання діяльності логістичного персоналу, спрямовані на досягнення стратегічних цілей організації. Зазначене також дозволить визначати загальні напрями і вибудовувати індивідуальні траєкторії, для навчання та розвитку логістичного персоналу. Зазначений метод доцільно використовувати при розробці програмного забезпечення з планування логістичної діяльності підприємств.

Ключові слова: стратегічно-орієнтоване оцінювання діяльності персоналу, логістичний персонал, функціональні сфери логістики.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326135

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ (с. 67–77)

Muhammad Amin, Syahril Efendi, Mahyuddin K. M. Nasution, Marischa Elveny

Проблема маршрутизації транспортних засобів з обмеженою пропускною здатністю та залежними від часу вимогами є значною проблемою оптимізації в галузі логістики та транспорту, що характеризується динамічними вимогами клієнтів, суворими часовими вікнами та неоднорідними автопарками. Це дослідження зосереджено на міських операціях доставки посилок як на основному об'єкті дослідження. Розглянута проблема полягає в неефективності традиційних стратегій маршрутизації транспортних засобів в адаптації до змінних у часі вимог клієнтів та операційних обмежень, що часто призводить до збільшення витрат та затримок обслуговування. Це дослідження має на меті мінімізувати загальні операційні витрати, забезпечуючи при цьому дотримання обмежень пропускної здатності, безперервність обслуговування та коливання попиту. Розроблено комплексну математичну модель на основі повністю зв'язаного, орієнтованого ациклічного графа $G = (V, A)$, що включає змінні рішення, що представляють послідовності маршрутизації транспортних засобів, час та призначення типів транспортних засобів. Це дослідження розглядає проблему маршрутизації транспортних засобів з обмеженою пропускною здатністю та залежними від часу вимогами у міській доставці посилок, де традиційні методи маршрутизації мають труднощі з динамічними вимогами та операційними обмеженнями. Розроблено математичну модель з використанням орієнтованого ациклічного графа, оптимізовану за допомогою градієнтного методу з наближенням Гессе, розкладанням LU та квазіньютонівськими методами. Експерименти на наборах даних з кількістю клієнтів до 200 та 20 транспортними засобами зі скороченнями від 1,79% до 12,75%. Найбільш значне покращення спостерігалось в Сідораме Тімур, де відстань оптимізації зменшилася на 12,75%, що свідчить про високу точність оптимізації маршруту. Для задачі про покриття множини запропонований алгоритм досяг покращення якості рішення на 6,46% порівняно з традиційними жадібними алгоритмами.

Ключові слова: оптимізація, машинне навчання, покриття множини, проблема маршрутизації транспортних засобів, вартість.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330363

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТІВ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ (с. 78–85)

Д. С. Захаров, О. Ю. Палант, О. А. Проскурнін, К. В. Белоконь, О. М. Красноштан, С. В. Цимбал

Об'єктом дослідження є маршрутна мережа громадського транспорту. Розглянуто проблему вибору оптимальних транспортних маршрутів. Існуючі наукові дослідження в цій галузі спрямовані, головним чином, на підвищення його надійності та зниження економічних ризиків, а соціальні та екологічні аспекти розглядаються окремо, не в прив'язці до техніко-економічних питань. В дослідженні запропоновано комплексний підхід до вирішення проблеми роботи міського транспорту. Для розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації транспортної мережі запропоновано використання методу аналізу ієрархій (MAI), який базується на експертних оцінках. Побудована ієрархічна структура проблематики вибору маршрутів. Визначені три критерію оптимізації, а також десять факторів впливу на обрані критерії. Комплексний підхід до вибору маршрутів міського електротранспорту дозволить за мінімальних капіталовкладень і експлуатаційних витрат сприяти нормальній життєдіяльності міст. Особливо це актуально для України, яка у повоєний період внаслідок демографічних змін та змін у місцевій інфраструктурі зіткнеться із необхідністю кардинального перегляду режиму роботи громадського транспорту.

Перевагою MAI поперед іншими експертними методами є складна ієрархічна структура причинно-наслідкових зв'язків між вибором оптимуму та альтернативними варіантам, а також наявність механізму внутрішнього контролю узгодженості експертних суджень.

Порядок використання MAI продемонстровано на прикладі оптимізації транспортного зв'язку двох районів міста Харкова (Україна). Був розглянутий існуючий трамвайний маршрут, а також альтернативні варіанти. Оптимальним за техніко-економічним, соціальним та екологічним критеріями обраний варіант, який складається з одного трамвайного та одного тролейбусного маршруту.

Ключові слова: громадський електротранспорт, маршрут, багатокритеріальна оптимізація, метод аналізу ієрархій, критерії оптимізації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326193**ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БІЧНОГО КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТИПУ 2 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТРАЕКТОРНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ В АВТОНОМНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ (с. 86–104)****Bhakti Yudho Suprpto, Suci Dwijayanti, Muhammad Irvin Fadillah**

У цьому дослідженні основна увага приділяється системі бокового керування автономними транспортними засобами з використанням рульового керування. Головна мета полягає в тому, щоб забезпечити постійне утримання транспортного засобу на правильному шляху. Існуючі методи залишаються обмеженими, оскільки вони часто припускають ідеальні дорожні умови без перешкод або динамічних об'єктів. Щоб усунути це обмеження, в цьому дослідженні аналізується керування кутом повороту керма для автономних транспортних засобів у неструктурованих середовищах з потенційними перешкодами. У ньому зокрема аналізується застосування нечіткого логічного контролера типу 2 (НЛК типу 2) для керування кермом, використовуючи вхідні значення у вигляді похибки та дельта-помилки. Ці значення обчислюються з різниці між згенерованим виходом та кутом повороту керма, виміряним імпульсним енкодером, встановленим на кермі. НЛК типу 2 продемонстрував високу точність у тестах на уникнення перешкод: 1,54% (людина), 4,28% (один автомобіль), 1,2% (два об'єкти ліворуч) та 2,13% (два ліворуч, один праворуч). Натомість, ПІД-контролер показав вищі показники помилок: 2,19%, 3,49%, 1,12% та 3,49% відповідно. Повне тестування маршруту показало середню похибку прямого маршруту 8,87% для НЛК типу 2 та 12,35% для ПІД-контролера. На зворотному маршруті НЛК типу 2 зафіксував похибку 4,52%, тоді як ПІД-контролер показав 7,57%. Загалом, НЛК типу 2 досяг нижчого рівня похибок та кращої точності, ніж ПІД-контролер, особливо в динамічних умовах. Ці результати підкреслюють ефективність НЛК типу 2 у покращенні продуктивності автономного транспортного засобу та точності керування. Його низькі значення похибки вказують на чудові можливості відстеження шляху, що ефективно відповідає меті дослідження.

Ключові слова: автономний транспортний засіб, НЛК типу 2, ПІД-керування, кут повороту керма, функція належності, маневри.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329830**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПРИЙНЯТИХ ОБМЕЖЕНЬ ШВИДКОСТІ НА УМОВИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ (с. 105–114)****О. В. Рябушенко, І. С. Наглюк, С. В. Данець, М. В. Баглай**

Об'єктом дослідження є режим руху та результати поїздки автомобіля на дорожній мережі великого міста в різних умовах обмеження швидкості. Вирішувалася проблема кількісної оцінки впливу обмежень швидкості при здійсненні поїздки на середню швидкість на маршруті, а також на показники нерівномірності режиму руху.

Були отримані значення таких параметрів руху, як середня швидкість, відхилення середньої швидкості, шум прискорення, градієнт швидкості, градієнт енергії при різних значеннях встановленого обмеження швидкості (PSL). Були побудовані графіки зміни середньої швидкості та показників нерівномірності швидкісного режиму та запропоновані математичні моделі залежності середньої швидкості на міських маршрутах від прийнятого обмеження швидкості. Результати показали збільшення середньої швидкості на маршруті в середньому на 2,4 км/год при збільшенні PSL на 10 км/год. При цьому залежність середньої швидкості від PSL має нелінійний характер та показує зменшення впливу фактору обмеження швидкості при більш високих значеннях PSL (від 3,5 км/год для PSL біля 50 км/год до 1,24 км/год для PSL біля 80 км/год). Збільшення PSL не впливає на питомий час в русі та приводить до збільшення питомого часу простою. Зі збільшенням PSL відбувається збільшення шуму прискорення та градієнту енергії. Збільшення середньої швидкості пояснюється можливістю збільшити швидкість на ділянках маршруту з низькою завантаженістю, але збільшенням PSL зменшується можливість реалізувати підвищену швидкість, а сам режим руху стає більш нерівномірним.

Дослідження проводилися методом «їздової лабораторії» на трьох різних маршрутах в умовах обмеження швидкості від 50 до 80 км/год. Режим руху автомобіля фіксувався у вигляді GPS-треків. Результати можуть бути використані для оцінки впливу зміни PSL на техніко-економічні показники роботи міського автомобільного транспорту. Також результати будуть корисними при проведенні інформаційної компанії та пропаганди серед водіїв культури дотримання встановленого в містах швидкісного режиму.

Ключові слова: обмеження швидкості, середня швидкість, швидкісний режим, шум прискорення, градієнт швидкості, GPS-трек.