

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309561
DEVISING AN APPROACH TO THE
CONSTRUCTION OF AN ADAPTED MODEL
OF THE RECONNAISSANCE-FIRE SYSTEM
FUNCTIONING (p. 6–20)

Oleksandr Maistrenko

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

Andrii Saveliev

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1209-7658>

Oleksandr Pechorin

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3130-2952>

Oleksandr Karavanov

Hetman Petro Sahaidachnyi National
Army Academy, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6189-8032>

Stanislav Stetsiv

Hetman Petro Sahaidachnyi National
Army Academy, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1835-9874>

Mykola Shvets

The Scientific and Methodological Center of Scientific,
Scientific and Technical Activities Organization, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7505-6234>

Oleksandr Lykholot

Command and Staff Institute
of Troops (Forces) Employment, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3418-9529>

Serhii Voitenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4134-5964>

Oleksandr Khimchenko

Centre for Military and Strategic Studies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4227-0514>

Yulii Kondratenko

Centre for Military and Strategic Studies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-5101>

The object of this study is the operational model of a reconnaissance-fire system.

The problem that was solved is the lack of an approach to building a model of the functioning of a combat system, in particular a reconnaissance-fire system, which would take into account the influence of all subsystems and include the necessary number of system states.

An improved procedure for building an adapted operational model of the reconnaissance-fire system has been proposed. The essence of the improved methodology is the formalization of processes through the definition of system states and intensities of transitions from state to state. The improved procedure is based on the Kolmogorov-Chapman equations and the goal tree construction method.

A feature of the improved methodology is the breakdown of the states of the reconnaissance-fire system by hierarchy levels, which allows taking into account more necessary states of the system.

The field of practical use of the improved methodology is planning and management processes during the development of action algorithms during combat operations.

An adapted operational model of the reconnaissance-fire system has been built. The essence of the model is to determine the probability of the reconnaissance-fire system being in a certain state based on the Chapman-Kolmogorov equations, taking into account the necessary level of detail in the process of its operation.

Special feature of the proposed model is that it makes it possible to model by taking into account 39 states of the system with the necessary accuracy both for the system as a whole and separately for subsystems. This is explained by the fact that the test of the adequacy of the model showed that the discrepancy of the results is within the statistical error from 2 to 9 %.

The field of application of the adapted operational model of the reconnaissance-fire system is the processes of making a decision on the application of the operation of the intelligence-fire system during hostilities and their management during combat operations.

Keywords: reconnaissance-fire system, modeling, Kolmogorov-Chapman equation, combat operations, military control.

References

- Weissmann, M., Nilsson, N. (Eds.) (2023). *Advanced Land Warfare: Tactics and Operations*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192857422.001.0001>
- Henåker, L. (2022). Decision-making style and victory in battle – Is there a relation? *Comparative Strategy*, 41 (4), 415–436. <https://doi.org/10.1080/01495933.2022.2087436>
- Ti, R., Kinsey, C. (2023). Lessons from the Russo-Ukrainian conflict: the primacy of logistics over strategy. *Defence Studies*, 23 (3), 381–398. <https://doi.org/10.1080/14702436.2023.2238613>
- Fedorchak, V. (2024). *The Russia-Ukraine War: Towards Resilient Fighting Power*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003351641>
- Zadunaivskyi, V. (2023). Stratagems of the Ukrainian and Russian troops in the battles for Kharkiv (February 24 – May 14, 2022). *Skhid*, 5 (1), 9–15. [https://doi.org/10.21847/2411-3093.2023.5\(1\).281033](https://doi.org/10.21847/2411-3093.2023.5(1).281033)
- Understanding the 7 Mission Command Principles (2022). *CONTROLLED F.O.R.C.E.* Available at: <https://controlledforce.com/understanding-the-7-mission-command-principles/#:-:text=Mission%20command%20is%20a%20philosophy,maintaining%20control%20over%20their%20unit>
- Shcherba, A. A. (2014). The evolution of reconnaissance-fire technology on the basis of network-centric principles of management. *Herald of Khmelnytskyi National University*, 4 (215), 109–112. Available at: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2014_4/18.pdf
- Karavanov, O., Kuprinenko, O., Maistrenko, O., Balandin, M., Volkov, I. (2022). Analysis of scientific and methodological approaches to simulation of the functioning process of reconnaissance and fire systems. *Systems of Arms and Military Equipment*, 3 (71), 68–74. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.71.09>
- Stodola, P., Drozd, J., Šilinger, K., Hodický, J., Procházka, D. (2020). Collective Perception Using UAVs: Autonomous Aerial Reconnaissance in a Complex Urban Environment. *Sensors*, 20 (10), 2926. <https://doi.org/10.3390/s20102926>
- Stodola, P., Nohel, J. (2022). Reconnaissance in Complex Environment with No-Fly Zones Using a Swarm of Unmanned Aerial Vehicles. *Lecture Notes in Computer Science*, 308–321. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98260-7_19
- Lu, F., Hu, X., Zhao, B., Jiang, X., Liu, D., Lai, J., Wang, Z. (2023). Review of the Research Progress in Combat Simulation Soft-

- ware. *Applied Sciences*, 13 (9), 5571. <https://doi.org/10.3390/app13095571>
12. Washburn, A., Kress, M. (2009). *Combat Modeling*. In *International Series in Operations Research & Management Science*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0790-5>
 13. Kostić, M., Jovanović, A., Kovač, M. (2023). Modeling of combat operations. *Vojnotehnicki Glasnik*, 71 (3), 529–558. <https://doi.org/10.5937/vojtehg71-43509>
 14. Seo, K.-M., Choi, C., Kim, T. G., Kim, J. H. (2014). DEVS-based combat modeling for engagement-level simulation. *SIMULATION*, 90 (7), 759–781. <https://doi.org/10.1177/0037549714532960>
 15. Biggs, A., Huffman, G., Hamilton, J., Javes, K., Brookfield, J., Viggiani, A. et al. (2023). Small arms combat modeling: a superior way to evaluate marksmanship data. *Journal of Defense Analytics and Logistics*, 7 (1), 69–87. <https://doi.org/10.1108/jdal-11-2022-0012>
 16. Deller, S., Bowling, S. R., Rabadi, G. A., Tolk, A., Bell, M. I. (2009). Applying the information age combat model: Quantitative analysis of network centric operations. *The International C2 Journal*, 3 (1), 1–25. Available at: https://digitalcommons.odu.edu/msve_fac_pubs/28
 17. Lauren, M. K., McIntosh, G. C., Perry, N., Moffat, J. (2007). Art of war hidden in Kolmogorov's equations. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 17 (1). <https://doi.org/10.1063/1.2712771>
 18. Atrokhov, A. V., Verner, I. E., Havanko, V. I., Kaipetskyi, O. A., Kozakov, Yu. I., Kozlov, V. V. et al. (2005). *Osnovy modelivannia boiovykh diy viysk*. Kyiv: NAOU, 484.
 19. Maistrenko, O., Khoma, V., Karavanov, O., Stetsiv, S., Shcherba, A. (2021). Devising a procedure for justifying the choice of reconnaissance-firing systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (109)), 60–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224324>
 20. Logvinenko, S. (2024). Conducting artillery reconnaissance from observation posts. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademiyi Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: viyskovi ta tekhnichni nauky*, 92 (3), 76–85. <https://doi.org/10.32453/3.v92i3.1461>
 21. Yarosh, S., Huriev, D. (2021). Justification of the possibility of using modern, improved and advanced weapons to combat unmanned aerial vehicles in a group of anti-aircraft missile forces. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 3 (44), 88–100. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.10>
 22. Horielyshev, S., Ivanchenko, A., Bashkatov, Y. (2023). The «KRO-PYVA» software complex as an element of the prospective automated control system of the National Guard of Ukraine. *The scientific journal of the National Academy of National Guard «Honor and Law»*, 4 (87), 22–29. <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2023/4/87/295097>
 23. Świątochowski, 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>
 24. Matrix calculator. Available at: <https://matrixcalc.org/>
 25. Repilo, Y., Golovchenko, O. (2021). The model of combating by artillery units during fire support during offensive actions. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 40 (1), 153–162. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-153-162>
 26. Bakalov, V., Kuzmenko, V., Nikitchenko, V., Yarysh, I. (2022). Mathematical modeling of the survival of the artillery division during combat. *Scientific works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 12 (2), 4–11. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.01>
 27. Adamenko, M., Zabolotny, O. (2018). Mathematical model of the operation of radar reconnaissance bodies in conditions of combat operations. *Zбірник наукових праць Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen NUOU imeni Ivana Cherniakhovskoho*, 1 (62), 107–112. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2018-1-62/107-112>
 28. Baranov, S. (2023). Recommendations on the formation of requirements for reconnaissance of enemy objects in operations (combat actions) of troop groups (forces) of the Armed Forces of Ukraine. *Social Development and Security*, 13 (4), 299–313. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.4.21>
 29. Husak, U., Kirsanov, S., Ostrovskiy, S. (2021). Mathematical model of automated command and control in automated command and control system SIMILAR to C4ISR. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 40 (1), 47–54. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2021-40-1-47-54>
 30. Maistrenko, O., Ryzhov, Y., Khaustov, D., Tsubulia, S., Nastishin, Y. (2021). Decision-Making Model for Task Execution by a Military Unit in Terms of Queuing Theory. *Military Operations Research*, 26 (1), 59–69. <https://doi.org/10.5711/1082598326159>
 31. Kim, T., Suh, S., Jung, G. (2015). Analysis Procedure for Fire Power Suppression on Enemy Artillery Base Using FASCAM. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 18 (6), 743–754. <https://doi.org/10.9766/kimst.2015.18.6.743>
 32. Kuiper, E., Nadjm-Tehrani, S. (2006). Mobility Models for UAV Group Reconnaissance Applications. *2006 International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC'06)*. <https://doi.org/10.1109/icwmc.2006.63>
 33. Cha, Y.-H., Kim, Y.-D. (2010). Fire scheduling for planned artillery attack operations under time-dependent destruction probabilities. *Omega*, 38 (5), 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.10.003>
 34. Guzik, D. M. (1988). A Markov model for measuring artillery fire support effectiveness. *Calhoun*. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/36716303.pdf>
 35. Wang, Z., Liu, L., Long, T., Wen, Y. (2018). Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using an opposition-based genetic algorithm with double-chromosome encoding. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31 (2), 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2017.09.005>
 36. Ivanov, D., Oliinyk, R., Zhivet, Y., Ivanova, V. (2024). Reconnaissance and strike systems in network-centric warfare. *Scientific works of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 19 (1), 56–61. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.19.2024.07>
 37. Kondratenko, Ye., Stetsiuk, R., Holovchenko, O. (2023). Analityko-stokhastychna model vedennia boiovykh diy rozviduvalno-vohnevym kompleksom pid chas vohnevoi pidtrymky z vykorystanniam teorii markovskyykh vypadkovykh protsesiv iz bezperervnym chasom. *Grail of Science*, 29) 97–103. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.07.2023.015>
 38. Repilo, I., Prymirenko, V., Demianiuk, A. (2023). The methodology for prioritizing enemy targets for acceptance as possible targets for fire support using the CARVER matrix. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 47 (2), 155–166. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-47-2-155-166>
 39. Repilo, Y., Ishchenko, O. (2023). The method of assessing the adequacy of the capabilities of unmanned aviation complexes regarding aerial reconnaissance in the interests of performing artillery fire tasks in armed conflicts. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademiyi Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: viyskovi ta tekhnichni nauky*, 88 (3), 125–149. <https://doi.org/10.32453/3.v88i3.1252>
 40. Kovalenko, O. (2024). U travni vtraty armiyi rf dosiahly rekordnykh pokaznykiv. *Informatsiyeni sprotyv*. Available at: <https://sprotyv.info/analitica/u-travni-vtrati-armii-rf-dosyagly-rekordnih-pokaznykiv/>
 41. Evans, A., Mappes, G., Wolkov, N., Stepanenko, K., Barros, G. (2024). *Russian Offensive Campaign Assessment*, June 18, 2024. The Institute for the Study of War. Available at: <https://www.un->

derstandingwar.org/background/russian-offensive-campaign-assessment-june-18-2024

42. Suprun, V. M., Zaskoka, A. M., Troshchenko, D. S. (2015). Analitichni modeli skladnykh system. Sumy: SumDU, 42. Available at: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/52151>
43. Leeb, H., Pötscher, B. M., Ewald, K. (2015). On Various Confidence Intervals Post-Model-Selection. *Statistical Science*, 30 (2). <https://doi.org/10.1214/14-sts507>
44. Maistrenko, O., Khoma, V., Shcherba, A., Olshevskiy, Y., Pereverzin, Y., Popkov, O. et al. (2022). Improving a procedure for determining the factors that influence the need of higher education institutions for specialists of the highest qualification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (115)), 86–96. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251027>
45. Maistrenko, O., Khoma, V., Kurban, V., Saveliev, A., Shcherba, A., Karavanov, O. et al. (2023). Improving the scientific and methodological apparatus for determining the optimum strategy when selecting a grouping element for performing the task. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (125)), 64–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289100>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309126
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR
INCREASING THE EFFICIENCY OF
PROCESSING HETEROGENEOUS DATA USING
A METAHEURISTIC ALGORITHM (p. 21–28)

Vitaliy Ragulin

Kharkiv National Automobile and
 Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2083-4937>

Salman Rasheed Owaid

Al-Taff University College, Karbala, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1189-9707>

Heorhii Kuchuk

National Technical University
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2862-438X>

Serhii Andriienko

Kharkiv National Automobile and
 Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4310-3128>

Oleksandr Lytvynenko

Military Institute of Taras Shevchenko
 National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6541-3621>

Evgen Ivanov

Kharkiv National Automobile and
 Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9011-7269>

Anna Lyashenko

Military Institute of Telecommunications and Information
 Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5318-8663>

Alexander Momit

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and
 Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8901-7006>

Oleksandr Gaman

Military Institute of Telecommunications and Information
 Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4676-3321>

Taras Hurskyi

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7646-853X>

The problems of processing heterogeneous data are discontinuous, undifferentiated, and multimodal. The most common approaches to processing heterogeneous data are swarm intelligence algorithms (swarm algorithms). Given the above, classical gradient deterministic algorithms are inappropriate for solving the problems of processing heterogeneous data. The problem solved in the study is to increase the efficiency of processing heterogeneous data circulating in information systems, regardless of the number of data sources. The object of the study is hierarchical systems. A method for increasing the efficiency of processing heterogeneous data using a metaheuristic algorithm is proposed. The study is based on the reptile algorithm (RA) for processing heterogeneous data circulating in the system. For RA training, evolving artificial neural networks are used.

The originality of the proposed method lies in setting RA taking into account the uncertainty of the initial data, improved global and local search procedures. Also, the originality of the study lies in determining RA feeding locations, which allows prioritizing the search in a given direction. The next element in the originality of the study is the possibility of choosing an RA hunting strategy, which allows a rational use of available system computing resources. Another original element of the study is determining the initial velocity of each RA. This makes it possible to optimize the speed of exploration of each RA in a certain direction. The method provides a 15–19 % increase in data processing efficiency by using additional improved procedures. The proposed method should be used in processing large amounts of data.

Keywords: unstructured data, artificial neural networks, swarm algorithms, unimodal and multimodal functions.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroienna ta viyskova tekhnika*, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salmikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile

- Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Rotshteyn, A. P. (1999). Intel'ektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti. Vinitsa: «UNIVERSUM», 320.
 9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
 10. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
 11. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
 12. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
 13. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
 14. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
 15. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
 16. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
 17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
 18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
 19. Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stone, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 31 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
 20. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
 21. Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
 22. Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 5–12. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
 23. Braik, M., Ryalat, M. H., Al-Zoubi, H. (2021). A novel meta-heuristic algorithm for solving numerical optimization problems: Ali Baba and the forty thieves. *Neural Computing and Applications*, 34 (1), 409–455. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06392-x>
 24. Meleshko, Y., Driev, O., Drieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
 25. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
 26. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
 27. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
 28. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
 29. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the secondorder adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
 30. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
 31. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>
 32. Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Kuzmenko, O. (2023). The Development of the Solution Search Method Based on the Improved Bee Colony Algorithm. *Theoretical and Applied Cybersecurity*, 5 (2). <https://doi.org/10.20535/tacs.2664-29132023.2.278199>
 33. Sova, O., Zhuravskiy, Y., Vakulenko, Y., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Nalapko, O. (2022). Development of methodological principles of routing in networks of special communication in conditions of fire storm and radio-electronic suppression. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 159–166. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002434>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308389

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE STATE OF DYNAMIC OBJECTS USING A POPULATION ALGORITHM (p. 29–36)

Svitlana Kashkevich

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

Ivan Kashkevych

Professional College of Engineering, Management and Land Management of the National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3135-0751>

Oleksii Kuvshynov

The National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2183-7224>

Vasyl Kuzavkov

Military Institute of Telecommunications and Information
 Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0655-9759>

Yevhen Zhyvylo

National University «Yuri Kondratyuk
 Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4077-7853>

Oksana Dmytriieva

Kharkiv National Automobile and
 Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9314-350X>

Andrii Lebedynskiy

Kharkiv National Automobile and
 Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5086-8209>

Andrii Pysarenko

Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6449-2350>

Yehor Zudikhin

University of Applied Sciences Technikum Wien, Wien, Austria
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3984-8813>

Andrii Shyshatskyi

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

The object of the study is complex dynamic objects with a hierarchical structure. A method for assessing the state of dynamic objects using a population algorithm is proposed. The study is based on the snake optimization algorithm for finding a solution to the state of dynamic objects with a hierarchical structure. For training snake agents (SA), evolving artificial neural networks are used. The originality of the method lies in using additional advanced procedures that allow you:

- to determine the initial position of SA, taking into account the type of uncertainty by using a correction factor for the degree of awareness of the state of the initial situation in relation to the object of analysis;
- to take into account the initial velocity of each SA, which allows studying complex functions;
- to ensure the universality of SA food location search strategies, which allows classifying the type of data to be processed;
- to adjust the SA velocity by adjusting the ambient temperature, which allows prioritizing the search for a solution in a certain plane;
- to explore the solution spaces of functions described by non-typical functions, using exploitation mode procedures;
- to flexibly adjust the transition from the SA fighting mode to the mating mode using the food saturation coefficient;
- to replace individuals unsuitable for search using the SA fertility rate;
- to conduct a simultaneous search for a solution in different directions, by changing the ambient temperature and adjusting the food saturation coefficient.

Modeling showed a 13–19 % increase in data processing efficiency by using additional improved procedures.

Keywords: complex processes, unimodal functions, multimodal functions, complex and dynamic objects.

References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroiennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salmikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskiy, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 11 (5), 37–44. https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05
8. Shyshatskyi, A., Stasiuk, T., Odarushchenko, E., Berezanska, K., Demianenko, H. (2023). Method of assessing the state of hierarchical objects based on bio-inspired algorithms. Advanced Information Systems, 7 (3), 44–48. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.06>
9. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. Information Sciences, 486, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
10. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. Automation in Construction, 90, 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
11. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. Expert Systems with Applications, 120, 167–184. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
12. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science, 131, 952–958. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
13. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? Decision Support Systems, 125, 113114. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
14. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. Future Generation Computer Systems, 91, 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>

15. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
16. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskiy, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Maccarone, A. D., Brzorad, J. N., Stone, H. M. (2008). Characteristics and Energetics of Great Egret and Snowy Egret Foraging Flights. *Waterbirds*, 31 (4), 541–549. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.4.541>
20. Koshlan, A., Salmnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskiy, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
21. Mahdi, Q. A., Shyshatskiy, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
22. Petrovska, I., Kuchuk, H. (2023). Adaptive resource allocation method for data processing and security in cloud environment. *Advanced Information Systems*, 7 (3), 67–73. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.3.10>
23. Braik, M., Ryalat, M. H., Al-Zoubi, H. (2021). A novel meta-heuristic algorithm for solving numerical optimization problems: Ali Baba and the forty thieves. *Neural Computing and Applications*, 34 (1), 409–455. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06392-x>
24. Khudov, H., Khizhnyak, I., Glukhov, S., Shamrai, N., Pavlii, V. (2024). The method for objects detection on satellite imagery based on the firefly algorithm. *Advanced Information Systems*, 8 (1), 5–11. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.1.01>
25. Poliarush, O., Krepych, S., Spivak, I. (2023). Hybrid approach for data filtering and machine learning inside content management system. *Advanced Information Systems*, 7 (4), 70–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.09>
26. Chalyi, S., Leshchynskiy, V. (2023). Possible evaluation of the correctness of explanations to the end user in an artificial intelligence system. *Advanced Information Systems*, 7 (4), 75–79. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.10>
27. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
28. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
29. Stepanenko, A., Oliynyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the secondorder adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
30. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
31. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskiy, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310679

**SUBSTANTIATING THE RELIABILITY
CONDITIONS FOR THE PRODUCTION PROCESS
AT METALLURGICAL ENTERPRISES THROUGH
THE FAULT-TOLERANT FUNCTIONING OF THE
SYSTEM «EXTRACTION OF RAW MATERIALS –
TECHNOLOGICAL RAILROAD ROUTES –
METALLURGICAL PRODUCTION» (p. 37–48)**

Oleksandr Zaruba

Ukrainian State University of Science and
Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5129-9660>

Andrii Okorokov

Ukrainian State University of Science and
Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5519>

Roman Vernyhora

Ukrainian State University of Science and
Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7618-4617>

Iryna Zhuravel

Ukrainian State University of Science and
Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4405-6386>

Nataliia Barkalova

Ukrainian State University of Science and
Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9350-881X>

The object of this study is the process of formation of insurance reserves at enterprises in the metallurgical industry. Under conditions of uneven supply of raw materials to metallurgical enterprises due to disruption of the transportation process or other reasons, there is a need to create insurance stocks in order to ensure the continuity of production. At the same time, it is necessary to take into account existing restrictions, such as the limited capacity of railroad sections and the impossibility of organizing parallel movement of trains, etc. The presence of these limitations makes it impossible to use classical methods for solving similar problems, such as linear programming. Therefore, to resolve the task, a simulation model was built, based on the discrete-event principle in the AnyLogic University Researcher environment using Oracle libraries and the Java SE compiler. With the help of the model, the process of rotation of dispatch routes at the railroad yard with multiple suppliers and one consignee was formalized. The optimization criterion was chosen to be the minimum deviations of fluctuations in reserves of iron ore concentrate and coke. Analysis of the simulation results revealed that the optimal size of the fleet of railroad routes on the selected rotation polygon is 30 units; at the same time, their utili-

zation rate will be 65 %. It was also established that fluctuations in raw material stocks have a «natural character», which is confirmed by the normal distribution of the density of stock volumes. Under these conditions, the value of fluctuations in the volumes of the main raw materials will be ± 13115 t/day for iron ore concentrate, and ± 5298 t/day for coke. Reducing the range of fluctuation of raw materials volumes could make it possible to optimize the costs of creating stocks and streamline the transport work of the enterprise for providing raw materials.

Keywords: insurance stock, dispatch route, discrete-event principle, population of agents, level of fault tolerance.

References

- Matsiuk, V. (2017). A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (85)), 18–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91074>
- Parida, P. (2014). Unlocking Mineral Resource Potential in Southern African Countries: Is Rail Infrastructure up to the Challenge? *Transportation Research Procedia*, 1 (1), 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.07.021>
- Vaezi, A., Verma, M. (2017). An analytics approach to dis-aggregate national freight data to estimate hazmat traffic on rail-links and at rail-yards in Canada. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 7 (4), 291–307. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2017.12.001>
- Grushevskaya, K., Notteboom, T., Shkliar, A. (2016). Institutional rail reform: The case of Ukrainian Railways. *Transport Policy*, 46, 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.11.001>
- Gupta, D., Dhar, S. (2022). Exploring the freight transportation transitions for mitigation and development pathways of India. *Transport Policy*, 129, 156–175. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.10.013>
- Guglielminetti, P., Piccioni, C., Fusco, G., Licciardello, R., Musso, A. (2017). Rail Freight Network in Europe: Opportunities Provided by Re-launching the Single Wagonload System. *Transportation Research Procedia*, 25, 5185–5204. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.02.047>
- Crozet, Y. (2017). Rail freight development in Europe: how to deal with a doubly-imperfect competition? *Transportation Research Procedia*, 25, 425–442. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.420>
- Bouraima, M. B., Qiu, Y., Yusupov, B., Ndjegwes, C. M. (2020). A study on the development strategy of the railway transportation system in the West African Economic and Monetary Union (WAEMU) based on the SWOT/AHP technique. *Scientific African*, 8, e00388. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00388>
- Skoczylas, A., Stefaniak, P., Gryncewicz, W., Rot, A. (2023). The Concept of an Intelligent Decision Support System for Ore Transportation in Underground Mine. *Procedia Computer Science*, 225, 922–931. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.079>
- Katsman, M. D., Matsiuk, V. I., Myronenko, V. K. (2023). Modeling the reliability of transport under extreme conditions of operation as a queuing system with priorities. *Reliability: Theory & Applications*, 2 (73), 167–179. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2023-273-167-179>
- Matsiuk, V., Opalko, V., Savchenko, L., Zagurskiy, O., Matsiuk, N. (2023). Optimisation of transport and technological system parameters of an agricultural enterprise in conditions of partial uncertainty. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 14 (3), 61–71. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.61>
- Anufriyeva, T., Matsiuk, V., Shramenko, N., Ilchenko, N., Pryimuk, O., Lebid, V. (2023). Construction of a simulation model for the transportation of perishable goods along variable routes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (122)), 42–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277948>
- Karmanesh, Y., Bagheri, M., Mohammad Hasany, R., Saman Pishvaei, M. (2024). Two-stage stochastic programming approach for fleet sizing and allocating rail wagon under uncertain demand. *Computers & Industrial Engineering*, 188, 109878. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109878>
- Michal, G., Huynh, N., Munoz, A., Barthelemy, J. (2017). RailNet: A simulation model for operational planning of rail freight. *Transportation Research Procedia*, 25, 461–473. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.426>
- Prokhorchenko, A., Parkhomenko, L., Kyman, A., Matsiuk, V., Stepanova, J. (2019). Improvement of the technology of accelerated passage of low-capacity car traffic on the basis of scheduling of grouped trains of operational purpose. *Procedia Computer Science*, 149, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.111>
- Tang, X., Jin, J. G., Shi, X. (2022). Stockyard storage space allocation in large iron ore terminals. *Computers & Industrial Engineering*, 164, 107911. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107911>
- Song, L., Yu, L., Li, S. (2023). Route optimization of hazardous freight transportation in a rail-truck transportation network considering road traffic restriction. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138640. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138640>
- Okorokov, A. (2015). Development of techniques to optimize the technical parameters of transport cargo complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (74)), 9–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.39792>
- Ren, Q., Xu, M. (2024). Injury severity analysis of highway-rail grade crossing crashes in non-divided two-way traffic scenarios: A random parameters logit model. *Multimodal Transportation*, 3 (1), 100109. <https://doi.org/10.1016/j.multra.2023.100109>
- Schöbel, A., Aksentijevic, J., Stefan, M., Blieberger, J. (2017). Optimization of rail traffic flow using Kronecker algebra during maintenance on infrastructure. *Transportation Research Procedia*, 27, 545–552. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.040>
- Matsiuk, V., Galan, O., Prokhorchenko, A., Tverdome, V. (2021). An Agent-Based Simulation for Optimizing the Parameters of a Railway Transport System. *Proceedings of the 17th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume I: Main Conference*. <https://ceur-ws.org/Vol-3013/20210121.pdf>
- Kozachenko, D., Vernigora, R., Balanov, V., Berezov, N., Yelnikova, L., Germanyuk, Y. (2016). Evaluation of the Transition to the Organization of Freight Trains Traffic By the Schedule. *Transport Problems*, 11 (1), 41–48. <https://doi.org/10.20858/tp.2016.11.1.4>
- Namazov, M., Matsiuk, V., Bulgakova, I., Nikolaienko, I., Vernyhora, R. (2023). Agent-based simulation model of multimodal iron ore concentrate transportation. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 14 (1). <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.46>
- Bulakh, M., Okorokov, A., Baranovskiy, D. (2021). Risk System and Railway Safety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 666 (4), 042074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042074>
- Panchenko, S., Prokhorchenko, A., Dekarchuk, O., Gurin, D., Mkrtychian, D., Matsiuk, V. (2020). Development of a method for studying the impact of the time reserve value on the reliability of the train schedule based on the epidemiological SIR model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1002 (1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1002/1/012016>
- D'Ariano, A., Meng, L., Centulio, G., Corman, F. (2019). Integrated stochastic optimization approaches for tactical scheduling of trains and railway infrastructure maintenance. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 1315–1335. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.010>
- Pashchenko, F. F., Kuznetsov, N. A., Ryabykh, N. G., Minashina, I. K., Zakharova, E. M., Tsvetkova, O. A. (2015). Implementation of Train

- Scheduling System in Rail Transport using Assignment Problem Solution. *Procedia Computer Science*, 63, 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.326>
28. Yi, X., Marlière, G., Pellegrini, P., Rodriguez, J., Pesenti, R. (2023). Coordinated train rerouting and rescheduling in large infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 72, 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.410>
29. Samà, M., Meloni, C., D'Ariano, A., Corman, F. (2015). A multi-criteria decision support methodology for real-time train scheduling. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 5 (3), 146–162. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2015.08.001>
30. Gupta, P., Bazargan, M., McGrath, R. N. (2003). Simulation model for aircraft line maintenance planning. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*. <https://doi.org/10.1109/rams.2003.1182020>
31. Secchi, D., Grimm, V., Herath, D. B., Homberg, F. (2024). Modeling and theorizing with agent-based sustainable development. *Environmental Modelling & Software*, 171, 105891. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105891>
32. Hoffmann, T., Ye, M., Zino, L., Cao, M., Rauws, W., Bolderdijk, J. W. (2024). Overcoming inaction: An agent-based modelling study of social interventions that promote systematic pro-environmental change. *Journal of Environmental Psychology*, 94, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102221>
33. Achter, S., Borit, M., Cottineau, C., Meyer, M., Polhill, J. G., Radchuk, V. (2024). How to conduct more systematic reviews of agent-based models and foster theory development – Taking stock and looking ahead. *Environmental Modelling & Software*, 173, 105867. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105867>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309561

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ПОБУДОВИ АДАПТОВАНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗВІДУВАЛЬНО-ВОГНЕВОЇ СИСТЕМИ (с. 6–20)**О. В. Майстренко, А. С. Савельєв, О. М. Печорін, О. А. Караванов, С. В. Стеців, М. В. Швець, О. В. Лихолет, С. С. Войтенко, О. С. Хімченко, Ю. В. Кондратенко**

Об'єктом дослідження є модель функціонування розвідувально-вогневої системи.

Проблемою, що вирішувалась, є відсутність підходу до побудови моделі функціонування бойової системи, зокрема розвідувально-вогневої системи, яка б враховувала вплив всіх підсистем та включала необхідну кількість станів системи.

Запропоновано удосконалену методику побудови адаптованої моделі функціонування розвідувально-вогневої системи. Сутність удосконаленої методики полягає у формалізації процесів через визначення станів системи та інтенсивностей переходів із стану в стан. Удосконалена методика базується на рівняннях Колмогорова-Чепмена та методі побудови дерева цілей.

Особливістю удосконаленої методики є розбиття станів розвідувально-вогневої системи за рівнями ієрархії, що дозволяє врахувати більше необхідних станів системи.

Сфера практичного використання удосконаленої методики є процеси планування та управління під час розробки алгоритмів дій в ході проведення бойових операцій.

Розроблено адаптовану модель функціонування розвідувально-вогневої системи. Сутність моделі полягає у визначенні імовірностей перебування розвідувально-вогневої системи в певному стані на підставі рівнянь Чепмена-Колмогорова з урахуванням необхідного ступеня деталізації процесу її функціонування.

Особливістю запропонованої моделі є те, що вона дозволяє моделювати з урахуванням 39 станів системи з необхідною точністю як у цілому за систему, так і окремо за підсистемами. Це пояснюється тим, що перевірка адекватності моделі показала, що розбіжність результатів знаходиться в межах статистичної похибки від 2 до 9 %.

Область застосування адаптованої моделі функціонування розвідувально-вогневої системи є процеси вироблення рішення на застосування функціонування розвідувально-вогневої системи в ході бойових дій та управління ними в ході проведення бойових операцій.

Ключові слова: розвідувально-вогнева система, моделювання, рівняння Колмогорова-Чепмена, бойові дії, військове управління.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.309126

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ОБРОБКИ РІЗНОТИПНИХ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЕВРИСТИЧНОГО АЛГОРИТМУ (с. 21–28)**В. М. Рагулін, Salman Rasheed Owaid, Г. А. Кучук, С. В. Андрієнко, Є. М. Іванов, О. І. Литвиненко, Г. Т. Ляшенко, О. С. Моміт, О. В. Гаман, Т. Г. Гурський**

Проблеми обробки різнотипних даних є розривними, недиференційованими, а також мультимодальними. Найбільш поширеними підходами до обробки різнотипних даних є алгоритми ройового інтелекту (ройові алгоритми). Враховуюче зазначене, класичні градієнтні детерміновані алгоритми для вирішення завдань обробки різнотипних даних використовувати недоцільно. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення оперативності обробки різнотипних даних, що циркулюють в інформаційних системах, незалежно від кількості джерел даних. Об'єктом дослідження є ієрархічні системи. Запропоновано методику підвищення оперативності обробки різнотипних даних з використанням метаевристичного алгоритму. В основу дослідження покладений алгоритм рептилій (АР) для обробки різнотипних даних, що циркулюють в системі. Для навчання АР, використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують.

Оригінальність запропонованої методики полягає у розставленні АР з урахуванням невизначеності вихідних даних, удосконаленими процедурами глобального та локального пошуку. Також оригінальність дослідження полягає у визначенні місць харчування АР, що дозволяє обрати пріоритетність пошуку в заданому напрямку. Наступним елементом оригінальності дослідження є можливість вибору стратегії полювання АР, що дозволяє раціонально використовувати наявні обчислювальні ресурси системи. Наступним елементом оригінальності дослідження є визначення початкової швидкості кожного АР. Це дозволяє оптимізувати швидкість проведення досліджень кожним АР у визначеному напрямку досліджень. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 15–19 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати при обробці великих масивів даних.

Ключові слова: неструктуровані дані, штучні нейронні мережі, ройові алгоритми, унімодальні та мультимодальні функції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.308389

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ СТАНУ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОПУЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ (с. 29–36)**С. О. Кашкевич, І. Ф. Кашкевич, О. В. Кувшинов, В. В. Кузавков, Є. О. Живило, О. І. Дмитрієва, А. В. Лебединський, А. О. Писаренко, Yehor Zudikhin, А. В. Шишацький**

Об'єктом дослідження є складні динамічні об'єкти з ієрархічною структурою побудови. Запропоновано метод оцінки стану динамічних об'єктів з використанням популяційного алгоритму. В основу дослідження покладений алгоритм зграї змії – для пошуку рішення щодо стану динамічних об'єктів з ієрархічною структурою. Для навчання агентів змії (АЗ) – використовуються штучні нейронні мережі, що еволюціонують.

Оригінальність методу полягає у використанні додаткових удосконалених процедур, які дозволяють:

- визначити початкове положення АЗ з урахуванням типу невизначеності за рахунок використання корегульованого коефіцієнту на ступінь обізнаності про стан вихідної обстановки щодо об'єкту аналізу;
- врахувати початкову швидкість кожного АЗ, що дозволяє досліджувати складні за об'ємом функції;
- забезпечити універсальність стратегій пошуку місць харчування АЗ, чим дозволяється класифікувати тип даних, які підлягають обробці;
- регулювати швидкість руху АЗ шляхом регулювання температури оточуючого середовища, чим досягається визначення пріоритетності пошуку рішення у визначеній площині;
- досліджувати простори рішення функцій, що описуються нетиповими функціями, за рахунок використання процедур режиму експлуатації;
- гнучко регулювати перехід від режиму боротьби до режиму спарювання АЗ за рахунок використання коефіцієнту насичення їжею;
- проводити заміну непридатних для пошуку осіб за рахунок використання коефіцієнту народжуваності АЗ;
- проводити одночасний пошук рішення в різних напрямках, за рахунок зміни температури оточуючого середовища та регулюванням коефіцієнту насичення їжею.

Моделювання показало підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 13–19 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

Ключові слова: складні процеси, унімодальні функції, мультимодальні функції, складні та динамічні об'єкти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.310679

ОБГРУНТУВАННЯ УМОВ НАДІЙНОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЧЕРЕЗ БЕЗВІДМОВНЕ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «ВИДОБУТОК СИРОВИНИ – ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАЛІЗНИЧНІ МАРШРУТИ – МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО» (с. 37–48)

О. В. Заруба, А. М. Огороков, Р. В. Вернигора, І. Л. Журавель, Н. О. Баркалова

Об'єктом дослідження є процес формування страхових запасів на підприємствах металургійної промисловості. В умовах нерівномірного надходження сировини на металургійні підприємства внаслідок порушення процесу транспортування чи інших причин, виникає необхідність створення страхових запасів з метою забезпечення безперервності виробництва. При цьому необхідно врахувати наявні обмеження, такі як обмежена пропускна спроможність залізничних перегонів та неможливість організації паралельного руху поїздів тощо. Наявність цих обмежень робить неможливим застосування класичних методів вирішення подібних задач, таких як лінійне програмування. Тому для вирішення даної задачі розроблено імітаційну модель на основі дискретно-подієвого принципу у середовищі AnyLogic University Researcher з використанням бібліотек Oracle та компілятора Java SE. За допомогою моделі був формалізований процес обертання відправницьких маршрутів на полігоні залізниці з множиною постачальників та одним вантажоодержувачем. Критерієм оптимізації обрано мінімальні відхилення коливань запасів залізорудного концентрату та коксу. Аналіз результатів моделювання показав, що оптимальний розмір парку залізничних маршрутів на обраному полігоні обертання складає 30 одиниць; при цьому коефіцієнт їх використання складатиме 65 %. Також встановлено, що коливання запасів сировини мають «природний характер», що підтверджується нормальним розподілом щільності обсягів запасу. Значення коливань обсягів основної сировини за цих умов складатимуть для залізорудного концентрату ± 13115 т/добу, а коксу ± 5298 т/добу. Зменшення діапазону коливання обсягів сировини дозволить оптимізувати витрати на створення запасів та впорядкувати транспортну роботу підприємства із забезпечення сировиною.

Ключові слова: страховий запас, відправницький маршрут, дискретно-подієвий принцип, популяція агентів, рівень відмовостійкості.