

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365568

DEVISING A MULTI-CRITERION APPROACH TO FORMING A PORTFOLIO OF TERRITORIAL COMMUNITY PROJECTS ON THE BASIS OF PUBLIC PARTICIPATION (p. 6–20)

Tatiana Vorkut

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

Vitalii Kharuta

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8897-7558>

Anna Kharchenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8166-6389>

Yurii Lushchay

All-Ukrainian Association of Road Transport Employers' Organizations "Ukravtotrans", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-7400>

Yuliia Bozhok

All-Ukrainian Association of Road Transport Employers' Organizations "Ukravtotrans", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8956-2539>

Yuliia Artemchuk

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3872-7745>

This study investigates the process of forming and optimizing the structure of the public participation project portfolio (public budget) of a territorial community given the multi-vector nature of residents' requests and limited resource provision. The results aim to solve the task of ensuring the overall quality and balance in the formation of participatory budgets. This is achieved through the automated selection of innovative and social initiatives that correspond to the specificity and level of their funding.

A method of situational structuring of the public participation project portfolio by categories of thematic areas as sub-portfolios has been devised. Compared to conventional approaches, which are usually based on only one criterion of direct rating voting, the proposed approach is based on multi-criteria selection and situational adaptation of the portfolio architecture. The approach algorithm uses a combination of evaluation of the results of mathematical modeling using non-parametric statistics and the AHP method. This is explained by the fact that the multi-criteria structuring method allows for a better integrated result compared to traditional approaches.

The approach was tested on the basis of a set of real projects in three thematic areas. According to the test results, it was found that the integrated indicator of the socio-strategic effect of the portfolio using the cross-matrix model is 21% higher than when using the conventional rating selection. The efficiency of budget use increased by 11%.

Such results indicate the possibility of effective application of the designed toolset in practice for automating and eliminating subjective factor in the distribution of large arrays of participatory budget funds by local governments.

Keywords: set of initiatives, situational structuring, Kruskal-Wallis criterion, rank correlation, AHP method.

References

- Arancibia-Carvajal, S., Petit-Laurent, F., Troncoso, M. P., Vargas-Vargas, M. (2022). Proposal of a Multi-Criteria Model for the Evaluation of Territorial Development Plans: An Application in Chile's Lagging

- Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (18), 11312. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811312>
- Barbati, M., Figueira, J. R., Greco, S., Ishizaka, A., Panaro, S. (2023). A multiple criteria methodology for priority based portfolio selection. *Socio-Economic Planning Sciences*, 88, 101595. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101595>
- Steyvers, K., Haesevoets, T., Roets, A., Verschuere, B., Wauters, B., Berkvens, L. et al. (2026). Between legitimacy and favorability – comparing perspectives of democratic stakeholders in local participatory arrangements. *International Journal of Public Sector Management*, 1–22. <https://doi.org/10.1108/ijpsm-10-2025-0458>
- Mavrotas, G., Makryvelios, E. (2023). R&D project portfolio selection using the Iterative Trichotomic Approach in order to study how subjectivity of the weights is reflected in the selected projects of the final portfolio. *Operational Research*, 23 (3). <https://doi.org/10.1007/s12351-023-00785-7>
- Gallozzi, T., Micangeli, F., Bricca, D., Groppi, D., Astiaso Garcia, D. (2026). Multi Criteria Decision Making for Distributed Renewable Energy Systems: A Review of Methods, Criteria Selection and Weighting Techniques. <https://doi.org/10.20944/preprints202604.1661.v1>
- Santolamazza, V., Grossi, G., Mattei, G. (2025). The seesaw experience of participatory budgeting: the role of the institutional entrepreneur. *International Journal of Public Sector Management*, 1–20. <https://doi.org/10.1108/ijpsm-10-2024-0328>
- Smaniotto Costa, C., García-Esparza, J. A., Kimic, K. (2024). Participatory Budgeting and Placemaking: Concepts, Methods, and Practices. *Urban Planning*, 9. <https://doi.org/10.17645/up.7162>
- Umoh, A. A., Ohenhen, P. E., Chidolue, O., Ngozichukwu, B., Fafure, A. F., Ibekwe, K. I. (2024). Incorporating energy efficiency in urban planning: A review of policies and best practices. *Engineering Science & Technology Journal*, 5 (1), 83–98. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i1.729>
- Rosy Rochmatullah, M., Nur Probodudono, A., Rahmawati, R., Wijayanti Daniar Paramita, R., Badriyah, N. (2023). Local government competitiveness analysis using the perspective of organizational excellence: Evidence from Indonesia. *Problems and Perspectives in Management*, 21 (2), 356–370. [https://doi.org/10.21511/ppm.21\(2\).2023.35](https://doi.org/10.21511/ppm.21(2).2023.35)
- Aljabri, B., Aburas, H. M., Alkahtani, M., Almalki, A., Alharthy, A. (2024). Methodological approaches in prioritizing municipal projects: A case study of the municipality of the holy capital (Makkah). *Journal of Infrastructure Policy and Development*, 8 (15), 9664. <https://doi.org/10.24294/jipd9664>
- Espósito, G., Terlizzi, A., Guarino, M., Crutzen, N. (2023). Interpreting digital governance at the municipal level: Evidence from smart city projects in Belgium. *International Review of Administrative Sciences*, 90 (2), 301–317. <https://doi.org/10.1177/00208523231167538>
- Rezende, D. A., Almeida, G. G. F., Fumagalli, L. A. W. (2024). Strategic Digital City: Multiple Projects for Sustainable Urban Management. *Sustainability*, 16 (13), 5450. <https://doi.org/10.3390/su16135450>
- Qiu, B., Dou, Y., Chen, Z. (2024). Optimizing Multi-Stage Project Portfolio Selection Considering Integrating Lifecycle and Interactions. *Systems*, 12 (10), 414. <https://doi.org/10.3390/systems12100414>
- Omweri, F. S. (2024). A systematic literature review of e-government implementation in developing countries: Examining urban-rural disparities, institutional capacity, and socio-cultural factors in the context of local governance and progress towards SDG 16.6. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8 (8), 1173–1199. <https://doi.org/10.47772/ijriss.2024.808088>
- Kaiser, Z. R. M. A. (2024). Smart governance for smart cities and nations. *Journal of Economy and Technology*, 2, 216–234. <https://doi.org/10.1016/j.ject.2024.07.003>
- Gasco-Hernandez, M., Nasi, G., Cucciniello, M., Hiedemann, A. M. (2022). The role of organizational capacity to foster digital trans-

formation in local governments: The case of three European smart cities. *Urban Governance*, 2 (2), 236–246. <https://doi.org/10.1016/j.ugj.2022.09.005>

17. Li, Z., Wu, F., Zhang, F. (2021). A multi-scalar view of urban financialization: urban development and local government bonds in China. *Regional Studies*, 56 (8), 1282–1294. <https://doi.org/10.1080/00343404.2021.1998419>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365174

ADAPTATION OF KNOWLEDGE MANAGEMENT MODELS IN PROJECT AND OPERATIONAL ACTIVITIES OF AN ORGANIZATION FOR SOFTWARE IMPLEMENTATION (p. 21–28)

Denys Robotko

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7301-0509>

Olena Kovalenko

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2864-9058>

This study investigates knowledge management processes involving highly qualified personnel at enterprises engaged in project and operational activities. The task addressed is to adapt knowledge management models for further implementation in software modules of an information system. Special attention has been paid to intellectual projects, which include software development at software engineering enterprises and knowledge management during their project and operational activities.

At the meso level, a dynamic model was built, based on a system of differential equations, which describes the rate of change in the integrated level of knowledge by the project team. At the microlevel, a model for assessing the effectiveness of corporate training was constructed. A special feature of the models is the transition from a descriptive description (such as the SECI model) to an analytical calculation of cognitive processes by integrating pure rates of knowledge exchange and formalized digital traces of specialists.

The results of model construction for assessing learning outcomes are attributed to the combination of the classical Ebbinghaus forgetting exponent and a linear function of the level of practical activity intensity, in which the cognitive memory fading indicator decreases inversely proportionally through performing verified operations in various instrumental environments.

Conditions for the practical application of models are their implementation in specialized HR analytics software modules with REST API support for automated metric collection. Analytical solution of models based on open industry data confirmed their adequacy. Thus, the calculation results indicate that under the condition of active internal learning, the developer approaches the target expert level in less than a year. Experimental modeling of learning outcomes for conditions of lack of practice recorded a degradation of skills up to 22% after 6 months, while regular performance of operations ensures the preservation of competencies at the level of 98%.

The constructed mathematical and visual models of knowledge management ready for implementation could lay the groundwork for developing special software and practical cases for knowledge management specialists.

Keywords: knowledge management, automation of personnel management, software engineering, knowledge retention, IT project knowledge monitoring, forgetting curve.

References

1. King, W. R. (2009). *Knowledge Management and Organizational Learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0011-1>
2. Nonaka, I., Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press.

3. Bratianu, C., Bejinaru, R. (2020). Knowledge dynamics: a thermodynamics approach. *Kybernetes*, 49 (1), 6–21. <https://doi.org/10.1108/k-02-2019-0122>
4. Huang, J.-J., Chen, C.-Y. (2025). Knowledge Flow Dynamics in Organizations: A Stochastic Multi-Scale Analysis of Learning Barriers. *Mathematics*, 13 (2), 294. <https://doi.org/10.3390/math13020294>
5. Cress, U., Kimmerle, J. (2008). A systemic and cognitive view on collaborative knowledge building with wikis. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 3 (2). <https://doi.org/10.1007/s11412-007-9035-z>
6. Alvarenga, A., Matos, F., Godina, R., C. O. Matias, J. (2020). Digital Transformation and Knowledge Management in the Public Sector. *Sustainability*, 12 (14), 5824. <https://doi.org/10.3390/su12145824>
7. Di Vaio, A., Palladino, R., Pezzi, A., Kalisz, D. E. (2021). The role of digital innovation in knowledge management systems: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 123, 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.042>
8. Gurusinghe, R. N., Arachchige, B. J. H., Dayarathna, D. (2021). Predictive HR analytics and talent management: a conceptual framework. *Journal of Management Analytics*, 8 (2), 195–221. <https://doi.org/10.1080/23270012.2021.1899857>
9. Yadav, R. K. (2025). Modeling Memory Retention with Ebbinghaus's Forgetting Curve and Interpretable Machine Learning on Behavioral Factors. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.174495325.58680708/v1>
10. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66 (1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
11. Pelánek, R. (2016). Applications of the Elo rating system in adaptive educational systems. *Computers & Education*, 98, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.017>
12. Tyndale, P. (2002). A taxonomy of knowledge management software tools: origins and applications. *Evaluation and Program Planning*, 25 (2), 183–190. [https://doi.org/10.1016/s0149-7189\(02\)00012-5](https://doi.org/10.1016/s0149-7189(02)00012-5)
13. 2023 Training Industry Report. Available at: <https://trainingmag.com/2023-training-industry-report>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357222

PRIORITIZING CONSTRUCTION DELAY TYPES AND MITIGATION STRATEGIES USING AN INTEGRATED RCA-FAHP-RII FRAMEWORK (p. 29–40)

Amir

National Institute of Technology, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2067-5960>

Sutanto Hidayat

National Institute of Technology, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2706-7550>

Jimmy

National Institute of Technology, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0393-9406>

The object of this study is completed road construction projects in East Kalimantan that experienced negative schedule deviations during the 2022–2024 period. The problem addressed in this study is the persistence of construction delays that remain unresolved despite the frequent application of time extensions, indicating systemic weaknesses in planning, control, and governance. The results show that the most significant delay factors from RCA (root cause analysis) are weak project control and operational planning, unreliable material and procurement supply chains, unstable productivity in critical on-site activities, and unanticipated external constraints. The fuzzy analytics hierarchy process (FAHP) results indicate that the adoption of digital-based project management and scheduling systems is the most effective mitigation strategy, achieving the highest synthesis score of 0.599 compared to other alternatives. This result is further supported by sensitivity analysis, confirming the stability of the ranking. From the relative importance

index (RII) analysis, weather-related factors emerge as the most significant contributors to delays, with a factor-level score of 0.729, followed by time factors (0.662) and equipment factors (0.643). At the indicator level, delays in material delivery show the highest individual impact, with an RII value of 0.779. Overall, five out of six major delay factor groups fall within the "high importance" category, highlighting the dominant role of systemic and operational issues rather than isolated technical problems. These results are explained by deficiencies in preventive planning and integrated control mechanisms, which lead to delayed decision-making and reactive project management practices. The distinctive feature of the proposed results lies in the integration of causal identification, priority weighting, and policy-oriented decision support, enabling delays to be addressed systematically rather than administratively. The results can be applied by public infrastructure agencies using digital scheduling systems, performance-based evaluations, and stronger accountability mechanisms, especially in regions with fast infrastructure development.

Keywords: construction delay, FAHP, project management, RCA, RII, road construction.

References

- Pramesti, N. P., Basuki, I. (2025). Challenges and Opportunities in Managing Large-Scale Infrastructure Projects: The Case of Indonesia's New Capital Nusantara. *Jurnal Teknik Sipil*, 25 (2), 1930–1943. <https://doi.org/10.26418/jts.v25i2.92564>
- Peraturan Gubernur Provinsi Kalimantan Timur Nomor 06 Tahun 2024 tentang Tata Cara Pemberian Kesempatan Menyelesaikan Pekerjaan Melampaui Tahun Anggaran (2024). Available at: <https://peraturan.bpk.go.id/Download/348605/Pergub%20Kaltim%206-2024%20ttg%20Tata%20Cara%20Pemberian%20Kesempatan%20Menyelesaikan%20Pekerjaan%20Melampaui%20Tahun%20Anggaran.pdf>
- Mekanisme Pelaksanaan Anggaran atas Pekerjaan yang Belum Diselesaikan pada Akhir Tahun Anggaran (2023). Available at: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/271188/pmk-no-109-tahun-2023>
- Irawan, J. (2025). Analysis of The Delay in The Implementation of Toll Road Project Work. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 5 (2), 1499–1508. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v5i2.1716>
- Junata, H., Jumas, D. Y., Rita, E. (2025). Factors Causing Delays in Road Construction Projects in Kerinci Regency. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4 (3), 4528–4535. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2667>
- Antoniou, F. (2021). Delay Risk Assessment Models for Road Projects. *Systems*, 9 (3), 70. <https://doi.org/10.3390/systems9030070>
- Ovalle, O. R., Correa-Cepeda, D., Estrada-Cifuentes, J. P., Mopan, Y. A. (2024). Analysis and prioritisation of critical delay factors in construction projects: A Colombian case. *Organization, Technology and Management in Construction: An International Journal*, 16 (1), 237–250. <https://doi.org/10.2478/otmcj-2024-0017>
- Nassar, N. K. (2009). An integrated framework for evaluation of performance of construction projects. *PMI® Global Congress*. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/evaluation-performance-construction-projects-6751>
- Devi, L. P., Sindhu (2025). Delay Analysis of Infrastructure Construction Projects in India. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 106 (3), 763–771. <https://doi.org/10.1007/s40030-025-00899-5>
- Rauf, R., Wulandari, L. K., Manaha, Y. P. (2023). Performance Evaluation of Supervisory Consultants on Road Reconstruction Projects in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 7 (2). Available at: <https://ijses.com/wp-content/uploads/2023/02/22-IJSSES-V7N2.pdf>
- Florez, L., Castro, D., Medaglia, A. L. (2012). Maximizing Labor Stability As a Sustainability Performance Indicator in Project Scheduling. *Construction Research Congress 2012*, 465–474. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.047>
- Florez, L., Castro-Lacouture, D., Medaglia, A. L. (2013). Sustainable workforce scheduling in construction program management. *Journal of the Operational Research Society*, 64 (8), 1169–1181. <https://doi.org/10.1057/jors.2012.164>
- Berta, K. K., Tesfaye, M. (2025). Determinants of road construction project delay in the case of Woliso-Amba road construction. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86852-9>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Mejía, G. (2025). Deficiencies causes in road construction scheduling: Perspectives from construction professionals. *Heliyon*, 11 (2), e41514. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41514>
- Fais, Y. R., Soetjipto, J. W., Widayanto, E. (2025). Handling Strategy of Project Road Reconstruction Delays. *Selected Articles from the 8th International Conference on Architecture and Civil Engineering*, 740–755. https://doi.org/10.1007/978-981-96-5654-7_68
- van der Meer, J., Hartmann, A., van der Horst, A., Dewulf, G. (2019). Multi-criteria decision analysis and quality of design decisions in infrastructure tenders: a contractor's perspective. *Construction Management and Economics*, 38 (2), 172–188. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1577559>
- Assaf, S. A., Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24 (4), 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K. C., Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 30 (4), 479–489. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.004>
- Ram, A., Paul, D. P. (2015). Study on construction sequence delay for road infrastructure projects. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12 (2), 15–21. Available at: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol12-issue2/Version-6/D012261521.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361917

DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO MANAGING TRANSPORT LOGISTICS AT A CONSTRUCTION SITE (p. 41–53)

Pavlo Pasieka

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8675-7300>

Oleksii Panko

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3886-8476>

Nataliia Poltorachenko

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2238-6130>

Svitlana Terenchuk

Kyiv National University
of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6527-4123>

Bohdan Yeremenko

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3734-0813>

This study investigates the process that forms a vehicle route in a complex logistics environment. The task addressed relates to the lack of a full-fledged logic in autonomous decision-making regarding operational routing in specialized logistics systems.

An analysis of modern transport logistics management systems revealed their limitations in terms of the efficiency and explainability of the logic of autonomous decision-making regarding route replanning. An approach to route formation has been devised that combines the modified A* algorithm, multi-agent reinforcement learning, and spatio-temporal graph convolutional networks (STGCNs).

Distinctive features of this approach are the combination of spatial-temporal forecasting, multi-agent decision-making, and modular system architecture, which provides adaptability, scalability, resistance to communication degradation, as well as explainability of transport routing decisions in closed reconfigurable networks.

Experimental comparison of the devised approach and analogs based on A* and STGCN, carried out on a simulation model of the logistics environment at a construction site in residential area, showed its statistical superiority in terms of the route travel time criterion. With a threshold of this criterion of 300 s, the proposed approach achieved this indicator in 90% of cases, and the approaches based on STGCN and A* – in 79% and 57% of cases. In this case, the value of the 95th percentile was 310 s, 360 s, and 410 s for the proposed approach, STGCN, and A*. These results are explained by the combination of network state prediction and adaptive route replanning.

The findings could be used in the design of intelligent transport logistics management systems at other facilities with dynamic transport infrastructure.

Keywords: A*, construction logistics, hexagonal environment model, machine learning, multi-agent, STGNN.

References

- Nguyen, H. A. D., Ha, Q. P. (2022). Robotic autonomous systems for earthmoving equipment operating in volatile conditions and teaming capacity: a survey. *Robotica*, 41 (2), 486–510. <https://doi.org/10.1017/s0263574722000339>
- Mazurenko, R., Yeremenko, B. (2024). Intelligent traffic management system of a big city: ontology concept "decision models". *Management of Development of Complex Systems*, 57, 174–180. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.57.174-180>
- Bortolini, R., Formoso, C. T., Viana, D. D. (2019). Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. *Automation in Construction*, 98, 248–264. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.031>
- Whitlock, K., Abanda, F. H., Manjia, M. B., Pettang, C., Nkeng, G. E. (2021). 4D BIM for Construction Logistics Management. *CivilEng*, 2 (2), 325–348. <https://doi.org/10.3390/civileng2020018>
- Jiang, Y., Li, M., Li, M., Liu, X., Zhong, R. Y., Pan, W., Huang, G. Q. (2022). Digital twin-enabled real-time synchronization for planning, scheduling, and execution in precast on-site assembly. *Automation in Construction*, 141, 104397. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104397>
- Choudhary, A. (2024). Internet of Things: a comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions. *Discover Internet of Things*, 4 (1). <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3>
- Tuhaise, V. V., Tah, J. H. M., Abanda, F. H. (2023). Technologies for digital twin applications in construction. *Automation in Construction*, 152, 104931. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104931>
- Le, T., Fan, R. (2023). Digital Twins for Logistics and Supply Chain Systems: Literature Review, Conceptual Framework, Research Potential, and Practical Challenges. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4516184>
- de Carvalho, J. P., Dimitrakopoulos, R. (2021). Integrating Production Planning with Truck-Dispatching Decisions through Reinforcement Learning While Managing Uncertainty. *Minerals*, 11 (6), 587. <https://doi.org/10.3390/min11060587>
- Yeremenko, B., Mazurenko, R., Stetsyk, O., Buhrov, A. (2023). Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. *TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology*, 33–42. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_4
- Lin, K., Zhao, R., Xu, Z., Zhou, J. (2018). Efficient Large-Scale Fleet Management via Multi-Agent Deep Reinforcement Learning. *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 1774–1783. <https://doi.org/10.1145/3219819.3219993>
- Duszek, P., Siemiątkowska, B., Więckowski, R. (2021). Hexagonal Grid-Based Framework for Mobile Robot Navigation. *Remote Sensing*, 13 (21), 4216. <https://doi.org/10.3390/rs13214216>
- Zhang, Z., Zhang, J., Zhao, Y., Zhu, Z., Guo, J. (2024). A novel hexagonal grid map model and regenerated heuristic factor based strategy for intelligent manufacturing system's AGV path planning problem solving. *Computers & Industrial Engineering*, 192, 110154. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110154>
- Schrader, M., Kumar, N., Collignon, N., Sörig, E., Yoon, S., Srivastava, A. et al. (2023). Modelling the performance of delivery vehicles across urban micro-regions to accelerate the transition to cargo-bike logistics. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.12887>
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1 (1), 269–271. <https://doi.org/10.1007/bf01386390>
- Hart, P., Nilsson, N., Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4 (2), 100–107. <https://doi.org/10.1109/tssc.1968.300136>
- Stentz, A. (1995). The focussed D* algorithm for real-time replanning. In *IJCAI'95: Proceedings of the 14th international joint conference on Artificial intelligence*, 1652–1659. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1643031.1643113>
- Koenig, S., Likhachev, M., Furcy, D. (2004). Lifelong Planning A*. *Artificial Intelligence*, 155 (1-2), 93–146. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2003.12.001>
- Koenig, S., Likhachev, M. (2002). D*Lite. Eighteenth national conference on Artificial intelligence, 476–483. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/777092.777167>
- Busoniu, L., Babuska, R., De Schutter, B. (2008). A Comprehensive Survey of Multiagent Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 38 (2), 156–172. <https://doi.org/10.1109/tsmcc.2007.913919>
- Yu, C., Velu, A., Vinitzky, E., Gao, J., Wang, Y., Bayen, A., Wu, Y. (2022). The Surprising Effectiveness of PPO in Cooperative Multi-Agent Games. *Advances in Neural Information Processing Systems* 35, 24611–24624. <https://doi.org/10.52202/068431-1787>
- Yu, J., LaValle, S. (2013). Structure and Intractability of Optimal Multi-Robot Path Planning on Graphs. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 27 (1), 1443–1449. <https://doi.org/10.1609/aaai.v27i1.8541>
- Rashid, T., Samvelyan, M., de Witt, C. S., Farquhar, G., Foerster, J., Whiteson, S. (2018). QMIX: Monotonic value function factorisation for deep multi-agent reinforcement learning. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.11485>
- Lowe, R., Wu, Y., Tamar, A., Harb, J., Abbeel, P., Mordatch, I. (2017). Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.02275>
- Li, Y., Yu, R., Shahabi, C., Liu, Y. (2018). Diffusion Convolutional Recurrent Neural Network: Data-Driven Traffic Forecasting. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.01926>
- Yu, B., Yin, H., Zhu, Z. (2018). Spatio-Temporal Graph Convolutional Networks: A Deep Learning Framework for Traffic Forecasting. *Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 3634–3640. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2018/505>
- Wu, Z., Pan, S., Long, G., Jiang, J., Zhang, C. (2019). Graph WaveNet for Deep Spatial-Temporal Graph Modeling. *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1907–1913. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/264>
- Zhu, J., Wang, Q., Tao, C., Deng, H., Zhao, L., Li, H. (2021). AST-GCN: Attribute-Augmented Spatiotemporal Graph Convolutional Network for Traffic Forecasting. *IEEE Access*, 9, 35973–35983. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3062114>
- Likhachev, M., Gordon, G., Thrun, S. (2003). ARA*: anytime A* with provable bounds on sub-optimality. *NIPS'03: Proceedings of the 17th International Conference on Neural Informa-*

tion Processing Systems. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2981345.2981441>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361146
DESIGN OF AN INFORMATION AND COMPUTER SYSTEM FOR AUTOMATED CONTROL OVER TRANSPORT FLOWS AT MACHINERY AND INSTRUMENT MANUFACTURING ENTERPRISES (p. 54–64)

Irina Cherepanska

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0741-7194>

Artem Sazonov

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7124-5863>

Dmytro Tereshchenko

National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2710-3857>

Petro Melnychuk

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7071-651X>

Dmytro Melnychuk

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9918-0608>

Sergii Kalchuk

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3179-2787>

Valery Yanovsky

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3540-3942>

Yurii Honcharenko

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2631-2956>

Oleh Sokolovskyi

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8440-7462>

Liudmyla Savchenko

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7689-4982>

This study investigates the process of managing transport flows at machine-building and instrument-building enterprises. The task addressed relates to the need for fast and effective information processing and making correct and justified logistics decisions, their automated adjustment in real time throughout the entire production life cycle.

To that end, an information and computer system (ICS) has been designed for automated management of transport flows at machine-building and instrument-building enterprises. Its operation is to determine, coordinate, and adjust technological routes for a set of transportation means (TrMs) under an automated mode and in real time when organizing production environment. It is noteworthy that the newly designed ICS covers both internal and external shop logistics levels, ensuring synchronization of territorially distributed elements of flexible production systems of machine-building and instrument-building.

Owing to the use of the ant algorithm for task distribution between TrMs and the modified A* algorithm with spatial-temporal

graph expansion, the ICS capability to make operational decisions based on the "concept of compromises" has been implemented. The newly designed ICS also demonstrates high performance – preventing deadlocks in 24.9 ms and balancing the TrMs load in 500 ms.

In addition, it has been experimentally proven that the total length of technological routes has been reduced by 1.3 times, and the idle runs of TrMs by 2.5 times. It is obvious that route optimization contributes to reducing the carbon footprint, which corresponds to the Sustainable Development Goals by 2030. Also, reducing the labor intensity of work and the intellectual load on the operator has an obvious social effect.

Keywords: information and computer system, automated transport flow control, metaheuristic optimization, flexible production system.

References

- Cherepanska, I., Sazonov, A., Melnychuk, P., Melnychuk, D., Kalchuk, S., Pryadko, V., Yanovsky, V. (2024). Design of an information-computer system for the automated modeling of systems for automatic orientation of production objects in the machine and instrument industries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (129)), 6–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306516>
- THE 17 GOALS. Available at: <https://sdgs.un.org/goals>
- Placzek, E., Osieczko-Potoczna, K. (2025). Importance of intralogistics solutions in a manufacturing company – research results. *Management*, 1, 343–361. <https://doi.org/10.58691/man/203796>
- Liu, R., Shin, S.-Y. (2025). A Review of Traffic Flow Prediction Methods in Intelligent Transportation System Construction. *Applied Sciences*, 15 (7), 3866. <https://doi.org/10.3390/app15073866>
- Goutham, M., Stockar, S. (2024). Resilient Fleet Management for Energy-Aware Intra-Factory Logistics. 2024 American Control Conference (ACC), 839–844. <https://doi.org/10.23919/acc60939.2024.10644599>
- Vzhesnievskiy, M., Chala, O. (2024). Automation of internal warehouse manufacturing logistics processes for the implementation of the industry 4.0 concept: energy saving, productivity, mobility, modularity, autonomy. *Control, Navigation and Communication Systems*, 2 (76). <https://doi.org/10.26906/sunz.2024.2.034>
- Nevliudov, I., Vzhesnievskiy, M., Romashov, Y., Chala, O. (2023). Mathematical modeling of mechatronic shuttles as automation objects for multilevel systems of intra-warehouse logistics. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (26), 135–144. <https://doi.org/10.30837/itssi.2023.26.135>
- Nevliudov, I., Maksymova, S., Chala, O., Bronnikov, A., Vzhesnievskiy, M. (2023). Automated Logistics Processes Improvement in Logistics Facilities. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 3 (3), 157–170. Available at: <https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/202>
- Wang, T., Hu, Q., Lim, A. (2022). An exact algorithm for two-dimensional vector packing problem with volumetric weight and general costs. *European Journal of Operational Research*, 300 (1), 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.10.011>
- Dorigo, M., Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1290.001.0001>
- Holovina, O. (2023). Modern technologies in transportation logistics management. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 2 (3), 35–42. <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20230203.04>
- Chung, S.-H. (2021). Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 153, 102455. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102455>
- Bulková, Z., Gašparík, J., Čamaj, J. (2025). Implementation of automated systems in logistics: The key to efficiency and environmental sustainability. *Transportation Research Procedia*, 87, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.04.100>
- Capua, M. D., Ciaramella, A., De Prisco, A. (2023). Machine Learning and Computer Vision for the automation of processes in advanced

logistics: the Integrated Logistic Platform (ILP) 4.0. *Procedia Computer Science*, 217, 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.228>

15. Padovano, A., Longo, F., Nicoletti, L., Mirabelli, G. (2018). A Digital Twin based Service Oriented Application for a 4.0 Knowledge Navigation in the Smart Factory. *IFAC-Papers On Line*, 51 (11), 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.389>
16. Cherepanska, I., Sazonov, A., Kyrychuk, Y., Melnychuk, P., Melnychuk, D., Nazarenko, N. et al. (2024). Design of an intelligent module for detecting signs of information security threats and the emergence of unreliable data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (132)), 49–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317000>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362728

DEFINING A RATIONAL LOCOMOTIVE MAINTENANCE SYSTEM CONSIDERING A COST-BASED RISK ACCEPTABILITY THRESHOLD (p. 65–75)

Borys Bodnar

Ukrainian State University
of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3591-4772>

Oleksandr Ochkasov

Ukrainian State University
of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7719-7214>

Tetiana Hryshechka

Ukrainian State University
of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1570-4150>

Oleksandr Zhovnirenko

Ukrainian State University
of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2832-2526>

This study examines a locomotive technical maintenance system, represented as a set of interconnected nodes with a predefined structure of dependent failures.

The task addressed is to determine a rational locomotive maintenance system in which the total costs for planned and unplanned repairs are minimal provided that the risk of failures does not exceed the limit level set by the "value at risk" criterion. A risk-oriented mathematical model for the construction of a rational maintenance system has been proposed, in which dependent failures are taken into account by "waves" of failures. An optimization problem has been stated to minimize the total costs for planned and unplanned repairs provided that the risk level is not exceeded.

To model dependent failures, a structure of node connections was constructed, which makes it possible to assess the risk of failure of nodes and the system as a whole, taking into account economic consequences.

Based on the results from modeling a set of maintenance strategies, a nonlinear nature of change in total costs with an increase in the permissible level of risk was revealed; a ranking of elements by the frequency of the need for repair impact was obtained. This is explained by the redistribution between planned and unplanned repairs when changing the adopted risk threshold. It is shown that taking into account dependent failures increases the cost estimate for the maintenance system compared to the independent failure model by 18–47% depending on the adopted risk threshold. A distinctive feature of the approach is the combination of the "value at risk" criterion with the consideration of dependent failures within a single strategy selection procedure, which provides a comparison of strategies on the "risk-cost" scale.

The results of the study could be used when planning the volume and frequency of maintenance and repair of a locomotive fleet.

The practical application is to establish the correspondence between the accepted acceptable risk level and a technical maintenance and repair (TM&R) strategy.

Keywords: locomotive, risk-oriented maintenance strategy, dependent failures, value at risk.

References

1. Puzyr, V., Datsun, Y., Obozny, O., Pyvo, V. (2019). Development of a repair technology for locomotive units on the basis of the theory of decision. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 12029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012029>
2. Bosov, A. A., Bodnar, E. B., Mosendz, A. I. (2001). Osnovnaya zadacha sovershenstvovaniya sistemy planovo-predupreditelnyh remontov lokomotivov. *Visnik Shidnoukr. nac. un-t*, 7 (41), 93–97.
3. Bobyl, V. V. (2016). Finansovi ryzyky bankiv: teoriya ta praktyka upravlinnia v umovakh kryzy. Dnipropetrovsk: Dnipropetr. nats. un-et zalizn. transp. imeni akad. V. Lazariana, 300.
4. Grenčík, J., Poprocký, R., Galliková, J., Volna, P. (2018). Use of risk assessment methods in maintenance for more reliable rolling stock operation. *MATEC Web of Conferences*, 157, 4002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815704002>
5. Szkoda, M., Satora, M. (2018). Assessment of the permissibility of the risk of changing the strategy for the maintenance of rail vehicles based on the example of a selected locomotive type. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 233 (9), 906–925. <https://doi.org/10.1177/0954409718819180>
6. Datsun, Y., Filatov, A. (2014). Investigation of failures of wheel pairs of locomotives in operation using fmea-methodology. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 147, 87–91. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.74610>
7. Matushevych, O. O. (2015). Udoskonalennia metodolohiyi systemy tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu tiahovykh pidstantsiy. Dnipropetrovsk: Dnipropetr. nats. un-t zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana, 295.
8. Puzyr, V., Krashenin, O., Datsun, Y., Obozny, O., Shapatina, O., Zadesenets, V. (2021). Choice of locomotive park maintenance strategy when introducing the service. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies"*, 1 (38), 14–23. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-14-2>
9. Belodedenko, S. V., Ibragimov, M. S. (2017). Voprosy periodichnosti kontrolej tehnikeskogo sostoyaniya mehanicheskikh sistem v metallurgii. Dnepr: LizunovPress, 78.
10. Falendysh, A. P., Chyhyryk, N. D., Sumtsov, A. L., Kletska, O. V. (2019). The choice of the strategy of technical operation of modernized shunting locomotives. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 43–50. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-2/7>
11. Babyak, M., Keršys, R., Neduzha, L. (2020). Improving the Dependability Evaluation Technique of a Transport Vehicle. *Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Pt. II. Kaunas*, 646–651.
12. Falendysh, A., Sumtsov, A., Artemenko, O., Klecka, O. (2016). Simulation of changes in the steady state availability factor of shunting locomotives for various maintenance systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (79)), 24–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.60640>
13. Bodnar, B., Bolzhelarskyi, Y., Ochkasov, O., Hryshechka, T., Černiauskaite, L. (2018). Determination of integrated indicator for analysis of the traffic safety condition for traction rolling stock. Paper presented at the 12th International Conference on Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems, ITELMS 2018. Panevėžys, 45–54.
14. Bodnar, B., Ochkasov, O., Bodnar, E., Hryshechka, T., Keršys, R. (2018). Safety performance analysis of the movement and operation of locomotives. *Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, 839–843.
15. Bodnar, B., Ochkasov, O., Ochkasov, M. (2021). Devising a procedure for calculating the technical condition index of locomotive nodes

- based on monitoring results. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (113)), 37–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242478>
16. Ochkasov, O. B., Ocheretniuk, M. V. (2021). Pidkhody do modelivannia systemy upravlinnia lokomotyvnykh parkom z urakhuvanniam ryzykiv. *Inzhynirnykh kryz ta ryzykiv transportnykh posluh: zb. dop. Mizhnar. nauk.-metod. konf. Mariupol*, 304–307. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Dmytro-Bugayko/publication/360962880_RIZIKI_AVIACIJNOGO_TRANSPORTU_V_UMOVAH_PANDEMII_COVID-19/links/6295c9f355273755e-bc4d859/RIZIKI-AVIACIJNOGO-TRANSPORTU-V-UMOVAH-PANDEMII-COVID-19.pdf
 17. Bosov, A. A., Loza, P. A. (2015). *Teoreticheskie osnovy racionalnogo sodержaniya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog. Dnepropetrovsk: Izdvo OOO predpriyatie "Driant"*, 252.
 18. Hryshechkina, T. (2017). Mathematical model of the rational maintenance system of railway transport technical objects. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 14, 30–35. <https://doi.org/10.15802/tsst2017/123165>
 19. Bodnar, B. E., Ochkasov, O. B., Hryshechkina, T. S., Bodnar, E. B. (2019). Choosing the system of locomotive maintenance in view of the effect of dependent failures. *Science and Transport Progress*, 6 (78), 47–58. <https://doi.org/10.15802/stp2018/15482>
 20. Bosov, A. A., Hryshechkina, T. S., Savchenko, L. M. (2009). Mathematical modeling of a technical object dependent failures. *Science and Transport Progress*, 28, 192–132. <https://doi.org/10.15802/stp2009/13618>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365618

DEVISING A METHOD FOR DETERMINING THE WORKLOAD ON A LOCOMOTIVE DRIVER BASED ON A MULTICRITERIA ADDITIVE MODEL TO IMPROVE RAILROAD TRANSPORT SAFETY (p. 76–86)

Oleksandr Gorobchenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9868-3852>

Denys Zaika

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0693-9580>

Oleksandr Nevedrov

LLC "Research and Production Enterprise"
"LOKOMOTIV TRANS SERVICE", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9347-0973>

Halyna Holub

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4028-1025>

Viktor Tkachenko

National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

Serhii Kara

PJSC "SRPA "Impulse", Velyki Lazy vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0401-6547>

This study investigates the workload on the locomotive driver while driving a train. Up to now, research into the influence of the human factor on train control has not been fully completed. The reasons are the multifactorial nature of the driver's activity, the limited statistical data, as well as the difficulty of determining the psychophysiological state of a person. A serious issue is the lack of a scientifically substantiated method for determining the level of the driver's workload during trip. This work addresses this problem and defines quantitative characteristics of the state of the human operator while operating traction rolling stock. By determining the parameters

of the environment in which the "driver-train" ergatic system operates and the factors affecting the driver's workload, it was possible to solve the task. Based on these data, a criterion has been devised to define the workload.

The method is based on an additive approach that combines the flow of information, the complexity of external conditions, as well as the factor of decision-making speed. The advantages of this approach are the relative simplicity of calculations, which ensures the ease of implementation of monitoring the driver's condition on board the locomotive in real time. It has been established that the total number of signals affecting the driver reaches 20300, of which 165 are critically important. It has been found that the main reserve for reducing the load on a person in the "driver-train" ergatic system is to reduce the amount of information received by the train driver.

In the future, the results of this study could be used to assess different modes of movement along different routes to identify the most dangerous values of the load on the driver. In addition, the research could lay a groundwork for implementing and adjusting the functions of locomotive decision support systems.

Keywords: railroad transport, traffic safety, traction rolling stock, cognitive load, ergatic system.

References

1. Shaffer, F., Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
2. Chen, J., Li, H., Han, L., Wu, J., Azam, A., Zhang, Z. (2022). Driver vigilance detection for high-speed rail using fusion of multiple physiological signals and deep learning. *Applied Soft Computing*, 123, 108982. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108982>
3. Abe, T. (2023). PERCLOS-based technologies for detecting drowsiness: current evidence and future directions. *SLEEP Advances*, 4 (1). <https://doi.org/10.1093/sleepadvances/zpad006>
4. Dankovich, L. J., Joyner, J. S., He, W., Sesay, A., Vaughn-Cooke, M. (2024). CogWatch: An open-source platform to monitor physiological indicators for cognitive workload and stress. *HardwareX*, 19, e00538. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00538>
5. Hassanzadeh-Rangi, N., Jalilian, H., Farshad, A.-A., Khosravi, Y. (2023). Correlation of Work Fatigue and Mental Workload in Train Drivers: A Cross-sectional Study. *Journal of Research in Health Sciences*, 23 (4), e00600. <https://doi.org/10.34172/jrhs.2023.135>
6. Wang, P., Fang, W., Guo, B. (2019). Mental workload evaluation and its application in train driving multitasking scheduling: a Timed Petri Net-based model. *Cognition, Technology & Work*, 23 (2), 299–313. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00608-w>
7. Wang, H., Chen, D., Huang, Y., Zhang, Y., Qiao, Y., Xiao, J., Xie, N., Fan, H. (2023). Assessment of Vigilance Level during Work: Fitting a Hidden Markov Model to Heart Rate Variability. *Brain Sciences*, 13 (4), 638. <https://doi.org/10.3390/brainsci13040638>
8. Gorobchenko, O., Matsiuk, V., Holub, H., Gritsuk, I., Nevedrov, O. (2024). Increasing the efficiency of operation and management of railroad transport infrastructure based on maximum levels of fault tolerance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (131)), 55–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.311829>
9. Catelani, M., Ciani, L., Guidi, G., Patrizi, G. (2021). An enhanced SHERPA (E-SHERPA) method for human reliability analysis in railway engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107866. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107866>
10. Chen, Z., Guo, Z., Feng, G., Shi, L., Zhang, J. (2021). A Qualitative Study on the Workload of High-Speed Railway Dispatchers. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, 251–260. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77932-0_21
11. Zoer, I., Sluiter, J. K., Frings-Dresen, M. H. W. (2014). Psychological work characteristics, psychological workload and associated psychological and cognitive requirements of train drivers. *Ergonomics*, 57 (10), 1473–1487. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.938130>

12. Gorobchenko, O., Holub, H., Zaika, D. (2024). Theoretical basics of the self-learning system of intelligent locomotive decision support systems. *Archives of Transport*, 71 (3), 169–186. <https://doi.org/10.61089/aot2024.gaevsp41>
13. Goolak, S., Liubarskyi, B., Riabov, I., Chepurina, N., Pohosov, O. (2023). Simulation of a direct torque control system in the presence of winding asymmetry in induction motor. *Engineering Research Express*, 5 (2), 25070. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acde46>
14. Tverdomed, V., Dmytro, Z., Kokriatska, N., Lukoševičius, V. (2024). The Detection of Railheads: An Innovative Direct Image Processing Method. *Sustainability*, 16 (12), 5109. <https://doi.org/10.3390/su16125109>
15. Hwang, C.-L., Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
16. Belton, V., Stewart, T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
17. Jahan, A., Edwards, K. L. (2016). Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design. *Butterworth-Heinemann*. <https://doi.org/10.1016/c2012-0-02834-7>
18. Ishizaka, A., Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis*. <https://doi.org/10.1002/9781118644898>
19. Gorobchenko, O. (2021). Theoretical fundamentals of estimatability assessment of train situation signs for work of intellectual locomotive control systems. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series "Transport Systems and Technologies"*, 1 (38), 223–231. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-220-21>
20. Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., Parasuraman, R. (2015). *Engineering Psychology and Human Performance*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315665177>
21. Naweed, A. (2020). Getting mixed signals: Connotations of teamwork as performance shaping factors in network controller and rail driver relationship dynamics. *Applied Ergonomics*, 82, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102976>
22. Gorobchenko, O., Nevedrov, O. (2020). Development of the structure of an intelligent locomotive DSS and assessment of its effectiveness. *Archives of Transport*, 56 (4), 47–58. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5517>
23. Chambon, T., Guillaume, J.-L., Lallement, J. (2023). Information Complexity Ranking: A New Method of Ranking Images by Algorithmic Complexity. *Entropy*, 25 (3), 439. <https://doi.org/10.3390/e25030439>
24. Zenil, H., Marshall, J. A. R., Tegnér, J. (2023). Approximations of algorithmic and structural complexity validate cognitive-behavioral experimental results. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fncom.2022.956074>
25. Lange, C., Ahrens, A. (2025). *Digital Transmission Engineering*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-46789-0>
26. Gibson, J. D. (2023). *Digital Communications*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19588-4>
27. Renzo, M. D., Migliore, M. D. (2024). Electromagnetic Signal and Information Theory. *IEEE BITS the Information Theory Magazine*, 4 (1), 25–39. <https://doi.org/10.1109/mbits.2024.3359523>
28. Kustov, V. (2025). Fundamental limitations of basic dangerous failure models for functional safety assessment in train control systems. *Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 212, 301–314. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336537>
29. Rieger, T., Manzey, D. (2020). Human Performance Consequences of Automated Decision Aids: The Impact of Time Pressure. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 64 (4), 617–634. <https://doi.org/10.1177/0018720820965019>
30. Laxar, D., Eitenberger, M., Maleczek, M., Kaider, A., Hammerle, F. P., Kimberger, O. (2023). The influence of explainable vs non-explainable clinical decision support systems on rapid triage decisions:

a mixed methods study. *BMC Medicine*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s12916-023-03068-2>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365567

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF HETEROGENEOUS UAV FLEET COMPOSITION UNDER PROBABILISTIC COUNTERACTION FROM SURROUNDING ENVIRONMENT BASED ON MATHEMATICAL AND SIMULATION MODELING (p. 87–96)

Viktor Kornieiev

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8784-2271>

Oleh Yaremko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7740-9081>

This study considers a heterogeneous fleet of unmanned aerial vehicles (UAVs), consisting of two types of vehicles – main and auxiliary, operating under conditions of probabilistic medium resistance. The task addressed is to rationalize the informed selection of ratio between the main and auxiliary UAVs, which predetermines the survivability of the system, the level of possible losses, as well total resource costs.

A two-criteria discrete mathematical statement of the problem has been proposed, which minimizes the most probable number of losses of main vehicles and the number of auxiliary UAVs. Considering a heterogeneous fleet of UAVs, the probability of losing any element in this fleet is different, especially given the various types of UAVs in it. This significantly complicates the possibility of predicting the integrity of the system over a certain period of its operation; therefore, a simulation model was built by using the Monte Carlo method. It reproduces the sequential nature of events, taking into account the change in the composition of elements after each probable loss. In its architecture, modules for generating random scenarios, modeling losses of fleet elements, and statistical processing of results can be distinguished.

To verify the model, an analytical distribution was performed for the base scenario, and a Pareto-optimal set of heterogeneous fleet configurations was constructed. The maximum discrepancy between the empirical and analytical distributions is 0.49% at $N = 50,000$ iterations. These results reflect the dependence on the reduction of losses for the main group of fleet elements and the number of auxiliary devices, which are considered cheaper and play the role of increasing stability for the system.

The results could prove useful for preliminary analysis when designing a heterogeneous UAV fleet with elements of different types, different functional purpose, and cost.

Keywords: unmanned aerial vehicles, heterogeneous fleet, multi-criteria optimization, Monte Carlo method.

References

1. Golemo, V., Melnikov, R. (2018). Organization of work for a group of drones. *Computer Systems and Network*, 1 (905), 56–64. <https://doi.org/10.23939/csn2018.905.056>
2. Petritoli, E., Leccese, F., Ciani, L. (2018). Reliability and Maintenance Analysis of Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*, 18 (9), 3171. <https://doi.org/10.3390/s18093171>
3. Zaitseva, E., Levashenko, V., Mukhamediev, R., Brinzei, N., Kovalenko, A., Symagulov, A. (2023). Review of Reliability Assessment Methods of Drone Swarm (Fleet) and a New Importance Evaluation Based Method of Drone Swarm Structure Analysis. *Mathematics*, 11 (11), 2551. <https://doi.org/10.3390/math11112551>
4. Zaitseva, E., Mukhamediev, R., Levashenko, V., Kovalenko, A., Kvasay, M., Kuchin, Y. et al. (2024). Comparative Reliability Analysis of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Based on Mathematical Models

- of Binary-State and Multi-State Systems. *Electronics*, 13 (22), 4509. <https://doi.org/10.3390/electronics13224509>
5. Zaitseva, E., Levashenko, V., Kvassay, M., Kharchenko, V. (2020). Reliability Evaluation of Heterogeneous Drone Fleet by Structure Function based Method. *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference*, 4883–4889. https://doi.org/10.3850/978-981-14-8593-0_5145-cd
 6. Raychaudhuri, S. (2008). Introduction to Monte Carlo simulation. *2008 Winter Simulation Conference*, 91–100. <https://doi.org/10.1109/wsc.2008.4736059>
 7. Dui, H., Zhang, C., Bai, G., Chen, L. (2021). Mission reliability modeling of UAV swarm and its structure optimization based on importance measure. *Reliability Engineering & System Safety*, 215, 107879. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107879>
 8. Barabash, O., Musienko, A., Synchronuk, O. (2021). *Teoriya ymovirnos-tei*. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 193. Available at: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d605e9e7-d1dc-4ee1-88ad-32a08f-c6d570/content>
 9. Zhao, J., Sun, J., Cai, Z., Wang, Y., Wu, K. (2022). Distributed coordinated control scheme of UAV swarm based on heterogeneous roles. *Chinese Journal of Aeronautics*, 35 (1), 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2021.01.014>
 10. Hohmann, N., Bujny, M., Adamy, J., Olhofer, M. (2021). Hybrid Evolutionary Approach to Multi-objective Path Planning for UAVs. *2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ssci50451.2021.9660187>
 11. Kartashov, M. V. (2008). *Imovirnist, protsesy, statystyka*. Kyiv: VPTs "Kyivskiy universytet", 494. Available at: <https://www.scribd.com/document/773774638/Kartashov>
 12. Ehrgott, M. (2000). *Multicriteria Optimization*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-22199-0>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361486

DEVISING A METHOD FOR DETERMINING THE LENGTH OF A SERIES OF ARTILLERY FIRE BASED ON PROBABILITY-ANALYTICAL MODELING AND FUZZY MULTI-CRITERION EVALUATION (p. 97–110)

Maksym Maksymov

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7536-2570>

Oleksiy Kozlov

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-5578>

Oleksiy Maksymov

Institute of Naval Forces of the National

University "Odesa Maritime Academy", Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2504-0853>

Ruslan Riaboshapka

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2068-0290>

This study investigates artillery fire control processes under conditions of uncertain disturbances when using the "shoot-and-scoot" tactic. The task addressed is to increase the efficiency of artillery fire and reduce the time for performing fire tasks by optimally choosing the number of shots in a series.

To assess the efficiency of firing, the time for performing tasks, and the risk of hitting an artillery installation for different values of the length of the firing series, probabilistic-analytical modeling methods have been used. To select the best solution according to a set of contradictory criteria, a fuzzy logic apparatus was applied, which makes it possible to formalize the decision-making process under conditions of uncertainty.

A method for determining the rational length of firing series has been devised, which involves the formation of a generalized criterion, the search for a set of local maxima, and their further evaluation using a fuzzy model. The proposed approach makes it possible to take into account the influence of random disturbances, in particular, a possible sudden increase in barrel wear during firing series.

The results of computational experiments have confirmed the effectiveness of the proposed method. It was found that the firing efficiency increased by 11.6–20.8% compared to the fixed-length firing series approach, as well as the reduction in the time to complete firing tasks by up to 31.6%. In addition, in most cases, a decrease in the total time spent by installations at firing positions was observed, which indicates a decrease in the risk of damage by counter-battery means.

The devised method could be applied in control systems for modern artillery installations to increase the effectiveness of their combat use under conditions of uncertainty.

Keywords: artillery firing, firing series, probabilistic-analytical modeling, fuzzy logic, multi-criteria evaluation.

References

1. Chávez, K., Swed, O. (2023). Emulating underdogs: Tactical drones in the Russia-Ukraine war. *Contemporary Security Policy*, 44 (4), 592–605. <https://doi.org/10.1080/13523260.2023.2257964>
2. Ganjiyev, S. J., Usmonov, S. R., Karimov, A. Kh. (2023). Use of artillery in modern war: a brief analysis of the Ukrainian conflict. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 11 (3), 118–121. Available at: <https://internationaljournals.co.in/index.php/giirj/article/view/3646>
3. Oprean, L.-G. (2020). Artillery from the Perspective of Firing Effects and Ensured Capabilities. *Scientific Bulletin*, 25 (2), 107–113. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2020-0015>
4. Zha, Q., Rui, X., Liu, F., Yu, H. (2017). Study On the Dynamic Modeling and the Correction Method of the Self-Propelled Artillery. *Proceedings of the 2017 7th International Conference on Mechatronics, Computer and Education Informationization (MCEI 2017)*. Atlantis Press, 385–393. <https://doi.org/10.2991/mcei-17.2017.84>
5. Kislytsyn, A., Dorofeev, N. (2021). Directions for the development of domestic self-propelled artillery systems based on the analysis of samples of artillery weapons from the leading countries of the world. *Social Development and Security*, 11 (6), 98–107. <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.6.7>
6. Xiao, H., Yang, G., Ge, J. (2017). Surrogate-based multi-objective optimization of firing accuracy and firing stability for a towed artillery. *Journal of Vibroengineering*, 19 (1), 290–301. <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17108>
7. Wang, X., Li, X., Sun, Q., Xia, C., Chen, Y.-H. (2025). Improved Manta Ray Foraging Optimization for PID Control Parameter Tuning in Artillery Stabilization Systems. *Biomimetics*, 10 (5), 266. <https://doi.org/10.3390/biomimetics10050266>
8. Zhuravlev, A., Orlov, S., Shuliakov, S. (2020). Mathematical model of the flight path of a projectile of a long-range artillery system. *Systems of Arms and Military Equipment*, 3 (63), 62–68. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.09>
9. Khalil, M. (2022). Study on modeling and production inaccuracies for artillery firing. *Archive of Mechanical Engineering*, 69 (1), 165–183. <https://doi.org/10.24425/ame.2021.139802>
10. STANAG 4355 The Lieske modified point mass and five degrees of freedom trajectory models -AOP-4355 EDITION A. (No enabled versions). (2022) Washington: United States Department of Defense. Available at: <https://publishers.standardstech.com/content/military-dod-stanag-4355> Last accessed: 14.11.2023
11. Bartulović, V., Trzun, Z., Hoić, M. (2023). Use of Unmanned Aerial Vehicles in Support of Artillery Operations, *Strategos*, 7 (1), 71–92. Available at: <https://hrcak.srce.hr/305562>
12. Oprean, L.-G. (2023). Artillery and Drone Action Issues in the War in Ukraine. *Scientific Bulletin*, 28 (1), 73–78. <https://doi.org/10.2478/bsaft-2023-0008>

13. Khudov, H., Yuzova, I., Lisohorskyi, B., Solomonenko, Y., Mykus, S., Irkha, A. et al. (2021). Development of methods for determining the coordinates of firing positions of roving mortars by a network of counter-battery radars, *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 140–150. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001821>
14. Świętochowski, N. (2023). Field Artillery in the defensive war of Ukraine 2022–2023. Part I. Combat potential, tasks and tactics. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 210 (4), 341–358. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.1631>
15. Świętochowski, N. (2024). Field Artillery in the defensive war of Ukraine 2022–2023. Part II. Methods of task implementation. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 211 (1), 57–76. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4136>
16. Shen, C., Zhou, K.-D., Lu, Y., Li, J.-S. (2019). Modeling and simulation of bullet-barrel interaction process for the damaged gun barrel. *Defence Technology*, 15(6), 972–986. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.07.009>
17. Shim, Y., Atkinson, M. P. (2018). Analysis of artillery shoot-and-scoot tactics. *Naval Research Logistics (NRL)*, 65 (3), 242–274. <https://doi.org/10.1002/nav.21803>
18. Damgaard, T. J., Rittri, M. (2025). Optimizing Firing Position Usage for Survivability and Effectiveness in Artillery Shoot-and-Scoot Tactics. *SAE Technical Paper Series*, 1. <https://doi.org/10.4271/2025-01-0431>
19. Dobrynin, Y., Maksymov, M., Boltenev, V. (2020). Development of a method for determining the wear of artillery barrels by acoustic fields of shots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (105)), 6–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206114>
20. Choi, Y. B., Yun, H. Y., Kim, J. y., Jin, S. H., Kim, K. S. (2019). Robust Optimization Approach Using Scenario Concepts for Artillery Firing Scheduling Under Uncertainty. *Applied Sciences*, 9 (14), 2811. <https://doi.org/10.3390/app9142811>
21. Sun, Y., Zhang, S., Lu, G., Zhao, J., Tian, J., Xue, J. (2022). Research on a Simulation Algorithm for Artillery Firepower Assignment According to Region. 2022 3rd International Conference on Computer Science and Management Technology (ICCSMT). Shanghai, 353–356. <https://doi.org/10.1109/iccsmt58129.2022.00082>
22. Grishyn, M., Maksymova, O., Kirkopulo, K., Klymchuk, O. (2025). Development of methods of artillery control for suppression of an enemy amphibious operation in video game simulations. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (81)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.321797>
23. Raskin, L., Sira, O. (2020). Development of methods for extension of the conceptual and analytical framework of the fuzzy set theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (108)), 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217630>
24. Congxiang, L., Kozlov, O., Kondratenko, G., Aleksieieva, A.; Kondratenko, Y. P., Shevchenko, A. I. (Eds.) (2024). *Decision Support System for Maintenance Planning of Vortex Electrostatic Precipitators Based on IoT and AI Techniques. Research Tendencies and Prospect Domains for AI Development and Implementation*. New York: River Publishers, 87–105. <https://doi.org/10.1201/9788770046947-5>
25. Skakodub, O., Kozlov, O., Kondratenko, Y. (2021). Optimization of Linguistic Terms' Shapes and Parameters: Fuzzy Control System of a Quadrotor Drone. 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 566–571. <https://doi.org/10.1109/idaacs53288.2021.9660926>
26. Kozlov, O. (2021). Information Technology for Designing Rule bases of Fuzzy Systems using Ant Colony Optimization. *International Journal of Computing*, 20 (4), 471–486. <https://doi.org/10.47839/ijc.20.4.2434>
27. Kozlov, O., Kondratenko, G., Aleksieieva, A., Maksymov, M., Tarakhtij, O. (2024). Swarm optimization of the drone's intelligent control system: comparative analysis of hybrid techniques, *CEUR Workshop Proceedings*, 3790. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper01.pdf>
28. Kumar, D., Kalra, S., Jha, M. S. (2022). A concise review on degradation of gun barrels and its health monitoring techniques. *Engineering Failure Analysis*, 142, 106791. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106791>
29. Litsman, A., Nesterov, D. (2020). Definitions degree of influence of individual factors on mechanical equipment failure rate during artillery operation. *Collection of Scientific Works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences*, 80 (2), 283–299. <https://doi.org/10.32453/3.v80i2.204>
30. Boltenev, V., Brunetkin, O., Dobrynin, Y., Maksymova, O., Kuzmenko, V., Gultsov, P. et al. (2021). Devising a method for improving the efficiency of artillery shooting based on the Markov model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (114)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245854>
31. Zheng, Y., Wang, J., Kozlov, O., Kondratenko, G., Aleksieieva, A.; Shevchenko, A. I., Kondratenko, Y. P. (Eds.) (2026). *Optimization-oriented Synthesis of Rule Bases of Intelligent Systems: Application Features for Complex Plants' Control. Artificial Intelligence: Achievements and Recent Developments*. River Publishers, 83–111. <https://doi.org/10.1201/9788743800989-4>
32. Rakityanska, G. B. (2015). Fuzzy classification knowledge base construction based on trend rules and inverse inference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (73)), 25–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36934>
33. Pujaru, K., Adak, S., Kar, T. K., Patra, S., Jana, S. (2024). A Mamdani fuzzy inference system with trapezoidal membership functions for investigating fishery production. *Decision Analytics Journal*, 11, 100481. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100481>
34. Chaudhari, T. U., Patel, V. B., Thakkar, R. G., Singh, C. (2023). Comparative analysis of Mamdani, Larsen and Tsukamoto methods of fuzzy inference system for students' academic performance evaluation. *International Journal of Science and Research Archive*, 9 (1), 517–523. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.9.1.0443>
35. Maksymov, M., Kozlov, O., Shynder, A., Maksymova, O., Aleksieieva, A. (2025). Development of mathematical models for temperature control objects in thermal destruction systems based on transient process identification. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 207–220. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003802>
36. Kondratenko, Y., Kozlov, O., Zheng, Y., Wang, J., Kuzmenko, V., Aleksieieva, A. (2024). Bio-inspired optimization of fuzzy control system for inspection robotic platform: comparative analysis of hybrid swarm methods. *CEUR Workshop Proceedings*, 3711. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3711/paper7.pdf>
37. Kozlov, O., Kondratenko, G., Aleksieieva, A., Maksymov, M. (2025). Complex Structural-Parametric Optimization of Fuzzy Control Systems Based on Bioinspired Algorithms, *CEUR Workshop Proceedings*, 4048. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-4048/paper01.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365568

РОЗРОБКА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЄКТІВ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ НА ЗАСАДАХ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ (с. 6–20)

Т. А. Воркут, В. С. Харута, А. М. Харченко, Ю. В. Луцкай, Ю. О. Божок, Ю. В. Артемчук

Об'єкт дослідження – процес формування та оптимізації структури портфеля проєктів громадської участі (громадського бюджету) територіальної громади за умов багатовекторності запитів мешканців та обмеженості ресурсного забезпечення.

Результати дослідження спрямовані на вирішення проблеми забезпечення загальної якості та збалансованості формування партисипативних бюджетів. Це відбувається за рахунок автоматизованого відбору інноваційних та соціальних ініціатив, відповідних до специфіки та рівня їх фінансування. Розроблено метод ситуаційного структурування портфеля проєктів громадської участі за категоріями тематичних спрямувань як підпортфелями. У порівнянні з традиційними підходами, які зазвичай базуються лише на одному критерії прямого рейтингового голосування, розроблений підхід заснований на багатокритеріальному виборі та ситуаційній адаптації архітектури портфеля. В алгоритмі підходу використано комбінацію оцінки результатів математичного моделювання за апаратом непараметричної статистики та АНР-методу. Це пояснюється тим, що багатокритеріальний метод структурування дозволяє отримати кращий інтегральний результат у порівнянні з традиційними підходами. Здійснено апробацію підходу на основі масиву реальних проєктів трьох тематичних спрямувань. За результатами апробації встановлено, що інтегральний показник соціально-стратегічного ефекту портфеля за перехресною матричною моделлю на 21% більше, ніж при застосуванні традиційного рейтингового відбору. Ефективність використання бюджету при цьому зросла на 11%. Такі результати свідчать про можливість ефективного застосування розробленого інструментарію на практиці для автоматизації та усунення суб'єктивного чинника при розподілі великих масивів партисипативних бюджетних коштів органами місцевого самоврядування.

Ключові слова: набір ініціатив, ситуаційне структурування, критерій Крускала-Волліса, рангова кореляція, АНР-метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365174

АДАПТАЦІЯ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ В ПРОЄКТНІЙ ТА ОПЕРАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ В ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (с. 21–28)

Д. О. Роботько, О. О. Коваленко

Об'єктом дослідження є процеси управління знаннями висококваліфікованого персоналу підприємств в умовах проєктної та операційної діяльності. Вирішувалась проблема адаптації моделей управління знаннями для подальшої імплементації в програмні модулі інформаційної системи. Особлива увага приділялась інтелектуальним проєктам, до яких відносять створення програмних продуктів на підприємствах програмної інженерії та управління знаннями в їх проєктній та операційній діяльності.

На мезорівні побудовано динамічну модель на базі системи диференціальних рівнянь, яка описує швидкість зміни інтегрального рівня знань команди проєкту. На мікрорівні сформовано модель оцінювання результативності корпоративного навчання. Особливістю та характерною відмінністю розроблених моделей є перехід від дескриптивного опису (на кшталт моделі SECI) до аналітичного обчислення когнітивних процесів за рахунок інтеграції чистих темпів обміну знаннями та формалізованих цифрових слідів фахівців.

Отримані результати формування моделі оцінювання результатів навчання пояснюються поєднанням класичної експоненти забування Еббінгауза із лінійною функцією рівня інтенсивності практичної діяльності, де показник когнітивного згасання пам'яті обернено пропорційно зменшується за рахунок виконання верифікованих операцій в різноманітних інструментальних середовищах.

Умовами практичного використання моделей є їх імплементація у спеціалізовані програмні модулі HR-аналітики з підтримкою REST API для автоматизованого збору метрик. Аналітичне розв'язання моделей на основі відкритих галузевих даних підтвердило їх адекватність. Так, результати розрахунків свідчать про те, що за умови активного внутрішнього навчання розробник наближається до цільового експертного рівня менш ніж за рік. Експериментальне моделювання результатів навчання для умов відсутності практики зафіксувало деградацію навичок до 22% через 6 місяців, тоді як регулярне виконання операцій забезпечує збереження компетенцій на рівні 98%. Сформовані та готові для імплементації математичні та візуальні моделі управління знаннями можуть бути основою для створення спеціального програмного забезпечення та практичних кейсів для фахівців управління знаннями.

Ключові слова: управління знаннями, автоматизація управління персоналом, програмна інженерія, ретенція знань, моніторинг знань IT-проєкту, крива забування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357222

ВСТАНОВЛЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ ТИПІВ ЗАТРИМОК У БУДІВНИЦТВІ ТА СТРАТЕГІЙ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕГРОВАНОЇ МОДЕЛІ RCA-FAHR-PII (с. 29–40)

Amir, Sutanto Hidayat, Jimmy

Об'єктом дослідження є завершені проєкти будівництва доріг у Східному Калімантані, у яких у період 2022–2024 років спостерігалися негативні відхилення від графіка. Проблема, що розглядається в цьому дослідженні, полягає в постійних затримках будівництва,

які залишаються невіршеними попри часте застосування продовження термінів, що вказує на системні слабкості в плануванні, контролі та управлінні. Метою цього дослідження є визначення найкращих рішень щодо причин затримок, які необхідно усунути в першу чергу. Результати показують, що найважливішими факторами затримок, виявленими в ході аналізу першопричин (RCA), є слабкий контроль за проектом та оперативне планування, ненадійні ланцюги постачання матеріалів та закупівель, нестабільна продуктивність під час виконання критично важливих робіт на об'єкті, а також непередбачені зовнішні обмеження. Результати застосування методу ієрархічного аналізу на основі нечіткої логіки (FAHP) свідчать про те, що впровадження цифрових систем управління проектами та планування є найефективнішою стратегією пом'якшення наслідків, оскільки отримало найвищий синтетичний показник (0,599) порівняно з іншими альтернативами. Цей результат додатково підтверджується аналізом чутливості, що засвідчує стабільність рейтингу. Згідно з аналізом індексу відносної важливості (RII), фактори, пов'язані з погодою, виявляються найбільш значущими причинами затримок, з показником на рівні факторів 0,729, за ними йдуть фактори часу (0,662) та фактори обладнання (0,643). На рівні показників найбільший індивідуальний вплив мають затримки з доставкою матеріалів із значенням RII 0,779. Загалом п'ять із шести основних груп факторів затримок належать до категорії «високої важливості», що підкреслює домінуючу роль системних та операційних проблем, а не поодиноких технічних несправностей. Особливість запропонованих результатів полягає в поєднанні виявлення причинно-наслідкових зв'язків, визначення пріоритетності та орієнтованої на політику підтримки прийняття рішень, що дозволяє вирішувати проблему затримок системно, а не лише на адміністративному рівні. Ці результати можуть бути застосовані державними органами, що відповідають за інфраструктуру, шляхом використання цифрових систем планування, оцінювання на основі результатів та більш ефективних механізмів підзвітності, особливо в регіонах із швидким розвитком інфраструктури.

Ключові слова: затримка будівництва, FAHP, управління проектами, RCA, RII, будівництво доріг.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361917

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЮ ЛОГІСТИКОЮ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ (с. 41–53)

П. І. Пасека, О. М. Панько, Н. І. Полтораченко, С. А. Теренчук, Б. М. Єременко

Об'єкт дослідження – процес формування маршруту транспортного засобу в умовах складного логістичного середовища. Проблема, що вирішувалася, полягає у відсутності повноцінної логіки автономного прийняття рішень щодо оперативної маршрутизації у спеціалізованих логістичних системах. Аналіз сучасних систем керування транспортною логістикою виявив їх обмеження щодо оперативності і пояснюваності логіки автономного прийняття рішень щодо перепланування маршрутів. Розроблено підхід до формування маршрутів, що поєднує модифікований алгоритм A*, багатоагентне навчання з підкріпленням і просторово-часові графові нейронні мережі (STGCN). Відмінними рисами цього підходу є поєднання просторово-часового прогнозування, багатоагентного прийняття рішень і модульної архітектури системи, що забезпечує адаптивність, масштабованість, стійкість до погіршення зв'язку і пояснюваність рішень щодо маршрутизації транспорту в закритих реконфігурованих мережах. Експериментальне порівняння розробленого підходу і аналогів на базі A* і STGCN, проведене на імітаційній моделі логістичного середовища будівельного майданчика квартальної забудови, показало його статистичну перевагу за критерієм часу проходження маршруту. При пороговому цього критерію 300 с запропонований підхід досягав цього показника у 90% випадків, а підходи на основі STGCN і A* – у 79% і 57% випадків. При цьому, значення 95-го перцентилу становило; 310 с, 360 с і 410 с для запропонованого підходу, STGCN і A*. Ці результати пояснюються поєднанням прогнозування стану мережі і адаптивного перепланування маршрутів. Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні інтелектуальних систем керування транспортною логістикою на інших об'єктах із динамічною транспортною інфраструктурою.

Ключові слова: A*, будівельна логістика, гексагональна модель середовища, машинне навчання, мультиагентність, STGCN.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361146

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ МАШИНО- ТА ПРИЛАДОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ (с. 54–64)

І. Ю. Черепанська, А. Ю. Сазонов, Д. В. Терещенко, П. П. Мельничук, Д. П. Мельничук, С. В. Кальчук, В. А. Яновський, Ю. П. Гончаренко, О. Ф. Соколовський, Л. Г. Савченко

Об'єктом досліджень є процес керування транспортними потоками на машино- та приладобудівних підприємствах. Проблема, яка вирішувалася, полягає у необхідності швидкої та ефективної обробки інформації та прийняття правильних і обґрунтованих логістичних рішень, їх автоматизованого коригування в режимі реального часу протягом усього життєвого циклу виробництва. Для цього розроблено інформаційно-комп'ютерну систему (ІКС) для автоматизованого керування транспортними потоками на машино- та приладобудівних підприємствах. Сутність її роботи полягає у визначенні, координації та коригуванні технологічних маршрутів множини пристроїв транспортування (ПТр) в автоматизованому режимі та реальному часі при упорядкуванні виробничого середовища. Відмітно, що новостворена ІКС охоплює як внутрішньо-, так і зовнішньо-цехові логістичні рівні, забезпечуючи синхронізацію територіально розподілених елементів гнучких виробничих систем машино- та приладобудування. Завдяки застосуванню мурашиного алгоритму розподілу завдань між ПТр та модифікованого алгоритму A* з просторово-часовим розширенням графу, реалізовано здатність ІКС до оперативного прийняття рішень на основі «концепції компромісів». Також новостворена ІКС демонструє високу швидкість – запобігання тупиковим ситуаціям (deadlocks) за 24,9 мс та балансування навантаження ПТр за 500 мс. Крім того експериментально доведено скорочення сумарної довжини технологічних маршрутів у 1,3 рази, а холостих пробігів ПТр – у 2,5 рази. Очевидно, що оптимізація маршрутів сприяє зменшенню вуглецевого сліду, що відповідає Цілям сталого розвитку до 2030 року. Також зниження трудомісткості робіт та інтелектуального навантаження на оператора має очевидний соціальний ефект.

Ключові слова: інформаційно-комп'ютерна система, автоматизоване керування транспортними потоками, мета евристична оптимізація, гнучка виробнича система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362728

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ ЗА ВАРТІСНИМ ПОРОГОМ ПРИЙНЯТНОСТІ РИЗИКУ (с. 65–75)**Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Т. С. Гришечкіна, О. С. Жовніренко**

Об'єкт дослідження – система технічного утримання локомотива, поданого як множина взаємопов'язаних вузлів із заданою структурою залежних відмов.

Проблема полягає у визначенні раціональної системи утримання локомотива, при якій сумарні витрати на планові та непланові ремонти мінімальні за умови, що ризик відмов не перевищує граничного рівня, заданого критерієм «значення під ризиком». Запропоновано ризик-орієнтовану математичну модель формування раціональної системи утримання, у якій залежні відмови враховано «хвилями» відмов. Сформульовано оптимізаційну задачу мінімізації сумарних витрат на планові та непланові ремонти за умови неперевищення рівня ризику.

Для моделювання залежних відмов побудовано структуру зв'язків вузлів, що дозволяє оцінювати ризик відмови вузлів і системи в цілому з урахуванням економічних наслідків. За результатами моделювання для набору стратегій утримання виявлено нелінійний характер зміни сумарних витрат зі зростанням допустимого рівня ризику та отримано ранжування елементів за частотою необхідності ремонтного впливу. Це пояснюється перерозподілом між плановими та неплановими відновленнями при зміні прийнятого порога ризику. Показано, що урахування залежних відмов збільшує оцінку витрат на систему утримання порівняно з моделлю незалежних відмов на 18–47% залежно від прийнятого порога ризику. Відмінною рисою підходу є поєднання критерію «значення під ризиком» з урахуванням залежних відмов у єдиній процедурі вибору стратегії, що забезпечує порівняння стратегій за шкалою «ризик-витрати».

Результати дослідження можуть бути використані під час планування обсягів і періодичності технічного обслуговування та ремонту локомотивного парку. Практичне застосування полягає у встановленні відповідності прийнятого допустимого рівня ризику та стратегії ТОіР (технічного обслуговування і ремонту).

Ключові слова: локомотив, ризик-орієнтована стратегія технічного утримання, залежні відмови, значення під ризиком.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365618

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ МАШИНІСТА ПОЇЗДА НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ АДИТИВНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ (с. 76–86)**О. М. Горобченко, Д. О. Заїка, О. В. Неведров, Г. М. Голуб, В. П. Ткаченко, С. В. Кара**

Об'єктом дослідження є навантаженість машиніста локомотива під час керування поїздом. На теперішній час дослідження впливу людського фактору на керування поїздом виконане не повністю. Причинами цього є багатфакторність діяльності машиніста, обмеженість статистичних даних, складність визначення психофізіологічного стану людини. Проблема полягає у відсутності науково обґрунтованого методу визначення рівня навантаженості машиніста від час поїздки. В роботі вирішено цю проблему та отримано кількісні характеристики стану людини-оператора при експлуатації тягового рухомого складу. Завдяки визначенню параметрів середовища, в якому функціонує ергатична система «машиніст-поїзд» та факторів, що впливають на навантаження машиніста, вдалось вирішити поставлену проблему. На основі цих даних розроблено критерій, за яким визначається навантаження.

Метод базується на адитивному підході, що поєднує потік інформації, складність зовнішніх умов і фактор швидкості прийняття рішення. Перевагами такого підходу є відносна простота розрахунків, що забезпечує легкість реалізації контролю стану машиніста на борту локомотива в реальному часі. Встановлено, що загальна кількість сигналів, що впливає на машиніста, досягає 20300, з них критично важливих до 165. Встановлено, що основним резервом зниження навантаження на людину в ергатичній системі «машиніст – поїзд» є зниження кількості інформації, що надходить до машиніста поїзда. В подальшому отримані результати дослідження можуть бути використані для оцінки різних режимів руху на різних напрямках для виявлення найбільш небезпечних величин навантаження на машиніста. Також ці дослідження будуть слугувати підґрунтям для впровадження і коригування функцій локомотивних систем підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: залізничний транспорт, безпека руху, тяговий рухомий склад, когнітивне навантаження, ергатична система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.365567

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГЕТЕРОГЕННОГО ПАРКУ БПЛА В УМОВАХ ЙМОВІРНІСНОЇ ПРОТИДІЇ СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (с. 87–96)**В. С. Корнєєв, О. М. Яремко**

Об'єктом дослідження є гетерогенний парк безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що складається з двох типів апаратів – основних та допоміжних, та функціонує в умовах ймовірнісної протидії середовища. Вирішувалась проблема визначення раціонального вибору співвідношення між основними та допоміжними БПЛА, від якого залежать живучість системи, рівень можливих втрат і загальні ресурсні витрати. Запропоновано двокритеріальну дискретну математичну постановку задачі, у якій мінімізуються найімовірніше число втрат основних апаратів та кількість допоміжних БПЛА. Розглядаючи гетерогенний парк БПЛА, ймовірність втрати будь-якого з елементів цього парку є різною, особливо враховуючи, що типи БПЛА можуть бути різними в ньому. Це суттєво ускладнює можливість передбачення цілісності системи при певному періоді її експлуатації, тому було розроблено імітаційну модель методом Монте-Карло. За допомогою неї відтворюється послідовний характер подій, враховуючи зміну складу елементів після кожної ймовірної втрати. В її архітектурі можна виділити блоки генерації випадкових сценаріїв, моделювання втрат елементів парку та статистичну обробку результатів. Для її перевірки було зроблено аналітичний розподіл для базового сценарію та побудовано Парето-оптимальну множину конфігурацій гетерогенного парку. Максимальна розбіжність емпіричного та аналітичного розподілів становить 0,49% при $N = 50000$ ітерацій.

Ці результати відображають залежність від зменшення втрат для основної групи елементів парку та кількості допоміжних апаратів, які вважаються дешевшими та виконують роль підвищення стійкості для системи. Отримані результати придатні для попереднього аналізу при проектуванні гетерогенного парку БПЛА з елементами різних типів, різного функціонального призначення та вартості.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, гетерогенний парк, багатокритеріальна оптимізація, метод Монте-Карло.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.361486

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СЕРІЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ВОГНЮ НА ОСНОВІ ЙМОВІРНІСНО-АНАЛІТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА НЕЧІТКОГО БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ (с. 97–110)

М. В. Максимов, О. В. Козлов, О. М. Максимов, Р. М. Рябошапка

Об'єктом дослідження є процеси керування вогнем артилерійських установок в умовах невизначених збурень при застосуванні тактики «shoot-and-scoot». Вирішується проблема підвищення ефективності артилерійського вогню та скорочення часу виконання вогневих завдань шляхом оптимального вибору кількості пострілів у серії.

Для оцінки ефективності стрільби, часу виконання завдань та ризику ураження артилерійської установки за різних значень довжини вогневої серії застосовано методи ймовірнісно-аналітичного моделювання. Для вибору найкращого рішення за набором суперечливих критеріїв використовується апарат нечіткої логіки, що дозволяє формалізувати процес прийняття рішень в умовах невизначеності.

Розроблено метод визначення раціональної довжини серій стрільби, що передбачає формування узагальненого критерію, пошук множини локальних максимумів та їх подальшу оцінку за допомогою нечіткої моделі. Запропонований підхід дозволяє врахувати вплив випадкових збурень, зокрема можливе стрибкоподібне збільшення зносу ствола під час виконання серій стрільби.

Отримано результати обчислювальних експериментів, що підтверджують ефективність запропонованого методу. Було виявлено, що забезпечується підвищення ефективності стрільби на 11,6–20,8% порівняно з підходом фіксованої довжини вогневих серій, а також скорочення часу виконання вогневих завдань до 31,6%. Крім того, у більшості випадків спостерігається зменшення загального часу перебування установок на вогневих позиціях, що свідчить про зниження ризику ураження контрбатарейними засобами.

Розроблений метод може бути застосований у системах керування сучасними артилерійськими установками для підвищення ефективності їх бойового застосування в умовах невизначеності.

Ключові слова: артилерійська стрільба, вогнева серія, ймовірнісно-аналітичне моделювання, нечітка логіка, багатокритеріальне оцінювання.