

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259727

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF INFORMATION TRANSFER IN THE SPECIAL PURPOSE NETWORKS (p. 6–14)**Oleg Sova**Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>**Hryhorii Radzivilov**Military Institute of Telecommunications and Information Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6047-1897>**Andrii Shyshatskyi**Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>**Dmytro Shevchenko**The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5321-3144>**Bohdan Molodetskyi**Research Institute of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2704-7963>**Vitalii Stryhun**State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3483-1315>**Yurii Yivzhenko**State Scientific Institution «Institute of Education Content Modernization», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5879-0226>**Yevhen Stepanenko**Military Institute of Kyiv National University Taras Shevchenko, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1993-2441>**Nadiia Protas**Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0943-0587>**Oleksii Nalapko**Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3515-2026>

The features of modern military conflicts require significantly increasing requirements for the efficiency of determining a rational route for the transmission of information. It is necessary to develop algorithms (methods and techniques) that are able for a limited time and with a high degree of reliability to determine the rational route of information transmission in complex hierarchical information transmission systems. The following tasks were solved in the research: the task of information transfer in special purpose networks was set; the algorithm of realization of a method of efficiency increase of information transfer is defined; simulation of the process of information transfer in the communication networks of a group of troops (forces) was carried out. The essence of the proposed method is to use the ant algorithm and their further training.

The method has the following sequence of actions: input of initial data; determining the degree of uncertainty and noise of the original data; determining the set of acceptable solutions, determining belonging to a certain class. The next step is to determine the route of information transfer, taking into account the impact of destabilizing factors, taking into account computing power and training ants.

The novelty of the method is to take into account the type of uncertainty and noise in the data and take into account the available computing resources of the communication network. The novelty of the method also lies in the use of advanced training procedures using the apparatus of evolving artificial neural networks and selective use of system resources by connecting only the required number of agents (ants).

The method allows to build a rational route of information transfer taking into account the influence of destabilizing factors. The use of the method allows to achieve an increase in the efficiency of information transfer at the level of 11–16 % through the use of additional advanced procedures.

Keywords: special purpose transmission systems, efficiency of information processing, computing power of the system.

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
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. (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/ijatse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O. 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
8. Rotshteyn A. P. (1999). Intel'kual'nye tekhnologii identifikatsii: netchkie mnozhestva, genicheskie algoritmy, neyronnye seti. Vinnytsia: «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 pro-

- duction 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 (94), 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
 11. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. *Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
 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., 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>
 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. 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)
 21. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivniy podkhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
 22. A Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskyi, 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>
 23. 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>
 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. 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>
 32. 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>
 33. 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>
 34. 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. Available at: https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf
 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260054
CREATING A CONCEPT AND AXIOMATIZATION OF THE APPLIED THEORY OF EFFICIENCY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS OF INPUT AND OUTPUT PRODUCTS (p. 15–22)

Igor Lutsenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi

National University, Kremenchuk, Ukraine

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

Valerii Tytiuk

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1077-3288>

Elena Vikhrova

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3046-0801>

Iryna Oksanych

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi
 National University, Kremenchuk, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4570-711X>

Galina Sivyakova

Karaganda Industrial University, Temirtau, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>

The object of this study is the processes of optimal control over complex technical systems with input and output products distributed in time.

The automatic formation of optimal control trajectories of technical systems that ensure maximum efficiency of production processes is limited by the insufficient development of the applied theory of the efficiency of complex systems.

This work considers the development of the conceptual base and axiomatization of the applied theory of the efficiency of technical systems.

A system of definitions and a system of axioms describing the indicators of the functioning of the cybernetic model of a technical system have been developed. The resulting system of axioms formalizes the technique and methods for determining various indicators, as well as obtaining the current value of the performance indicator of the technical system. The obtained expressions make it possible to form a subsystem for assessing the effectiveness of a technical system, invariant with respect to its internal structure and the characteristics of the transformation processes implemented by it. The universality of the proposed indicators and the structural unity of the performance evaluation subsystem make it possible to express an opinion on the cybernetic level of these decisions.

An example of the practical application of the proposed system of axioms of the applied theory of efficiency is given.

The proposed method for determining the efficiency indicator can be applied to arbitrary technical systems with a distributed nature of the change in input and output products. The cybernetic level of abstractions used to determine the effectiveness of complex systems makes it possible to proceed to solving the problem of formalization and full automation of the processes of optimal control over complex technical systems with distributed input and output products.

Keywords: cybernetic indicators, efficiency criterion, formalization, axiomatization, optimal control over complex systems.

References

- Ngutor, N., Adamu, I., Omolehin, J. O., Rauf, K. (2014). Operations Research – What It is all about. *Universal Journal of Applied Science*, 2 (3), 57–63. doi: <https://doi.org/10.13189/ujas.2014.020301>
- Kindornay, S., Morton, B. (2020). Development Effectiveness: Towards New Understandings. *NGO Management*, 315–322. doi: <https://doi.org/10.1201/9781849775427-33>
- Kumari, S., Mandal, R. K. (2020). Effectiveness of Space Vector PWM in Three-Phase Inverter. *2020 International Conference on Emerging Frontiers in Electrical and Electronic Technologies (ICEFEET)*. doi: <https://doi.org/10.1109/icefeet49149.2020.9187000>
- Leitner, S., Wall, F. (2011). Effectivity of Multi Criteria Decision-Making in Organisations: Results of an Agent-Based Simulation. *Emergent Results of Artificial Economics*, 79–90. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-21108-9_7
- Bracke, S., Radetzky, M., Rosebrock, C., Ulutas, B. (2019). Efficiency and effectivity of high precision grinding manufacturing processes: An approach based on combined DEA and cluster analyses. *Procedia CIRP*, 79, 292–297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.069>
- Jing, B., Qian, Z., Pei, Y., Zhang, L., Yang, T. (2020). Improving wind turbine efficiency through detection and calibration of yaw misalignment. *Renewable Energy*, 160, 1217–1227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.063>
- Da Cunha Reis, M. R., de Araujo, W. R. H., Gomes, V. M., dos Santos e Silva, F., Ganzaroli, C. A., Gomes, F. A. et al. (2019). Optimized techniques for driving and control of the switched reluctance motor to improve efficiency. *Control Engineering Practice*, 90, 1–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.06.007>
- Steyn, F. (2011). Motors and drives for improving energy efficiency. *2011 Southern African Energy Efficiency Convention*. doi: <https://doi.org/10.1109/saeec.2011.6119256>
- Weger, K., Handy, J. (2017). Improving energy efficiency of facilities (Joint Transportation Research Program Publication No. FHWA/IN/JTRP-2016/29). West Lafayette, IN: Purdue University. doi: <https://doi.org/10.5703/1288284316356>
- Masoumi, M. E., Izakmehri, Z. (2011). Improving of Refinery Furnaces Efficiency Using Mathematical Modeling. *International Journal of Modeling and Optimization*, 1 (1), 74–79. doi: <https://doi.org/10.7763/ijmo.2011.v1.14>
- Cao, J., Pan, J., Cui, Z., Wang, Z., Wang, X., Drioli, E. (2019). Improving efficiency of PVDF membranes for recovering water from humidified gas streams through membrane condenser. *Chemical Engineering Science*, 210, 115234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.115234>
- González, J. M., Domínguez, J. A., Ruiz, J. M., Alonso, C. (2016). Ultracapacitors utilization to improve the efficiency of photovoltaic installations. *Solar Energy*, 134, 484–493. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.04.051>
- Tytiuk, V. (2016). Analytical determination of the electromechanical system starting process efficiency index with regard to the distributed nature of input products consumption. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (84)), 51–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.83203>
- Lutsenko, I., Tytiuk, V., Oksanych, I., Rozhnenko, Z. (2017). Development of the method for determining optimal parameters of the process of displacement of technological objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (90)), 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116788>
- Lutsenko, I. (2014). Systems engineering of optimal control. Synthesis of the structure of the technological products conversion system (Part 1). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (72)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28724>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259323

BUILDING A MODEL FOR CHOOSING A STRATEGY FOR REDUCING AIR POLLUTION BASED ON DATA PREDICTIVE ANALYSIS (p. 23–30)

Andrii Biloshchytskyi

Astana IT University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
 Kyiv National University of Construction
 and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

Alexander Kuchansky

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
 Kyiv National University of Construction
 and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>

Yurii Andrashko

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2306-8377>

Alexandr Nefitsov

Astana IT University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

Vladimir Vatskel

IT-LYNX LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5662-4523>

Didar Yedilkhan

Astana IT University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6343-5277>

Myroslava Herych

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9634-5254>

This paper formalizes the model of choosing a strategy for reducing air pollution in an urban environment. The model involves determining the optimal location of biotechnological systems – biotechnological filter systems or smart air purification devices based on solving the problem of discrete optimization, taking into consideration the forecast of the air quality index. Two subtasks have been formalized, which make it possible to form a strategy for reducing air pollution. To solve one of the subtasks, a combined selective model for predicting the time series of the Air Quality Index (CSM) was built. The combined model software suite consists of the EMD-ESM hybrid model (Empirical Mode Decomposition-Exponential Smoothing Model), the HWM additive model (Holt-Winters Model), and the adaptive TLM (Trigg-Lich Model). To verify the proposed combined selective model, the time series of air quality indices (AQI) for the city of Nur-Sultan (data from 2010–2021, period 6 hours) were selected. As a result of verification, it was established that in the case of short-term forecasting of the air quality index time series, the EMD-ESM model has an advantage according to the criterion of a minimum root mean square error (RMSE), $\delta=0.11$. For the case of medium-term forecasting of $3 < \tau \leq 5$, the combined selective model (CSM) has the advantage. The results reported here are input data for the task of choosing strategies for reducing the volume of air pollution in the urban environment. The study's results make it possible to increase the flexibility of the formation of strategies for reducing air pollution since they avoid restrictions on the location of cleaners in specific urban areas. The consequence is the improvement of the environmental situation in the city and the development of the region in general.

Keywords: air pollution, AQI, EDM, ESP, combined selective forecasting model, selection problem.

References

- Roser, M. (2021). Data Review: How many people die from air pollution? Our World In Data. Available at: <https://ourworldindata.org/data-review-air-pollution-deaths>
- CityTree: a Pollution Absorbing Innovation with the Power of 275 Trees (2018). Green City Solutions. Available at: <https://urbannext.net/citytree/>
- Ung, A., Wald, L., Ranchin, T., Weber, C., Hirsch, J., Perron, G., Kleinpeter, J. (2002). Satellite data for the air pollution mapping over a city – The use of virtual station. In Proceedings of the 21th EARSeL Symposium, Observing our environment from space: new solutions for a new millenium, Paris, 147–151. Available at: https://www.researchgate.net/publication/42433064_Satellite_data_for_the_air_pollution_mapping_over_a_city_-_The_use_of_virtual_stations
- Nyelele, C., Kroll, C. N. (2021). A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 214, 104172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104172>
- Yoon, E. J., Kim, B., Lee, D. K. (2019). Multi-objective planning model for urban greening based on optimization algorithms. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 183–194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.004>
- Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Shabala, Y., Myronov, O. (2018). Development of adaptive combined models for predicting time series based on similarity identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (91)), 32–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121620>
- Heydari, A., Majidi Nezhad, M., Astiaso Garcia, D., Keynia, F., De Santoli, L. (2021). Air pollution forecasting application based on deep learning model and optimization algorithm. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24 (2), 607–621. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02080-5>
- Huang, G., Li, X., Zhang, B., Ren, J. (2021). PM2.5 concentration forecasting at surface monitoring sites using GRU neural network based on empirical mode decomposition. *Science of The Total Environment*, 768, 144516. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144516>
- Huang, Y., Yu, J., Dai, X., Huang, Z., Li, Y. (2022). Air-Quality Prediction Based on the EMD-IPSO-LSTM Combination Model. *Sustainability*, 14 (9), 4889. doi: <https://doi.org/10.3390/su14094889>
- Duan, W., Huang, L. (2016). A hybrid EMD-AR model for nonlinear and non-stationary wave forecasting. *Journal of Zhejiang University Science A*, 17, 115–129. doi: <https://doi.org/10.1631/jzus.a1500164>
- He, K., Zha, R., Wu, J., Lai, K. (2016). Multivariate EMD-Based Modeling and Forecasting of Crude Oil Price. *Sustainability*, 8 (4), 387. doi: <https://doi.org/10.3390/su8040387>
- Wu, L., Gao, X., Xiao, Y., Liu, S., Yang, Y. (2017). Using grey Holt-Winters model to predict the air quality index for cities in China. *Natural Hazards*, 88 (2), 1003–1012. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2901-8>
- Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A. (2015). Selective pattern matching method for time-series forecasting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (78)), 13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54812>
- Mulesa, O., Geche, F., Batyuk, A., Buchok, V. (2017). Development of Combined Information Technology for Time Series Prediction. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 361–373. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-70581-1_26
- Gelfand, A. E., Diggle, P., Guttorp, P., Fuentes, M. (Eds.) (2010). *Handbook of Spatial Statistics*. CRC Press, 619. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420072884>
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q. et. al. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454 (1971), 903–995. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>
- Rilling, G., Flandrin, P., Gonçalves, P. (2003). On empirical mode decomposition and its algorithms. *Proceedings of IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*. NSIP-03. 3.
- Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Vatskel, V., Biloshchytska, S., Danchenko, O., Vatskel, I. (2018). Combined Models for Forecasting the Air Pollution Level in Infocommunication Systems for the Environment State Monitoring. 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems Within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs-sws.2018.8525608>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259653

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR WHEAT YIELD FORECASTING (p. 31–39)

Gailya Aubakirova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
 Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8636-630X>

Victor Ivel

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0854-3846>

Yuliya Gerassimova

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1877-383X>

Sayat Moldakhmetov

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>

Pavel Petrov

Manash Kozybayev North Kazakhstan University,
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6669-5149>

A given model of yield forecasting using an artificial neural network connects the wheat crop with the amount of productive moisture in the soil, soil fertility, weather, and factors in the presence of pests, diseases, and weeds. The difficulty of creating a yield forecast system is in the correct choice of predictors that have the greatest impact on yield.

To build the model, moisture in the 100 cm layer of the soil, the content of nitrogen, phosphorus, humus, and soil acidity in the soil were used as input parameters. The amount of precipitation over 4 months, the average air temperature for the same period, as well as the presence of diseases, pests, and weeds were also taken into consideration. Data on 13 districts of the North Kazakhstan region in the period from 2008 to 2017 were used. The output parameter was the yield of spring wheat over the same time period.

The relative importance of input variables in relation to the output variable was used to determine the weight values of input variables.

An artificial neural network of error backpropagation was used as a method. The advantage of this method is that the quality of the forecast increases with a large amount of training data, as well as the ability to model nonlinear relationships between different data sources.

After training the artificial neural network and obtaining predictive data, good results were achieved for predicting wheat yields ($p=0.52$, mean absolute error in percentage (MAPE)=12.02 %, root mean square error (RMSE)=3.368).

Thus, it is assumed that the developed model for forecasting wheat yields based on data can be easily adapted for other crops and places and will allow the adoption of the right strategies to ensure food security.

Keywords: yield forecasting, artificial neural network, wheat yield, independent variables.

References

- Phalan, B., Green, R., Balmford, A. (2014). Closing yield gaps: perils and possibilities for biodiversity conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369 (1639), 20120285. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0285>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (50), 20260–20264. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Basso, B., Liu, L. (2019). Seasonal crop yield forecast: Methods, applications, and accuracies. *Advances in Agronomy*, 201–255. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.11.002>
- Ben-Ari, T., Boé, J., Ciaï, P., Lecerf, R., Van der Velde, M., Makowski, D. (2018). Causes and implications of the unforeseen 2016 extreme yield loss in the breadbasket of France. *Nature Communications*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04087-x>
- Funk, C., Shukla, S., Thiaw, W. M., Rowland, J., Hoell, A., McNally, A. et. al. (2019). Recognizing the Famine Early Warning Systems Network: Over 30 Years of Drought Early Warning Science Advances and Partnerships Promoting Global Food Security. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100 (6), 1011–1027. doi: <https://doi.org/10.1175/bams-d-17-0233.1>
- Headey, D. (2011). Rethinking the global food crisis: The role of trade shocks. *Food Policy*, 36 (2), 136–146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.003>
- Johnson, D. M. (2014). An assessment of pre- and within-season remotely sensed variables for forecasting corn and soybean yields in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 141, 116–128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.027>
- MacDonald, R. B., Hall, F. G. (1980). Global Crop Forecasting. *Science*, 208 (4445), 670–679. doi: <https://doi.org/10.1126/science.208.4445.670>
- Puma, M. J., Bose, S., Chon, S. Y., Cook, B. I. (2015). Assessing the evolving fragility of the global food system. *Environmental Research Letters*, 10 (2), 024007. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024007>
- Stone, R. C., Meinke, H. (2005). Operational seasonal forecasting of crop performance. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360 (1463), 2109–2124. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1753>
- Fischer, R. A. (2015). Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Research*, 182, 9–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.006>
- Nandram, B., Berg, E., Barboza, W. (2013). A hierarchical Bayesian model for forecasting state-level corn yield. *Environmental and Ecological Statistics*, 21 (3), 507–530. doi: <https://doi.org/10.1007/s10651-013-0266-z>
- Pease, J. W., Wade, E. W., Skees, J. S., Shrestha, C. M. (1993). Comparisons between Subjective and Statistical Forecasts of Crop Yields. *Review of Agricultural Economics*, 15 (2), 339. doi: <https://doi.org/10.2307/1349453>
- Lobell, D. B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science*, 333 (6042), 616–620. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
- Arkin, G. F., Richardson, C. W., Maas, S. J. (1980). Forecasting Grain Sorghum Yields Using Simulated Weather Data and Updating Techniques. *Transactions of the ASAE*, 23 (3), 0676–0680. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.34645>
- Kadaja, J., Saue, T., Vii, P. (2009). Probabilistic Yield Forecast Based on Aproduction Process Model. *Computer and Computing Technologies in Agriculture II*, Volume 1, 487–494. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0209-2_50
- Reynolds, C. A., Yitayew, M., Slack, D. C., Hutchinson, C. F., Huete, A., Petersen, M. S. (2000). Estimating crop yields and production by integrating the FAO Crop Specific Water Balance model with real-time satellite data and ground-based ancillary data. *International Journal of Remote Sensing*, 21 (18), 3487–3508. doi: <https://doi.org/10.1080/014311600750037516>
- Chlingaryan, A., Sukkarieh, S., Whelan, B. (2018). Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 61–69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.012>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press. Available at: <https://www.deeplearningbook.org/>
- Tian, H., Wang, P., Tansey, K., Zhang, S., Zhang, J., Li, H. (2020). An IPSO-BP neural network for estimating wheat yield using two remotely sensed variables in the Guanzhong Plain, PR China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105180>

21. Kern, A., Barcza, Z., Marjanović, H., Árendás, T., Fodor, N., Bónis, P. et. al. (2018). Statistical modelling of crop yield in Central Europe using climate data and remote sensing vegetation indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 260–261, 300–320. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.06.009>
22. Singh, P. K., Singh, K. K., Singh, P., Balasubramanian, R., Baxla, A. K., Kumar, B. et. al. (2017). Forecasting of wheat yield in various agro-climatic regions of Bihar by using CERES-Wheat model. *Journal of Agrometeorology*, 19 (4), 346–349. doi: <https://doi.org/10.54386/jam.v19i4.604>
23. Portmann, F. T., Siebert, S., Döll, P. (2010). MIRCA2000-Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 24 (1). doi: <https://doi.org/10.1029/2008gb003435>
24. Giri, A. K., Bhan, M., Agrawal, K. K. (2017). Districtwise wheat and rice yield predictions using meteorological variables in eastern Madhya Pradesh. *Journal of Agrometeorology*, 19 (4), 366–368. doi: <https://doi.org/10.54386/jam.v19i4.610>
25. doi: <https://doi.org/10.54386/jam.v19i4.610>
26. Singh, M., Sharma, S. (2017). Forecasting the maize yield in Himachal Pradesh using climatic variables. *Journal of Agrometeorology*, 19 (2), 167–169. doi: <https://doi.org/10.54386/jam.v19i2.715>
27. Schauburger, B., Gornott, C., Wechsung, F. (2017). Global evaluation of a semiempirical model for yield anomalies and application to within-season yield forecasting. *Global Change Biology*, 23 (11), 4750–4764. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.13738>
28. Caselli, M., Trizio, L., de Gennaro, G., Ielpo, P. (2008). A Simple Feedforward Neural Network for the PM10 Forecasting: Comparison with a Radial Basis Function Network and a Multivariate Linear Regression Model. *Water, Air, and Soil Pollution*, 201 (1-4), 365–377. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9950-2>
29. Niedbala, G., Kurasiek-Popowska, D., Stuper-Szablewska, K., Nawracała, J. (2020). Application of Artificial Neural Networks to Analyze the Concentration of Ferulic Acid, Deoxynivalenol, and Nivalenol in Winter Wheat Grain. *Agriculture*, 10 (4), 127. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10040127>
30. Zaefizadeh, M., Jalili, A., Khayatnezhad, M., Gholamin, R., Mokhtari, T. (2011). Comparison of multiple linear regressions (MLR) and artificial neural network (ANN) in predicting the yield using its components in the hullless barley. *Advances in Environmental Biology*, 5, 109–113. Available at: https://www.academia.edu/77348556/Comparison_of_Multiple_Linear_Regressions_MLR_and_Artificial_Neural_Network_ANN_in_Predicting_the_Yield_Using_its_Components_in_the_Hullless_Barley
31. Agentstvo Respubliki Kazakhstan po statistike. Portret sela (2011). Astana, 92. Available at: <https://stat.gov.kz/api/getFile/?docId=WC16200032726>
32. Gribskiy, A. A. (2005). Pochvy i zemel'nye resursy Severo-Kazakhstanskoy oblasti. Petropavlovsk, 34.
33. Ritchie, S. W., Hanway, J. J., Thompson, H. E. (1985). How a soybean plant develops. Special Report No. 53. Ames, Iowa. Available at: <http://publications.iowa.gov/14855/1/1985%20How%20a%20Soybean%20Plant%20Develops.pdf>
34. Arinov, K. K., Musynov, K. M., Shestakova, N. A., Serepkaev, A. A. (2013). *Rastenievodstvo*. Astana, 507.
35. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/stat?lang=ru>
36. Deep Learning Toolbox. MathWorks. Available at: <https://www.mathworks.com/products/deep-learning.html>
37. Drummond, S. T., Sudduth, K. A., Birrell, S. J. (1995). Analysis and correlation methods for spatial data. ASAE Paper No. 951335. St. Joseph.
38. Irmak, A., Jones, J. W., Batchelor, W. D., Irmak, S., Paz, J. O., Boote, K. J. (2006). Analysis of spatial yield variability using a combined crop model-empirical approach. *Transactions of the ASABE*, 49 (3), 811–818. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.20464>
39. Wilkerson, J. B., Sui, R., Hart, W. E., Wilhelm, L. R., Howard, D. D. (1999). Artificial neural networks for determining nitrogen status in corn. ASAE Paper No. 99-3042. St. Joseph, Mich.: ASAE.
40. Braga, R. P. (2000). Predicting the spatial pattern of grain yield under water limiting conditions. Gainesville.
41. Liu, J., Goering, C. E., Tian, L. (2001). A neural network for setting target corn yields. *Transactions of the ASAE*, 44 (3). doi: <https://doi.org/10.13031/2013.6097>
42. Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323 (6088), 533–536. doi: <https://doi.org/10.1038/323533a0>
43. Dayhoff, J. E. (1990). *Neural Network Architectures: An Introduction*. Van Nostrand Reinhold Company, 259.
44. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. (2014). Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. *Information Processing in Agriculture*, 1 (1), 14–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2014.04.001>
45. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H. (2014). Prediction of potato yield based on energy inputs using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system. *Measurement*, 47, 521–530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.09.020>
46. Amid, S., Mesri Gundoshmian, T. (2016). Prediction of output energies for broiler production using linear regression, ANN (MLP, RBF), and ANFIS models. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36 (2), 577–585. doi: <https://doi.org/10.1002/ep.12448>
47. Vivas, E., Allende-Cid, H., Salas, R. (2020). A Systematic Review of Statistical and Machine Learning Methods for Electrical Power Forecasting with Reported MAPE Score. *Entropy*, 22 (12), 1412. doi: <https://doi.org/10.3390/e22121412>
48. Wang, X., Huang, J., Feng, Q., Yin, D. (2020). Winter Wheat Yield Prediction at County Level and Uncertainty Analysis in Main Wheat-Producing Regions of China with Deep Learning Approaches. *Remote Sensing*, 12 (11), 1744. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12111744>
49. Zhao, Y., Potgieter, A. B., Zhang, M., Wu, B., Hammer, G. L. (2020). Predicting Wheat Yield at the Field Scale by Combining High-Resolution Sentinel-2 Satellite Imagery and Crop Modelling. *Remote Sensing*, 12 (6), 1024. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12061024>
50. Felipe Maldaner, L., de Paula Corr do, L., Fernanda Canata, T., Paulo Molin, J. (2021). Predicting the sugarcane yield in real-time by harvester engine parameters and machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105945. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105945>
51. Sharma, L. K., Singh, T. N. (2017). Regression-based models for the prediction of unconfined compressive strength of artificially structured soil. *Engineering with Computers*, 34 (1), 175–186. doi: <https://doi.org/10.1007/s00366-017-0528-8>
52. Peng, J., Kim, M., Kim, Y., Jo, M., Kim, B., Sung, K., Lv, S. (2017). Constructing Italian ryegrass yield prediction model based on climatic data by locations in South Korea. *Grassland Science*, 63 (3), 184–195. doi: <https://doi.org/10.1111/grs.12163>
53. Kim, S., Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32 (3), 669–679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>
54. Bhojani, S. H., Bhatt, N. (2020). Wheat crop yield prediction using new activation functions in neural network. *Neural Computing and Applications*, 32 (17), 13941–13951. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04797-8>
55. Singh, R., Umrao, R. K., Ahmad, M., Ansari, M. K., Sharma, L. K., Singh, T. N. (2017). Prediction of geomechanical parameters using soft computing and multiple regression approach. *Measurement*, 99, 108–119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.023>

56. Chen, J.-F., Do, Q., Nguyen, T., Doan, T. (2018). Forecasting Monthly Electricity Demands by Wavelet Neuro-Fuzzy System Optimized by Heuristic Algorithms. *Information*, 9 (3), 51. doi: <https://doi.org/10.3390/info9030051>
57. Gandhi, N., Petkar, O., Armstrong, L. J. (2016). Rice crop yield prediction using artificial neural networks. 2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR). doi: <https://doi.org/10.1109/tiar.2016.7801222>
58. Gandhi, N., Armstrong, L. J., Petkar, O., Tripathy, A. K. (2016). Rice crop yield prediction in India using support vector machines. 2016 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE). doi: <https://doi.org/10.1109/jcsse.2016.7748856>
59. Schwalbert, R. A., Amado, T., Corassa, G., Pott, L. P., Prasad, P. V. V., Ciampitti, I. A. (2020). Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 284, 107886. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107886>
60. Mishra, S., Paygude, P., Chaudhary, S., Idate, S. (2018). Use of data mining in crop yield prediction. 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). doi: <https://doi.org/10.1109/icisc.2018.8398908>
61. Filippi, P., Jones, E. J., Wimalathunge, N. S., Somarathna, P. D. S. N., Pozza, L. E., Ugbaje, S. U. et. al. (2019). An approach to forecast grain crop yield using multi-layered, multi-farm data sets and machine learning. *Precision Agriculture*, 20 (5), 1015–1029. doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09628-4>
62. Tao, F., Xiao, D., Zhang, S., Zhang, Z., Rötter, R. P. (2017). Wheat yield benefited from increases in minimum temperature in the Huang-Huai-Hai Plain of China in the past three decades. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.033>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258098

CONSTRUCTION OF APPROXIMATE SOLUTIONS TO THE RIEMANN PROBLEM FOR TWO-PHASE FLOW OF IMMISCIBLE LIQUIDS BY MODIFYING THE VANISHING VISCOSITY METHOD (p. 40–48)

Yerbol Aldanov

Astana International University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2335-9182>

Timur Toleuov

K. Zhubanov Aktobe Regional University,
Aktobe, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6050-1056>

Nurbolat Tasbolatuly

Astana International University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0511-7000>

In the paper, we apply the vanishing viscosity method for an approximate solution to the Riemann problem. This approach gives the effects of the accuracy of the solution and the speed of convergence by discrediting time and spatial variables.

The obtained method ensures the smoothness of the solution without taking into account the capillary pressure. The results confirm the negligible influence of cross-link conditions compared to the classical Darcy approach.

The proposed solutions of the new approach are intended to improve the methods and schemes of discretization both in space and in time. This is achieved by minimizing viscosity, and discretization in space and time. These factors are of paramount importance for

studying phenomena with variable saturation in the transient mode and analyzing water/oil flows and migrations in real time, since discretization in space and time affects the accuracy and convergence of calculations. Our result in the form of obtaining viscous solutions of the filtration process is interesting from a theoretical point of view. From a practical point of view, numerical modeling allows early prediction of performance. Thus, the applied aspect of using the obtained scientific result is the possibility of improving the process by taking into account the influence of phases of fluid flows.

Keywords: pressure-dependent viscosity, Buckley-Leverett model, Riemann problem.

References

1. Buckley, S. E., Leverett, M. C. (1942). Mechanism of Fluid Displacement in Sands. *Transactions of the AIME*, 146 (01), 107–116. doi: <https://doi.org/10.2118/942107-g>
2. Welge, H. J. (1952). A Simplified Method for Computing Oil Recovery by Gas or Water Drive. *Journal of Petroleum Technology*, 4 (04), 91–98. doi: <https://doi.org/10.2118/124-g>
3. Sheldon, J. W., Cardwell, W. T. (1959). One-Dimensional, Incompressible, Noncapillary, Two-Phase Fluid Flow in a Porous Medium. *Transactions of the AIME*, 216 (01), 290–296. doi: <https://doi.org/10.2118/978-g>
4. McWhorter, D. B., Sunada, D. K. (1990). Exact integral solutions for two-phase flow. *Water Resources Research*, 26 (3), 399–413. doi: <https://doi.org/10.1029/wr026i003p00399>
5. Muskat, M. (1946). *The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media*. The Mapple Press Company.
6. Guéillot, D., Kadiri, M., Trabelsi, S. (2020). Buckley-Leverett Theory for Two-Phase Immiscible Fluids Flow Model with Explicit Phase-Coupling Terms. *Water*, 12 (11), 3041. doi: <https://doi.org/10.3390/w12113041>
7. Bianchini, S., Bressan, A. (2005). Vanishing viscosity solutions of nonlinear hyperbolic systems. *Annals of Mathematics*, 161 (1), 223–342. doi: <https://doi.org/10.4007/annals.2005.161.223>
8. Salas, M. D. (2007). The curious events leading to the theory of shock waves. *Shock Waves*, 16 (6), 477–487. doi: <https://doi.org/10.1007/s00193-007-0084-z>
9. Alimhan, K. (2019). Further Results on Output Tracking for a Class of Uncertain High-Order Nonlinear Time-Delay Systems. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 1 (5), 90–93. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2019.05.22>
10. Fusi, L., Farina, A., Saccomandi, G. (2015). Buckley-Leverett Equation with Viscosities and Relative Permeabilities Depending on Pressure. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 75 (5), 1983–2000. doi: <https://doi.org/10.1137/15100566x>
11. Feo, A., Celico, F. (2021). High-resolution shock-capturing numerical simulations of three-phase immiscible fluids from the unsaturated to the saturated zone. *Scientific Reports*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83956-w>
12. Pasquier, S., Quintard, M., Davit, Y. (2017). Modeling two-phase flow of immiscible fluids in porous media: Buckley-Leverett theory with explicit coupling terms. *Physical Review Fluids*, 2 (10). doi: <https://doi.org/10.1103/physrevfluids.2.104101>
13. Bressan, A. (1995). The unique limit of the Glimm scheme. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 130 (3), 205–230. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00392027>
14. Amaziane, B., Jurak, M., Pankratov, L., Piatnitski, A. (2018). Homogenization of nonisothermal immiscible incompressible two-phase flow in porous media. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 43, 192–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2018.02.012>
15. Colombo, M., Crippa, G., Graff, M., Spinolo, L. V. (2021). On the role of numerical viscosity in the study of the local limit of nonlocal conservation laws. *ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis*, 25, 1–20. doi: <https://doi.org/10.1051/m3/2021001>

- rical Analysis, 55 (6), 2705–2723. doi: <https://doi.org/10.1051/m2an/2021073>
16. El-Khatib, N. A. F. (2001). The Application of Buckley-Leverett Displacement to Waterflooding in Non-Communicating Stratified Reservoirs. *All Days*. doi: <https://doi.org/10.2118/68076-ms>
 17. Owusu, P. A., DeHua, L., Nagre, R. D. (2014). Buckley-Leverett Displacement Theory for Waterflooding Performance in Stratified Reservoir. *Petroleum & Coal*, 56 (3), 267–281. Available at: https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/07/pc_3_2014_owusu_277_kor.pdf
 18. Zhao, L., Li, L., Wu, Z., Zhang, C. (2016). Analytical Model of Waterflood Sweep Efficiency in Vertical Heterogeneous Reservoirs under Constant Pressure. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/6273492>
 19. Fraces, C. G., Tchelepi, H. (2021). Physics Informed Deep Learning for Flow and Transport in Porous Media. Paper presented at the SPE Reservoir Simulation Conference, On-Demand, October 2021. doi: <https://doi.org/10.2118/203934-ms>
 20. Roy, S., Sinha, S., Hansen, A. (2020). Flow-Area Relations in Immiscible Two-Phase Flow in Porous Media. *Frontiers in Physics*, 8. doi: <https://doi.org/10.3389/fphy.2020.00004>
 22. Roy, S., Pedersen, H., Sinha, S., Hansen, A. (2022). The Co-Moving Velocity in Immiscible Two-Phase Flow in Porous Media. *Transport in Porous Media*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11242-022-01783-7>
 23. Rakhymova, A. T., Gabbassov, M. B., Ahmedov, A. A. (2021). Analytical Solution of the Cauchy Problem for a Nonstationary Three-dimensional Model of the Filtration Theory. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 87 (1), 118–133. doi: <https://doi.org/10.37934/arfmts.87.1.118133>
 24. Riaz, A., Tchelepi, H. A. (2006). Numerical simulation of immiscible two-phase flow in porous media. *Physics of Fluids*, 18 (1), 014104. doi: <https://doi.org/10.1063/1.2166388>
 25. Artus, V., Furtado, F., Noetinger, B., Pereira, F. (2004). Stochastic analysis of two-phase immiscible flow in stratified porous media. *Computational & Applied Mathematics*, 23 (2-3). doi: <https://doi.org/10.1590/s0101-82052004000200004>
 26. Daripa, P., Glimm, J., Lindquist, B., McBryan, O. (1988). Polymer Floods: A Case Study of Nonlinear Wave Analysis and of Instability Control in Tertiary Oil Recovery. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 48 (2), 353–373. doi: <https://doi.org/10.1137/0148018>
 27. Bressan, A., Guerra, G., Shen, W. (2019). Vanishing viscosity solutions for conservation laws with regulated flux. *Journal of Differential Equations*, 266 (1), 312–351. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jde.2018.07.044>
 28. Morad, A. M. A. (2018). A Two-Phase Pressure Drop Model for Homogenous Separated Flow for Circular Tube Condenser, Examined with Four Modern Refrigerants. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 52 (2), 274–287. Available at: https://www.akademiabaru.com/doc/ARFMTSV52_N2_P274_287.pdf
 29. Morad, A. M. A., Qasim, R. M., Ali, A. A. (2020). Study of the behaviours of single-phase turbulent flow at low to moderate Reynolds numbers through a vertical pipe. Part i: 2d counters analysis. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 108–122. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001538>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259727

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖАХ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 6–14)

О. Я. Сова, Г. Д. Радзівілов, А. В. Шишацький, Д. Г. Шевченко, Б. В. Молодецький, В. В. Стригун, Ю. В. Ївженко, Є. О. Степаненко, Н. М. Протас, О. Л. Налапко

Особливості сучасних воєнних конфліктів вимагають суттєво підвищують вимоги з оперативності визначення раціонального маршруту передачі інформації. Необхідно проводити розробку алгоритмів (методів та методик), які здатні за обмежений час та з високим ступенем достовірності визначити раціональний маршрут передачі інформації в складних ієрархічних системах передачі інформації. В дослідженні вирішені завдання: проведено постановку завдання з передачі інформації в мережах спеціального призначення; визначено алгоритм реалізації методу підвищення оперативності передачі інформації; проведено моделювання процесу передачі інформації в мережах зв'язку угруповання військ (сил). Сутність запропонованого методу полягає в використанні мурашиного алгоритму та подальшому навчанні.

Метод має наступну послідовність дій: введення вихідних даних; визначення ступеня невизначеності та зашумленості вихідних даних, визначення множини допустимих рішень, визначення належності до певного класу. Наступним кроком є визначення маршруту передачі інформації з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів з урахуванням обчислювальних потужностей та навчання мурах.

Новизна методу полягає в врахуванні типу невизначеності та зашумленості даних та врахуванні наявних обчислювальних ресурсів системи мережі зв'язку. Новизна методу також полягає у використанні удосконалених процедур навчання з використанням апарату штучних нейронних мереж, що еволюціонують та вибірково задіянням ресурсів системи за рахунок підключення тільки необхідних кількості агентів (мурах).

Метод дозволяє побудувати раціональний маршрут передачі інформації з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів. Використання методу дозволяє досягти підвищення оперативності передачі інформації на рівні 11–16 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

Ключові слова: системи передачі спеціального призначення, оперативність обробки інформації, обчислювальні потужності системи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260054

СТВОРЕННЯ ПОНЯТІЙНОЇ БАЗИ ТА АКСІОМАТИЗАЦІЯ ПРИКЛАДНОЇ ТЕОРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВХІДНИХ І ВИХІДНИХ ПРОДУКТІВ (с. 15–22)

І. А. Луценко, В. К. Титюк, О. В. Віхрова, І. Г. Оксанич, Galina Sivyakova

Об'єктом дослідження є процеси оптимального управління складними технічними системами з розподіленими у часі вхідними та вихідними продуктами.

Автоматичне формування оптимальних траєкторій управління технічних систем, що забезпечують максимальну ефективність виробничих процесів, обмежується недостатнім розвитком прикладної теорії ефективності складних систем.

Робота присвячена розвитку понятійної бази та аксіоматизації прикладної теорії ефективності технічних систем.

Розроблено систему визначень та систему аксіом, що описує показники функціонування кібернетичної моделі технічної системи. Отримана система аксіом формалізує техніку та методи визначення різних показників та отримання поточного значення показника ефективності роботи технічної системи. Отримані висловлювання дозволяють сформулювати підсистему оцінки ефективності технічної системи, інваріантну щодо її внутрішньої структури та характеристик реалізованих нею процесів перетворення. Універсальність запропонованих показників та структурна єдність підсистеми оцінки ефективності дозволяють висловити думку про кібернетичний рівень цих рішень.

Наведено приклад практичного застосування запропонованої системи аксіом прикладної теорії ефективності.

Запропонований метод визначення показника ефективності може бути застосований до довільних технічних систем з розподіленим характером зміни вхідних та вихідних продуктів. Кібернетичний рівень абстракцій, застосованих для визначення ефективності складних систем, дозволяє перейти до вирішення задачі формалізації та повної автоматизації процесів оптимального управління складними технічними системами з розподіленими вхідними та вихідними продуктами.

Ключові слова: кібернетичні показники, критерії ефективності, формалізація, аксіоматизація, оптимальне управління складних систем.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259323

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИБОРУ СТРАТЕГІЇ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ (с. 23–30)

А. О. Білощицький, О. Ю. Кучанський, Ю. В. Андрашко, Alexandr Neftissov, В. Ю. Вацкель, Didar Yedilkhan, М. С. Герич

Формалізовано модель вибору стратегії зниження забруднення повітря в умовах міського середовища. Модель передбачає визначення оптимального розміщення біотехнологічних систем – фільтрів або розумних пристроїв очищення повітря на основі розв'язання задачі дискретної оптимізації з врахуванням прогнозу індексу якості повітря. Формалізовано дві підзадачі, які дозволяють сформулювати стратегію зниження забруднення повітря. Для розв'язання однієї з підзадач побудовано комбіновану селективну модель прогнозування часового ряду індексу якості повітря (CSM). Програмний набір комбінованої моделі складають гібридна модель EMD-ESM (Empirical Mode Decomposition-Exponential Smoothing Model), адитивна модель HWM (Holt-Winters Model), та адаптивна

модель TLM (Trigg-Lich Model). Для верифікації запропонованої комбінованої селективної моделі було обрано часові ряди індексів якості повітря (AQI) для м. Нур-Султан (Astana Air Quality DataSet) (дані з 2010–2021 рр., період 6 годин). В результаті верифікації отримано, що у випадку короткострокового прогнозування часового ряду індексу якості повітря перевагу за критерієм мінімальної середньої квадратичної похибки (RMSE) має модель EMD-ESM, $\delta=0.11$. Для випадку середньострокового прогнозування $3 < \tau \leq 5$ перевагу має комбінована селективна модель (CSM). Отримані результати є вхідними даними для задачі вибору стратегій зниження обсягу забруднення повітря в умовах міського середовища. Результати дослідження дають можливість збільшити гнучкість формування стратегій зниження забруднення повітря, оскільки дозволяють уникнути обмежень щодо розміщення очисників в конкретних міських зонах. Наслідком цього є покращення екологічної ситуації в місті та розвитку регіону в цілому.

Ключові слова: забруднення повітря, AQI, EDM, ESP, комбінована селективна модель прогнозування, задача вибору.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259653

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ПШЕНИЦІ (с. 31–39)

Gailya Aubakirova, Victor Ivel, Yuliya Gerassimova, Sayat Moldakhmetov, Pavel Petrov

Дана модель прогнозування врожайності з використанням штучної нейронної мережі пов'язує врожай пшениці з кількістю продуктивної вологи в ґрунті, родючістю ґрунту, погодою та факторами наявності шкідників, хвороб та бур'янів. Складність створення системи прогнозу врожайності полягає у правильному виборі предикторів, які найбільше впливають на врожайність.

Для побудови моделі в якості вхідних параметрів використовувалися вологість в 100 см шарі ґрунту, вміст азоту, фосфору, гумусу та кислотність ґрунту. Також враховувалася кількість опадів за 4 місяці, середня температура повітря за аналогічний період, а також наявність хвороб, шкідників та бур'янів. Використовувалися дані 13 районів Північно-Казахстанської області у період з 2008 року до 2017 року. Вихідним параметром стала врожайність ярої пшениці за цей же часовий проміжок.

Відносну важливість вхідних змінних по відношенню до вихідної змінної використовували для визначення вагових значень вхідних змінних.

В якості методу була використана штучна нейронна мережа зворотного поширення помилки. Перевагою даного методу є те, що якість прогнозу збільшується за великої кількості навчальних даних, а також можливість моделювати нелінійні відносини між джерелами даних.

Після навчання штучної нейронної мережі та отримання прогнозних даних було досягнуто хороших результатів для прогнозування врожайності пшениці ($r=0.52$, середня абсолютна помилка у відсотках (MAPE)=12,02 %, середньоквадратична помилка (RMSE)=3,368).

Таким чином, передбачається, що розроблена модель прогнозування врожайності пшениці на основі даних може бути легко адаптована для інших культур і місць та дозволить приймати правильні стратегії щодо забезпечення продовольчої безпеки.

Ключові слова: прогнозування врожайності, штучна нейронна мережа, врожайність пшениці, незалежні змінні.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258098

ПОБУДОВА НАБЛИЖЕНИХ РІШЕНЬ ЗАДАЧІ РІМАНА ДЛЯ ДВОФАЗНОЇ ТЕЧІЇ НЕЗМІШУВАНИХ РІДИН ШЛЯХОМ МОДИФІКАЦІЇ МЕТОДУ ЗНИКАЮЧОЇ В'ЯЗКОСТІ (с. 40–48)

Yerbol Aldanov, Timur Toleuov, Nurbolat Tasbolatuly

У роботі для наближеного рішення задачі Рімана застосовується метод зникаючої в'язкості. Цей підхід дозволяє досягти точності рішення та швидкості збіжності за рахунок дискретизації тимчасових і просторових змінних.

Отриманий метод забезпечує однорідність розчину без урахування капілярного тиску. Результати підтверджують незначний вплив умов зшивки у порівнянні з класичним підходом Дарсі.

Запропоновані рішення нового підходу спрямовані на вдосконалення методів та схем дискретизації як у просторі, так і в часі. Це досягається за рахунок мінімізації в'язкості та дискретизації у просторі і часі. Дані фактори мають першорядне значення для вивчення явищ зі змінною насиченістю в перехідному режимі та аналізу водно-нафтових потоків та міграцій у режимі реального часу, оскільки дискретизація у просторі і часі впливає на точність та збіжність розрахунків. Наш результат у вигляді отримання в'язких розчинів процесу фільтрації представляє інтерес з теоретичної точки зору. З практичної точки зору чисельне моделювання дозволяє здійснювати раннє прогнозування продуктивності. Таким чином, прикладним аспектом використання отриманого наукового результату є можливість удосконалення процесу за рахунок врахування впливу фаз потоків рідини.

Ключові слова: залежна від тиску в'язкість, модель Баклі-Лeverетта, задача Рімана.