

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276977**  
**FRAMEWORK BASED ON CONFORMAL**  
**PREDICTORS AND POWER MARTINGALES**  
**FOR DETECTION OF FIXED FOOTBALL**  
**MATCHES (p. 6–15)**

**Oleg Chertov**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0087-1028>

**Ivan Zhuk**

National Technical University of Ukraine  
 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8440-427X>

One of the difficult problems that arises during football competitions is match-fixing. In terms of negative effect, such shameful phenomena are commensurate with the problem of doping. This paper has analyzed known methods for the possible detection of match-fixing, including sociological analysis of participants in match-fixing, methods for predicting the outcome of the match, analysis of bets and performance of the player or team during the match. It is noted that the assessment of match-fixed results in the considered methods is carried out based on the analysis of a large amount of data. But such information is not always available. Given the insufficient formalization of the problem area, it is relevant to conduct research that does not require a large amount of non-publicly available data but, at the same time, makes it possible to effectively identify potentially suspicious matches regarding a fixed result. The description of the input data is formalized in the form of a data structure containing a chronological history of the results of football seasons, the ranking of teams and matches of the season depending on the overall result of the teams in the season. A method for detecting suspicious football matches with a fixed result has been built using conformal predictors and power martingales within which a new measure of non-conformity has been introduced to determine atypical football matches. To obtain a generalization of the statistics of atypical matches, a power submartingale was used. Evaluation of the effectiveness of the developed method for detecting suspicious football matches was carried out based on precision and recall of the classification metrics using data on the 2013–2014 season of the French II League. The quality of work of the developed method reaches 85 % in terms of precision metric, 96 % in terms of recall metric, and 0.853 in terms of metric  $F_1$ .

**Keywords:** football match, fixed result, measure of non-conformity,  $p$ -value for conformity, degree of difference.

### References

- Lilley, E. (2015). A Review of the recommendations of the 'Report of the Sports Betting Integrity Panel' in assessing the progress towards tackling Match-fixing in Sport. *Laws of the Game*, 1 (1). Available at: <http://journals.staffs.ac.uk/index.php/lotg/article/view/79/172>
- Huggins, M. (2018). Match-Fixing: A Historical Perspective. *The International Journal of the History of Sport*, 35 (2-3), 123–140. doi: <https://doi.org/10.1080/09523367.2018.1476341>
- Constandt, B., Manoli, E. (2022). Understanding match-fixing in sport: Theory and practice. Routledge. doi: <https://doi.org/10.4324/9781003162681>
- Hill, D. (2009). How Gambling Corruptors Fix Football Matches. *European Sport Management Quarterly*, 9 (4), 411–432. doi: <https://doi.org/10.1080/16184740903332018>
- Chertov, O., Tavrov, D. (2014). Microfiles as a Potential Source of Confidential Information Leakage. *Studies in Computational Intelligence*, 87–114. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-08624-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-08624-8_4)
- Tzeng, C.-C., Lee, P.-C. (2020). Understanding match-fixing from the perspective of social capital: A case study of Taiwan's professional baseball system. *International Review for the Sociology of Sport*, 56 (4), 558–577. doi: <https://doi.org/10.1177/1012690220917060>
- Tzeng, C.-C., Ohl, F. (2022). Examining the fabrics of match-fixing: The underground sport betting system. *International Review for the Sociology of Sport*, 58 (1), 188–207. doi: <https://doi.org/10.1177/10126902221095688>
- Forrest, D., McHale, I. G. (2019). Using statistics to detect match fixing in sport. *IMA Journal of Management Mathematics*, 30 (4), 431–449. doi: <https://doi.org/10.1093/imaman/dpz008>
- IOC targets match fixers. Available at: [https://www.bbc.co.uk/blogs/davidbond/2011/03/match\\_fixing\\_is\\_now\\_a.html](https://www.bbc.co.uk/blogs/davidbond/2011/03/match_fixing_is_now_a.html)
- Manoli, A. E., Antonopoulos, G. A. (2014). 'The only game in town?': football match-fixing in Greece. *Trends in Organized Crime*, 18 (3), 196–211. doi: <https://doi.org/10.1007/s12117-014-9239-3>
- Yilmaz, S., Manoli, A. E., Antonopoulos, G. A. (2018). An anatomy of Turkish football match-fixing. *Trends in Organized Crime*, 22 (4), 375–393. doi: <https://doi.org/10.1007/s12117-018-9345-8>
- Razali, N., Mustapha, A., Yatim, F. A., Ab Aziz, R. (2017). Predicting Football Matches Results using Bayesian Networks for English Premier League (EPL). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 226, 012099. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/226/1/012099>
- Anfilets, S., Bezobrazov, S., Golovko, V., Sachenko, A., Komar, M., Dolny, R., Kasyanik, V. et al. (2020). Deep multilayer neural network for predicting the winner of football matches. *International Journal of Computing*, 19 (1), 70–77. doi: <https://doi.org/10.47839/ijc.19.1.1695>
- Narizuka, T., Yamazaki, Y., Takizawa, K. (2021). Space evaluation in football games via field weighting based on tracking data. *Scientific Reports*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84939-7>
- Titman, A. C., Costain, D. A., Ridall, P. G., Gregory, K. (2014). Joint Modelling of Goals and Bookings in Association Football. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 178 (3), 659–683. doi: <https://doi.org/10.1111/rssa.12075>
- Van Der Hoeven, S., De Waegeneer, E., Constandt, B., Willem, A. (2019). Match-fixing: Moral challenges for those involved. *Ethics & Behavior*, 30 (6), 425–443. doi: <https://doi.org/10.1080/10508422.2019.1667238>
- Gudmundsson, J., Wolle, T. (2014). Football analysis using spatio-temporal tools. *Computers, Environment and Urban Systems*, 47, 16–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbusys.2013.09.004>

18. Janetzko, H., Sacha, D., Stein, M., Schreck, T., Keim, D. A., Deussen, O. (2014). Feature-driven visual analytics of soccer data. 2014 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST). doi: <https://doi.org/10.1109/vast.2014.7042477>
19. Historical analysis of closing odds. Available at: <https://github.com/Lisandro79/BeatTheBookie>
20. Chertov, O., Zhuk, I., Serdyuk, A. (2021). Search of the Deviation from the Natural Process Using Stepanets Approach for Classification of Functions. 2021 11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs53288.2021.9660997>
21. Vovk, V. (2014). The Basic Conformal Prediction Framework. Conformal Prediction for Reliable Machine Learning, 3–19. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398537-8.00001-8>
22. Ho, S.-S., Wechsler, H. (2010). A Martingale Framework for Detecting Changes in Data Streams by Testing Exchangeability. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32 (12), 2113–2127. doi: <https://doi.org/10.1109/tpami.2010.48>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277585**  
**DESIGN OF MECHANISMS FOR ENSURING**  
**THE EXECUTION OF TASKS IN PROJECT**  
**PLANNING (p. 16–22)**

**Oksana Mulesa**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6117-5846>

**Petro Horvat**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3972-0115>

**Tamara Radivilova**

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5975-0269>

**Volodymyr Sabadosh**

Intellias Company, Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-9933-444X>

**Oleksii Baranovskyi**

Blekinge Institute of Technology, Blekinge, Sweden  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5629-5205>

**Sergii Duran**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-1910-4490>

This paper reports an analysis of aspects of the project planning stage. The object of research is the decision-making processes that take place at this stage. This work considers the problem of building a hierarchy of tasks, their distribution among performers, taking into account restrictions on financial costs and duration of project implementation.

Verbal and mathematical models of the task of constructing a hierarchy of tasks and other tasks that take place at the stage of project planning were constructed.

Such indicators of the project implementation process efficiency were introduced as the time, cost, and cost-time effi-

ciency. In order to be able to apply these criteria, the tasks of estimating the minimum value of the duration of the project and its minimum required cost were considered. Appropriate methods have been developed to solve them.

The developed iterative method for assessing the minimum duration of project implementation is based on taking into account the possibility of simultaneous execution of various tasks. The method of estimating the minimum cost of the project is to build and solve the problem of Boolean programming.

The values obtained as a result of solving these problems form an «ideal point», approaching which is enabled by the developed iterative method of constructing a hierarchy of tasks based on the method of sequential concessions. This method makes it possible to devise options for management decisions to obtain valid solutions to the problem. According to them, the decision maker can introduce a concession on the value of one or both components of the «ideal point» or change the input data to the task.

The models and methods built can be used when planning projects in education, science, production, etc.

**Keywords:** decision-making, distribution of performers, cost-time efficiency, ideal point.

## References

1. Picciotto, R. (2020). Towards a 'New Project Management' movement? An international development perspective. International Journal of Project Management, 38 (8), 474–485. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.08.002>
2. Chen, Z., Wang, F. (2022). Research on Life-Cycle Project Cost Management Based on Random Matrix Weight Algorithm. Mathematical Problems in Engineering, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/5211409>
3. Ernø-Kjølhede, E. (2000). Project management theory and the management of research projects. CBS. Available at: <https://research-api.cbs.dk/ws/portalfiles/portal/58880359/6308.pdf>
4. Mulesa, O., Myronyuk, I., Kachmar, O., Jakab, F., Yatsyna, O. (2022). Decision-Making Modeling in Educational Process Organization Under the Conditions of Crisis Situations Forecasting. 2022 20th International Conference on Emerging ELearning Technologies and Applications (ICETA). doi: <https://doi.org/10.1109/iceta57911.2022.9974909>
5. Lock, D. (2020). Project management. Routledge. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315245911>
6. Kerzner, H. (2019). Using the project management maturity model: strategic planning for project management. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119559078>
7. Peres, F., Castelli, M. (2021). Combinatorial Optimization Problems and Metaheuristics: Review, Challenges, Design, and Development. Applied Sciences, 11 (14), 6449. doi: <https://doi.org/10.3390/app11146449>
8. Syan, C. S., Ramsoobag, G. (2019). Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review. Reliability Engineering & System Safety, 190, 106520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106520>
9. Hnatiienko, H. (2019). Choice Manipulation in Multicriteria Optimization Problems. Selected Papers of the XIX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Security» (ITS 2019), 234–245. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2577/paper19.pdf>
10. Mulesa, O., Snytyuk, V., Myronyuk, I. (2019). Optimal alternative selection models in a multi-stage decision-making process. EUREKA: Physics and Engineering, 6, 43–50. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.001005>

11. Tsmots, I., Teslyuk, V., Teslyuk, T., Lukashchuk, Y. (2021). The Method and Simulation Model of Element Base Selection for Protection System Synthesis and Data Transmission. *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control*, 11 (5), 518–530. doi: <https://doi.org/10.2174/2210327910999201022194630>
12. Verma, S., Pant, M., Snael, V. (2021). A Comprehensive Review on NSGA-II for Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems. *IEEE Access*, 9, 57757–57791. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3070634>
13. Vesselinova, N., Steinert, R., Perez-Ramirez, D. F., Boman, M. (2020). Learning Combinatorial Optimization on Graphs: A Survey With Applications to Networking. *IEEE Access*, 8, 120388–120416. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3004964>
14. Hettiachchi, D., Kostakos, V., Goncalves, J. (2022). A Survey on Task Assignment in Crowdsourcing. *ACM Computing Surveys*, 55 (3), 1–35. doi: <https://doi.org/10.1145/3494522>
15. Kumai, K., Matsubara, M., Shiraiishi, Y., Wakatsuki, D., Zhang, J., Shionome, T. et al. (2018). Skill-and-Stress-Aware Assignment of Crowd-Worker Groups to Task Streams. *Proceedings of the AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing*, 6, 88–97. doi: <https://doi.org/10.1609/hcomp.v6i1.13328>
16. Bakshi, S., Feng, T., Yan, Z., Chen, D. (2019). A Regularized Quadratic Programming Approach to Real-Time Scheduling of Autonomous Mobile Robots in a Prioritized Task Space. *2019 American Control Conference (ACC)*. doi: <https://doi.org/10.23919/acc.2019.8814986>
17. Yang, K., Wang, Y., Fan, S., Mosleh, A. (2021). Multi-Criteria Spare Parts Classification Using the Deep Convolutional Neural Network Method. *Applied Sciences*, 11 (15), 7088. doi: <https://doi.org/10.3390/app11157088>
18. Bodnarchuk, I., Duda, O., Kharchenko, A., Kunanets, N., Matusiuk, O., Pasichnyk, V. (2019). Multicriteria Choice of Software Architecture Using Dynamic Correction of Quality Attributes. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 419–427. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_39)
19. Biloshchytskyi, A., Biloshchytska, S., Kuchansky, A., Bielova, O., Andrashko, Y. (2018). Infocommunication system of scientific activity management on the basis of project-vector methodology. *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. doi: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336186>
20. Mulesa, O. (2015). Methods of considering the subjective character of input data in voting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (73)), 20–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36699>
21. Mulesa, O., Geche, F. (2016). Designing fuzzy expert methods of numeric evaluation of an object for the problems of forecasting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (81)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.70515>
22. Tanabe, R., Ishibuchi, H. (2020). A Review of Evolutionary Multimodal Multiobjective Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 24 (1), 193–200. doi: <https://doi.org/10.1109/tevc.2019.2909744>
23. Lin, Q., Lin, W., Zhu, Z., Gong, M., Li, J., Coello, C. A. C. (2021). Multimodal Multiobjective Evolutionary Optimization With Dual Clustering in Decision and Objective Spaces. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 25 (1), 130–144. doi: <https://doi.org/10.1109/tevc.2020.3008822>
24. Bakurova, A., Ropalo, H., Tereshchenko, E. (2021). Analysis of the Effectiveness of the Successive Concessions Method to Solve the Problem of Diversification. *MoMLeT+ DS*, 231–242. Available at: <https://eur-ws.org/Vol-2917/paper21.pdf>
25. Koliechkina, L. N., Dvirna, O. A., Khovben, S. V. (2021). A Two-Step Method for Solving Vector Optimization Problems on Permutation Configuration. *Cybernetics and Systems Analysis*, 57 (3), 442–454. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00369-3>
26. Papke-Shields, K. E., Boyer-Wright, K. M. (2017). Strategic planning characteristics applied to project management. *International Journal of Project Management*, 35 (2), 169–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.10.015>
27. Globerson, S., Zwikael, O. (2002). The Impact of the Project Manager on Project Management Planning Processes. *Project Management Journal*, 33 (3), 58–64. doi: <https://doi.org/10.1177/875697280203300308>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277608**  
**IMPROVEMENT OF THE SOLUTION**  
**SEARCH METHOD BASED ON THE CUCKOO**  
**ALGORITHM (p. 23–30)**

**Basem Abdullah Mohammed**

Bilad Alrafidain University College, Diala, Iraq  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5745-0964>

**Oleksandr Zhuk**

The National Defence University of Ukraine  
 named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3546-1507>

**Roman Vozniak**

The National Defence University of Ukraine  
 named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3789-2837>

**Ihor Borysov**

Scientific-Research Institute  
 of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2276-9913>

**Volodymyr Petrozhalko**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military  
 Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3240-6948>

**Igor Davydov**

Central Scientific Research Institute of Armament and Military  
 Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9263-3267>

**Oleh Borysov**

Military Institute of Telecommunications and Information  
 Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9460-2605>

**Oleksandr Yefymenko**

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

**Nadiia Protas**

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

**Svitlana Kashkevich**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4448-3839>

An improved method of finding solutions based on the cuckoo algorithm is proposed. The research object is the decision-making support systems. The research subject is the decision making process in management tasks using artificial intelligence methods. The hypothesis of the research is to increase the efficiency of decision making with a given assessment reliability. The proposed method is based on a combination of the cuckoo algorithm and evolving artificial neural networks. The method has the following differences:

- an additional processing of the source data takes place taking into account the uncertainty about the state of the control objects and the type of data noise about the state of the control object is additionally taken into account;

- the state model of the control object is adjusted taking into account the available computing resources of the system;

- added procedures to reduce the probability of detecting nests and reducing the length of the cuckoo's step;

- knowledge bases about management objects are additionally taught. The training procedure consists in learning the synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function and the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The effectiveness of the proposed method was evaluated and it was established that the proposed modification provides a better value of the objective function compared to the results obtained by other authors and ensures the fulfillment of all restrictions. The specified example showed an increase in the efficiency of data processing at the level of 21–28 % due to the use of additional improved procedures. It is advisable to use the proposed method in decision making support systems of automated control systems.

**Keywords:** cuckoo algorithm, artificial neural networks, bio-inspired algorithms, heterogeneous control 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 viiskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2015\\_1\\_7](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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. doi: <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. doi: <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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Ye., Trotsko, O., Neroznak, Ye. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. Russian Journal of Industrial Economics, 12 (1), 97–106. doi: <http://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
8. Zagranovskaya, A. V., Eyssner, Yu. N. (2017). Modelirovanie stseneriev razvitiya ekonomicheskoy situatsii na osnove nechetkikh kognitivnykh kart. Sovremennaya Ekonomika: Problemy i Resheniya, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
9. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii, 13, 31–35.
10. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
11. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. Automation in Construction, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
12. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. Expert Systems with Applications, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
13. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
14. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? Decision Support Systems, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
15. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. Future Generation Computer Systems, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
16. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. CIRP Annals, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
17. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-59-2013>
18. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
19. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivnyy podkhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki, 3, 239–250.
20. Orouskhani, M., Orouskhani, Y., Mansouri, M., Teshnehlab, M. (2013). A Novel Cat Swarm Optimization Algorithm for Unconstrained Optimization Problems. International Journal of Information Technology and Computer Science, 5 (11), 32–41. doi: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2013.11.04>

21. Gurko, A., Hurko, V. (2022). Bio-inspired methods for planning the path of mobile robots. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 98, 37–50. doi: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2022.98.0.37>
22. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
23. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellectual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnitsa: «UNIVERSUM», 320.
24. Emel'yanov, V. V., Kureychik, V. V., Kureychik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
25. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
26. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
27. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
28. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
29. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
30. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
31. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
32. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
33. Lovska, A. A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. Available at: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_1/10%20Lovska.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf)
34. Koshlan, A., Sahnikova, 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
35. Lovska, A., Fomin, O. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger car body on a train ferry. *Acta Polytechnica*, 60 (6). doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0478>
36. 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 (05), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
37. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
38. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276168**

**DEVELOPMENT OF A METHOD OF COMPLEX ANALYSIS AND MULTIDIMENSIONAL FORECASTING OF THE STATE OF INTELLIGENCE OBJECTS (p. 31–41)**

**Olena Nechporuk**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8203-7998>

**Oleg Sova**

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>

**Andrii Shyshatskyi**

Research Center for Trophy and Perspective Weapons and Military Equipment, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>

**Serhii Kravchenko**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8163-8027>

**Oleksii Nalapko**

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

**Oleh Shknaï**

Scientific-Research Institute

of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

**Serhii Klimovych**

Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7209-2176>

**Olha Kravchenko**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0024-8789>**Oleksandr Kovbasiuk**

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>**Anton Bychkov**

Central Scientifically-Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2391-4190>

A method of complex analysis and multidimensional forecasting of the state of intelligence objects is proposed to increase the accuracy of their state assessment. The object of research is decision support systems. The subject of research is the process of decision-making in management problems using artificial intelligence methods. The hypothesis of research is to increase the efficiency of decision-making with a given assessment reliability. The proposed method is based on a combination of fuzzy cognitive and temporal models, an advanced cat swarm optimization algorithm and evolving artificial neural networks. The method has the following sequence of actions:

- input of initial data;
- processing of initial data taking into account uncertainty about the state of heterogeneous intelligence objects;
- construction of a fuzzy temporal ontological model of heterogeneous intelligence objects;
- conclusion on the state of heterogeneous intelligence objects;
- correction of the fuzzy temporal ontological model;
- building a fuzzy relational temporal cognitive model of heterogeneous intelligence objects and forecasting the state of the intelligence object;
- training knowledge bases on heterogeneous intelligence objects.

The training procedure consists in learning the synaptic weights of the artificial neural network, the type and parameters of the membership function, as well as the architecture of individual elements and the architecture of the artificial neural network as a whole. The method makes it possible to increase the efficiency of data processing at the level of 18–25 % by using additional improved procedures. The proposed method should be used to solve the problems of evaluating complex and dynamic heterogeneous intelligence objects, characterized by a high degree of complexity.

**Keywords:** multidimensional forecasting, artificial intelligence, bio-inspired algorithms, heterogeneous intelligence objects.

**References**

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok integrovanykh system zviazku ta pere-dachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. Ozbroiennia ta viyskova tekhnika, 1, 35–39. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2015\\_1\\_7](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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Sahnikova, 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. doi: <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. doi: <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. doi: <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. doi: <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. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
8. Rotshteyn A. P. (1999). Intel'ktual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti. Vinnitsa: «UNIVERSUM», 320.
9. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. Russian Journal of Industrial Economics, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>
10. Zagranovskaya, A. V., Eissner, Y. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. Modern economics: problems and solutions, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
11. Zhaldak, H. (2021). Determination of features of development of modern theories of management. Technology Audit and Production Reserves, 1 (4 (57)), 10–13. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225380>
12. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
13. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. Automation in Construction, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
14. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. Expert Systems with Applications, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. Procedia Computer Science, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>

16. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Papa, A., Shemet, Y., Yarovi, A. (2021). Analysis of fuzzy logic methods for forecasting customer churn. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (57)), 12–14. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225285>
21. Chapran, S. (2021). Analysis of methodological approaches to the construction of dynamic systems of investment in information development. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (4 (62)). doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.248312>
22. Chandar, K. S., Punjabi, H. (2022). Cat Swarm Optimization Algorithm Tuned Multilayer Perceptron for Stock Price Prediction. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, 17 (7), 1–15. doi: <https://doi.org/10.4018/ijwltt.303113>
23. Koshlan, A., Sahnikova, 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
24. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
25. Emel'yanov, V. V., Kureychik, V. V., Kureychik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyutsionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
26. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
27. Levashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
28. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
29. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
30. 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. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
31. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
32. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
33. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the second-order adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
34. 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
35. Lovska, A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54.
36. Lovska, A., Fomin, O. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger car body on a train ferry. *Acta Polytechnica*, 60 (6). doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0478>
37. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shkna, 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277948**

**CONSTRUCTION OF A SIMULATION MODEL FOR THE TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS ALONG VARIABLE ROUTES (p. 42–51)**

**Tetyana Anufriyeva**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8052-0852>

**Viacheslav Matsiuk**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2355-2564>

**Natalya Shramenko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4101-433X>

**Nataliia Ilchenko**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4052-571X>

**Olga Prymuk**

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1265-272X>

**Viktoriia Lebid**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1260-3760>

The object of research is the system of organization of transportation of perishable goods. The study subject is the technological process of transportation of perishable goods by small shipments. The problem solved was a multicriteria optimization of the technological process of delivery of perishable goods by small shipments. The results are the built simulation model for the distribution of small consignments of perishable goods and the optimization according to the criterion of minimizing delivery time while limiting the rational use of available vehicles. To construct a simulation model, discrete-event and agent-based principles were used.

The model built combines the solution to the transport problem and the traveling salesman problem simultaneously with taking into account the stochastic duration of technological operations. When forming the distribution route, the model algorithm takes into account the minimum allowable batch size to the  $i$ -th destination, which allows each time to build a new unique route of the vehicle.

Unlike existing ones, the model constructed allows taking into account the peculiarities of the distribution network, the minimum consignment of cargo, and dynamically changing the route in accordance with the available cargo. Each time the cargo mass arrives at the logistics terminal, the condition of a sufficient quantity of goods intended for delivery to points of sale is checked. If the quantity of cargo sufficient for shipment is equal to the capacity of the car body, a new information message is generated on the availability of goods ready for shipment.

Scope and conditions of practical use of the obtained results include transport companies, retail chains, distribution logistics.

**Keywords:** perishable goods, minimum batch, small shipments, simulation modeling, discrete-event modeling, agent-based modeling.

## References

- Moskvichenko, I., Stadnik, V., Krysyuk, L. (2022). On determining the optimal schemes for importing frozen fish to Ukraine. *Economy and Society*, 37. doi: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-37-31>
- Mazaraki, A., Matsiuk, V., Ilchenko, N., Kavun-Moshkovska, O., Grygorenko, T. (2020). Development of a multimodal (railroad-water) chain of grain supply by the agent-based simulation method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (108)), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.220214>
- Matsiuk, V., Galan, O., Prokhorchenko, A., Tverdomed, V. (2021). An Agent-Based Simulation for Optimizing the Parameters of a Railway Transport System. *ICTERI*. Kherson, 121–128.
- Matsiuk, V., Ilchenko, N., Pryimuk, O., Kochubei, D., Prokhorchenko, A. (2022). Risk assessment of transport processes by agent-based simulation. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0105913>
- Katsman, M. D., Myronenko, V. K., Matsiuk, V. I., Lapin, P. V. (2021). Approach to determining the parameters of physical security units for a critical infrastructure facility. *Reliability: Theory & Applications*, 16 (1), 71–80. doi: <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2021-161-71-80>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1002/1/012016>
- Abbas, H., Zhao, L., Gong, X., Faiz, N. (2023). The perishable products case to achieve sustainable food quality and safety goals implementing on-field sustainable supply chain model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101562>
- Alvarez, A., Cordeau, J.-F., Jans, R., Munari, P., Morabito, R. (2020). Formulations, branch-and-cut and a hybrid heuristic algorithm for an inventory routing problem with perishable products. *European Journal of Operational Research*, 283 (2), 511–529. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.11.015>
- Deng, X., Yang, X., Zhang, Y., Li, Y., Lu, Z. (2019). Risk propagation mechanisms and risk management strategies for a sustainable perishable products supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1175–1187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.014>
- Koszorek, M., Huk, K. (2020). Selected logistics processes in the flow of perishable products. *Acta Logistica*, 7 (3), 209–215. doi: <https://doi.org/10.22306/al.v7i3.181>
- Lejarza, F., Baldea, M. (2020). Closed-loop real-time supply chain management for perishable products. *IFAC-PapersOnLine*, 53 (2), 11458–11463. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.584>
- Liu, A., Zhu, Q., Xu, L., Lu, Q., Fan, Y. (2021). Sustainable supply chain management for perishable products in emerging markets: An integrated location-inventory-routing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 150, 102319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102319>
- Mousavi, R., Bashiri, M., Nikzad, E. (2022). Stochastic production routing problem for perishable products: Modeling and a solution algorithm. *Computers & Operations Research*, 142, 105725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105725>
- Melkonyan, A., Gruchmann, T., Lohmar, F., Kamath, V., Spinler, S. (2020). Sustainability assessment of last-mile logistics and distribution strategies: The case of local food networks. *International Journal of Production Economics*, 228, 107746. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107746>
- Vieira, A. A. C., Dias, L. M. S., Santos, M. Y., Pereira, G. A. B., Oliveira, J. A. (2019). Supply chain hybrid simulation: From Big Data to distributions and approaches comparison. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 97, 101956. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101956>
- Orozonova, A., Gapurbaeva, S., Kydykov, A., Prokopenko, O., Prause, G., Lytvynenko, S. (2022). Application of smart logistics technologies in the organization of multimodal cargo delivery. *Transportation Research Procedia*, 63, 1192–1198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.124>
- Shramenko, N., Muzylyov, D., Shramenko, V. (2020). Methodology of costs assessment for customer transportation service of small perishable cargoes. *International Journal of Business Performance Management*, 21 (1/2), 132. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbpm.2020.106113>
- Shramenko, V., Muzylyov, D., Shramenko, N. (2020). Integrated business-criterion to choose a rational supply chain for perishable agricultural goods at automobile transportations. *International Journal of Business Performance Management*, 21 (1/2), 166. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbpm.2020.10027634>
- Saiensus, M. A. (2018). Analysis of cold logistics market in Ukraine: problem and prospects of development. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriya:*



- Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo, 20 (3), 18–22. Available at: [http://www.visnyk-econom.uzhnu.ua/archive/20\\_3\\_2018ua/6.pdf](http://www.visnyk-econom.uzhnu.ua/archive/20_3_2018ua/6.pdf)
20. Tiwari, K. V., Sharma, S. K. (2023). An optimization model for vehicle routing problem in last-mile delivery. *Expert Systems with Applications*, 222, 119789. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119789>
  21. Naumenko, M., Valiavska, N., Saiensus, M., Ptashchenko, O., Nikitiuk, V., Saliuk, A. (2020). Optimization Model of the Enterprise Logistics System Using Information Technologies. *International Journal of Management*, 11 (5), 54–64. Available at: <https://ssrn.com/abstract=3628982>
  22. Matskul, V., Kovalyov, A., Saiensus, M. (2021). Optimization of the cold supply chain logistics network with an environmental dimension. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 628 (1), 012018. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/628/1/012018>
  23. Ushakova, I. (2020). Application of computer agent modeling for optimization of the assembly process. *Information Processing Systems*, 1 (160), 18–25. doi: <https://doi.org/10.30748/soi.2020.160.02>
  24. Ptytsia, N. (2019). City Retail Network Influence on Transportation Expenses. *SHS Web of Conferences*, 67, 03011. doi: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196703011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276977

**ВИЯВЛЕННЯ ФУТБОЛЬНИХ МАТЧІВ З ФІКСОВАНИМ РЕЗУЛЬТАТОМ ЗА ДОПОМОГОЮ КОНФОРМНИХ ПРЕДИКТОРІВ І СТЕПЕНЕВИХ МАРТИНГАЛІВ (с. 6–15)**

О. Р. Чергов, І. С. Жук

Однією зі складних проблем, яка виникає при проведенні футбольних змагань, є договірні матчі. За негативним ефектом такі ганебні явища співмірні з проблемою допінгу. Проведено аналіз відомих методів щодо можливого виявлення договірних матчів, серед яких: соціологічний аналіз учасників договірних матчів, методи прогнозування результату матчу, аналізу ставок та продуктивності гравця або команди під час матчу. Відмічено, що оцінка фіксованості результатів матчів у розглянутих методах проводиться на основі аналізу великої кількості даних. Але така інформація не завжди є доступною. Враховуючи недостатню формалізованість проблемної області, актуальним є проведення досліджень, які не вимагають великої кількості непублічно доступних даних, але при цьому дозволяють ефективно виявляти потенційно підозрілі щодо фіксованого результату матчі. Формалізовано опис вхідних даних у вигляді структури даних, що містить хронологічну історію результатів футбольних сезонів, ранжування команд і матчів сезону в залежності від загального результату команд у сезоні. Розроблено метод виявлення підозрілих футбольних матчів з фіксованим результатом за допомогою конформних предикторів і степеневих мартингалів, у рамках якого введено нову міру неконформності для визначення нетипових футбольних матчів. Для отримання узагальненості статистики нетиповості матчів використано степеневий субмартингал. Оцінка ефективності розробленого методу виявлення підозрілих футбольних матчів проведено на основі метрик точності та повноти класифікації з використанням даних про сезон 2013–2014 Французької Ліги. Якість роботи розробленого методу сягає 85 % за метрикою точності, 96 % за метрикою повноти і 0,853 за метрикою  $F_1$ .

**Ключові слова:** футбольний матч, фіксований результат, міра неконформності, ступінь конформності, ступінь відмінності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277585

**РОЗРОБКА МЕХАНІЗМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ПРОЄКТІВ (с. 16–22)**

О. Ю. Мулеса, П. П. Горват, Т. А. Радівілова, В. М. Сабадош, Oleksii Baranovskyi, С. С. Дуран

Дослідження присвячене аналізу аспектів етапу планування проєктів. Об'єктом дослідження є процеси прийняття рішень, які мають місце на даному етапі. В роботі розглянуто проблему побудови ієрархії завдань, їх розподілу між виконавцями, з урахуванням обмежень на фінансові витрати та тривалість реалізації проєкту.

Було виконано вербально-математичні моделі задачі побудови ієрархії завдань та інших задач, які мають місце на етапі планування проєктів.

Введено такі наступні показники ефективності процесу реалізації проєкту: часова, вартісна та вартісно-часова ефективність. Для можливості застосування вказаних критеріїв розглядаються задачі оцінювання мінімального значення тривалості реалізації проєкту та його мінімально-необхідної вартості. Для їх розв'язання розроблено відповідні методи.

Розроблений ітераційний метод оцінювання мінімальної тривалості реалізації проєкту базується на врахуванні можливості одночасного виконання різних завдань. Метод оцінювання мінімальної вартості проєкту полягає у побудові та розв'язанні задачі булевого програмування.

Значення, отримані в результаті розв'язання вказаних задач, утворюють «ідеальну точку», наблизитись до якої і дозволяє розроблений ітераційний метод побудови ієрархії завдань на основі методу послідовних поступок. Даний метод дозволяє виробити варіанти управлінських рішень для отримання допустимих розв'язків задачі. Відповідно до них, особа, що приймає рішення, може ввести поступку на значення одного чи обох компонент «ідеальної точки» або змінити вхідні дані до задачі.

Розроблені моделі та методи можуть використовуватися при плануванні проєктів в освіті, науці, виробництві тощо.

**Ключові слова:** прийняття рішень, розподіл виконавців, вартісно-часова ефективність, ідеальна точка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277608

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПОШУКУ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ЗОЗУЛІ (с. 23–30)**

Basem Abdullah Mohammed, О. В. Жук, Р. М. Возняк, І. В. Борисов, В. В. Петрожалко, І. Г. Давидов, О. В. Борисов, О. В. Єфименко, Н. М. Протас, С. О. Кашкевич

Запропоновано удосконалену методику пошуку рішень на основі алгоритму зозулі. Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою методів штучного інтелекту. Гіпотезою дослідження є підвищення оперативності прийняття рішення при заданій достовірності оцінювання. Запропонована методика заснована на поєднанні алгоритму зозулі та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Методика має наступні відмінності:

- додатково відбувається оброблення вихідних даних з урахуванням невизначеності про стан об'єктів управління та додатково враховується тип зашумленості даних про стан об'єкту управління;
- здійснюється коригування моделі стану об'єкту управління з урахуванням наявних обчислювальних ресурсів системи;
- додані процедури зменшення ймовірності виявлення гнізд та зменшення довжини кроку зозулі;

– додатково відбувається навчання баз знань про об'єкти управління. Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Проведено оцінку ефективності запропонованої методики і встановлено, що запропонована модифікація забезпечують краще значення цільової функції порівняно з результатами, отриманими іншими авторами та забезпечує виконання всіх обмежень. Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 21–28 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати в системах підтримки прийняття рішень автоматизованих системах управління.

**Ключові слова:** алгоритм зозулі, штучні нейронні мережі, біоінспіровані алгоритми, неоднорідні об'єкти управління.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276168

#### РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ ТА БАГАТОВИМІРНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ОБ'ЄКТІВ РОЗВІДКИ (с. 31–41)

О. П. Нечипорук, О. Я. Сова, А. В. Шишацький, С. І. Кравченко, О. Л. Налапко, О. В. Шкнай, С. О. Клімович,  
О. С. Кравченко, О. В. Ковбасюк, А. М. Бичков

Запропоновано методику комплексного аналізу та багатовимірного прогнозування стану об'єктів розвідки для підвищення точності оцінювання їх стану. Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес прийняття рішення в задачах управління за допомогою методів штучного інтелекту. Гіпотезою дослідження є підвищення оперативності прийняття рішення при заданій достовірності оцінювання. Запропонована методика заснована на поєднанні нечітких когнітивних та темпоральних моделей, удосконаленого алгоритму кошачої зграї та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Методика має наступну послідовність дій:

- введення вихідних даних;
- оброблення вихідних даних з урахуванням невизначеності про стан неоднорідних об'єктів розвідки;
- побудова нечіткої темпоральної онтологічної моделі неоднорідних об'єктів розвідки;
- висновок щодо стану неоднорідних об'єктів розвідки;
- корегування нечіткої темпоральної онтологічної моделі;
- побудова нечіткої реляційної темпоральної когнітивної моделі неоднорідних об'єктів розвідки та прогнозування стану об'єкту розвідки;
- навчання баз знань про неоднорідні об'єкти розвідки.

Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Використання методики дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 18–25 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропоновану методику доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних неоднорідних об'єктів розвідки, що характеризуються високим ступенем складності.

**Ключові слова:** багатовимірне прогнозування, штучний інтелект, біоінспіровані алгоритми, неоднорідні об'єкти розвідки.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277948

#### РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ШВИДКОСУВНИХ ВАНТАЖІВ ВАРІАТИВНИМИ МАРШРУТАМИ (с. 42–51)

Т. Г. Ануфрієва, В. І. Мацюк, Н. Ю. Шраменко, Н. Б. Ільченко, О. Р. Приймук, В. В. Лебідь

Об'єктом дослідження є система організації перевезень швидкокопсувних вантажів. Предмет дослідження: технологічний процес перевезень швидкокопсувних вантажів дрібними відправками. Проблема, що вирішувалася, – багатокритеріальна оптимізація технологічного процесу доставки швидкокопсувних вантажів дрібними відправками. Отримані результати – розроблена імітаційна модель розвезення дрібних партій швидкокопсувних вантажів та проведено оптимізацію за критерієм мінімізації часу доставки при обмеженнях раціонального використання наявних транспортних засобів. Для побудови імітаційної моделі використовували дискретно-подієвий та агентний принципи.

Розроблена модель поєднує вирішення транспортної задачі та задачі комівояжера одночасно із врахуванням стохастичної тривалості технологічних операцій. При формуванні маршруту розвезення алгоритм моделі враховує мінімально-припустимий розмір партії до  $i$ -го пункту призначення, що дозволяє кожного разу вибудовувати новий унікальний маршрут прямування транспортного засобу.

На відміну від існуючих, розроблена модель дозволяє враховувати особливості мережі розвезення, мінімальну партію вантажу та динамічно змінювати маршрут прямування відповідно до наявного вантажу. При кожному надходженні вантажної маси до логістичного терміналу перевіряється умова достатньої кількості товару, призначеного для доставки по пунктах реалізації. Якщо кількість вантажу достатня для відправки дорівнює місткості кузова, здійснюється формування нового інформаційного повідомлення про наявність готового до відправлення товару.

Сфера та умови практичного використання отриманих результатів: транспортні компанії, торгівельні мережі, дистрибутивна логістика.

**Ключові слова:** швидкокопсувні вантажі, мінімальна партія, дрібні відправки, імітаційне моделювання, дискретно-подієне моделювання, агентне моделювання.