

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350796
**DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE ADAPTIVE
 RESOURCE REALLOCATION METHOD
 WITH CRITICAL PROCESS DISPATCHING
 IN INFORMATION SYSTEMS ON MOBILE
 PLATFORMS (p. 6–23)**

Vitalii Tkachov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6524-9937>

Ihor Ruban

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4738-3286>

This work investigates the process of real-time resource management of an information system on a mobile platform under intermittent connectivity, destructive influences, and nonstationary resource availability.

The scientific task relates to the fact that forecast errors and the inertia of platform reconfiguration can induce oscillatory resource redistribution, causing critical processes to intermittently lose the minimum required resource at each control time-step.

A time-step-based predictive adaptive redistribution method with dynamic reservation has been devised in this study. The method introduces an operational survivability constraint. It is formulated as a requirement to maintain a minimum guaranteed resource profile for critical processes. The method adapts the reservation volume according to the assessed reliability of the current forecast. It also constrains the frequency of reconfigurations within a sliding window. These constraints are combined with dispatching of critical processes by urgency and allowable delay. By combining forecast-adaptive reservation with inertia-consistent reconfiguration constraints, the control loop reduces the amplitude and the cumulative intensity of reconfigurations. In particular, under bursty critical workload, the maximum reconfiguration step decreases by about 52%, while the cumulative magnitude of profile changes decreases by about 14%. These effects are explained by the fact that reserved resources compensate for forecast degradation, whereas reconfiguration constraints prevent abrupt control actions and stabilize time-step allocation.

The results could be implemented to build resource management information systems for robotic platforms, sensor networks, as well as mobile systems under intermittent connectivity and real-time resource degradation.

Keywords: information system, predictive-adaptive control, critical process survivability, dynamic resource reservation.

References

- Fesenko, H., Illiashenko, O., Kharchenko, V., Leichenko, K., Sachenko, A., Scislo, L. (2024). Methods and Software Tools for Reliable Operation of Flying LiFi Networks in Destruction Conditions. *Sensors*, 24 (17), 5707. <https://doi.org/10.3390/s24175707>
- Dodonov, O., Gorbachyk, O., Kuznietsova, M. (2023). Critical Infrastructure Resilience and Cybersecurity of Information Management Systems. Selected Papers of the XXIII International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2023). Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3887/paper1.pdf>
- Xia, X., Fattah, S. M. M., Babar, M. A. (2023). A Survey on UAV-Enabled Edge Computing: Resource Management Perspective. *ACM Computing Surveys*, 56 (3), 1–36. <https://doi.org/10.1145/3626566>
- Churyumov, G., Tokarev, V., Tkachov, V., Partyka, S. (2018). Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field. 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 183–186. <https://doi.org/10.1109/dsmp.2018.8478539>
- Kvasnikov, V., Ornatskyi, D., Graf, M., Shelukha, O. (2021). Designing a computerized information processing system to build a movement trajectory of an unmanned aircraft. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (109)), 33–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225501>
- Dodonov, O., Jiang, B., Dodonov, V. (2019). Survivability Mechanisms of Complex Computer Systems Based on Common Information Space. *Computer Engineering*, 45 (7), 41–45. <https://doi.org/10.19678/j.issn.1000-3428.0053440>
- Yu, C., Rosendo, A. (2021). Risk-Aware Model-Based Control. *Frontiers in Robotics and AI*, 8. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.617839>
- Ruban, I. V., Tkachov, V. M. (2025). A method for synthesizing index policies to ensure the survivability of a mobile platform-based information system. *Applied Aspects of Information Technology*, 8 (4), 424–441. <https://doi.org/10.15276/aait.08.2025.27>
- Dahiya, A., Akbarzadeh, N., Mahajan, A., Smith, S. L. (2022). Scalable Operator Allocation for Multirobot Assistance: A Restless Bandit Approach. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 9 (3), 1397–1408. <https://doi.org/10.1109/tcms.2022.3153872>
- Zeng, Y., Wu, L., Li, J., Zhuang, X., Wu, C. (2025). Resilient Task Allocation for UAV Swarms: A Bilevel PSO-ILP Optimization Approach. *Drones*, 9 (9), 623. <https://doi.org/10.3390/drones9090623>
- Bali, A., Houm, Y. E., Gherbi, A., Cheriet, M. (2024). Automatic data featurization for enhanced proactive service auto-scaling: Boosting forecasting accuracy and mitigating oscillation. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 36 (2), 101924. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.101924>
- Kuchuk, N., Tkachov, V. (2022). Self-healing Systems Modelling. *Advances in Self-Healing Systems Monitoring and Data Processing*, 57–111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96546-4_2
- Zhang, X., Debroy, S. (2023). Resource Management in Mobile Edge Computing: A Comprehensive Survey. *ACM Computing Surveys*, 55 (13s), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3589639>
- Djigal, H., Xu, J., Liu, L., Zhang, Y. (2022). Machine and Deep Learning for Resource Allocation in Multi-Access Edge Computing: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24 (4), 2449–2494. <https://doi.org/10.1109/comst.2022.3199544>
- Ismail, A. A., Khalifa, N. E., El-Khoribi, R. A. (2025). A survey on resource scheduling approaches in multi-access edge computing environment: a deep reinforcement learning study. *Cluster Computing*, 28 (3). <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04893-7>
- Zhan, W., Luo, C., Wang, J., Wang, C., Min, G., Duan, H., Zhu, Q. (2020). Deep-Reinforcement-Learning-Based Offloading Scheduling for Vehicular Edge Computing. *IEEE Internet of Things Journal*, 7 (6), 5449–5465. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2978830>
- Hu, X., Huang, Y. (2022). Deep reinforcement learning based offloading decision algorithm for vehicular edge computing. *PeerJ Computer Science*, 8, e1126. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1126>
- Luo, Q., Li, C., Luan, T. H., Shi, W. (2020). Collaborative Data Scheduling for Vehicular Edge Computing via Deep Reinforcement Learning. *IEEE Internet of Things Journal*, 7 (10), 9637–9650. <https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2983660>
- Qu, G., Wu, H., Li, R., Jiao, P. (2021). DMRO: A Deep Meta Reinforcement Learning-Based Task Offloading Framework for Edge-Cloud

- Computing. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 18 (3), 3448–3459. <https://doi.org/10.1109/tnsm.2021.3087258>
20. Chang, J., Wang, J., Li, B., Zhao, Y., Li, D. (2024). Attention-Based Deep Reinforcement Learning for Edge User Allocation. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 21 (1), 590–604. <https://doi.org/10.1109/tnsm.2023.3292272>
 21. Shlash Mohammad, A. A., Shelash Al-Hawary, S. I., Hindieh, A., Vasudevan, A., Mohd Al-Shorman, H., Al-Adwan, A. S. et al. (2025). Intelligent Data-Driven Task Offloading Framework for Internet of Vehicles Using Edge Computing and Reinforcement Learning. *Data and Metadata*, 4, 521. <https://doi.org/10.56294/dm2025521>
 22. Ding, Y., Li, K., Liu, C., Li, K. (2022). A Potential Game Theoretic Approach to Computation Offloading Strategy Optimization in End-Edge-Cloud Computing. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 33 (6), 1503–1519. <https://doi.org/10.1109/tpds.2021.3112604>
 23. Chen, Y., Zhao, J., Wu, Y., Huang, J., Shen, X. (2024). QoE-Aware Decentralized Task Offloading and Resource Allocation for End-Edge-Cloud Systems: A Game-Theoretical Approach. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 23 (1), 769–784. <https://doi.org/10.1109/tmc.2022.3223119>
 24. Munir, Md. S., Abedin, S. F., Tran, N. H., Han, Z., Huh, E.-N., Hong, C. S. (2021). Risk-Aware Energy Scheduling for Edge Computing With Microgrid: A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 18 (3), 3476–3497. <https://doi.org/10.1109/tnsm.2021.3049381>
 25. Zhou, S., Ali, A., Al-Fuqaha, A., Omar, M., Feng, L. (2024). Robust Risk-Sensitive Task Offloading for Edge-Enabled Industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 70 (1), 1403–1413. <https://doi.org/10.1109/tce.2023.3323146>
 26. Mao, S., He, S., Wu, J. (2021). Joint UAV Position Optimization and Resource Scheduling in Space-Air-Ground Integrated Networks With Mixed Cloud-Edge Computing. *IEEE Systems Journal*, 15 (3), 3992–4002. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2020.3041706>
 27. Xu, Z., Yu, Q., Yang, X. (2024). Joint Resource Allocation Optimization in Space–Air–Ground Integrated Networks. *Drones*, 8 (4), 157. <https://doi.org/10.3390/drones8040157>
 28. Zhang, J., Ning, Z., Waqas, M., Alasmay, H., Tu, S., Chen, S. (2024). Hybrid Edge-Cloud Collaborator Resource Scheduling Approach Based on Deep Reinforcement Learning and Multiobjective Optimization. *IEEE Transactions on Computers*, 73 (1), 192–205. <https://doi.org/10.1109/tc.2023.3326977>
 29. Taghinezhad-Niar, A., Taheri, J. (2024). Security, Reliability, Cost, and Energy-Aware Scheduling of Real-Time Workflows in Compute-Continuum Environments. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 12 (3), 954–965. <https://doi.org/10.1109/tcc.2024.3426282>
 30. Nkongolo, M. (2023). Using ARIMA to Predict the Growth in the Subscriber Data Usage. *Eng*, 4 (1), 92–120. <https://doi.org/10.3390/eng4010006>
 31. Al-Absi, M. A., Fu, R., Kim, K.-H., Lee, Y.-S., Al-Absi, A. A., Lee, H.-J. (2021). Tracking Unmanned Aerial Vehicles Based on the Kalman Filter Considering Uncertainty and Error Aware. *Electronics*, 10 (24), 3067. <https://doi.org/10.3390/electronics10243067>
 32. Park, M.-J., Yang, H.-S. (2024). Comparative Study of Time Series Analysis Algorithms Suitable for Short-Term Forecasting in Implementing Demand Response Based on AMI. *Sensors*, 24 (22), 7205. <https://doi.org/10.3390/s24227205>
 33. Zhang, S., Lu, J., Zhao, H. (2024). Deep Network Approximation: Beyond ReLU to Diverse Activation Functions. *Journal of Machine Learning Research*, 25. Available at: <https://jmlr.org/papers/volume25/23-0912/23-0912.pdf>
 34. Wang, W., Mao, C., Zhao, S., Cao, Y., Yi, Y., Chen, S., Liu, Q. (2021). A Smart Semipartitioned Real-Time Scheduling Strategy for Mixed-Criticality Systems in 6G-Based Edge Computing. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021 (1). <https://doi.org/10.1155/2021/6663199>
 35. Tkachov, V., Ruban, I. (2025). Experimental Dataset (S1–S5): Resource Reallocation and Critical Process Dispatching on Mobile Platforms. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18056221>
 36. Jierula, A., Wang, S., OH, T.-M., Wang, P. (2021). Study on Accuracy Metrics for Evaluating the Predictions of Damage Locations in Deep Piles Using Artificial Neural Networks with Acoustic Emission Data. *Applied Sciences*, 11 (5), 2314. <https://doi.org/10.3390/app11052314>
 37. Hodson, T. O. (2022). Root-mean-square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geoscientific Model Development*, 15 (14), 5481–5487. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-5481-2022>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352032

THE CREATION OF A METHODOLOGY FOR INTELLIGENT ASSESSING AND MANAGING THE SECURITY STATE OF COMPLEX SYSTEMS (p. 24–34)

Hennadii Miahkykh

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4491-5395>

Oleg Sovo

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

Ouha Salnikova

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv

Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7190-6091>

Oleksandr Zhuk

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3546-1507>

Iraida Stanovska

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Yevheniia Arkhylova

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv

Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1640-1488>

Yuliia Vakulenko

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6315-0116>

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>

Dmytro Balan

Military Institute of Telecommunications and Informatization

named after Heroes of Krut, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6714-8718>

Vitaliy Bereza

Military Institute of Telecommunications and Informatization

named after Heroes of Krut, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1758-3523>

Complex technical systems are the object of the study. The problem that is solved in the study is an increase in the level of security of complex technical systems. The originality of the study consists in: – comprehensive assessment of the security state of complex technical systems due to multi-level assessment using the theory of artificial intelligence;

- reduced error in assessing the security state of a complex technical system due to the human factor due to the verification of the parameters of a complex technical system;
- selection of the best individuals in bio-inspired algorithms, due to the use of an improved genetic algorithm, which achieves an increase in the efficiency and reliability of the obtained decisions and evaluations;
- make accurate decisions by individually adjusting the actions of agents in each bio-inspired algorithm;
- eliminating the conflict between agents in improved bio-inspired algorithms, which increases the efficiency and reliability of decisions made regarding the security state of complex technical systems;
- implementation of deep learning of knowledge bases of agents of each bio-inspired algorithm, due to the method of deep learning, which achieves an increase in the efficiency and reliability of assessments and control effects on the security state of complex technical systems.

Modeling of the proposed methodology was carried out, during which it was established that increasing the security of complex technical systems is achieved by increasing the efficiency of decision-making at the level of 15–17% due to the use of additional procedures and ensuring the reliability of decisions made at the level of 0.91.

This study can be used in practice when taking into account the delay time for collecting and proving information from sensors (sensors) of complex technical systems.

Keywords: multidimensionality of assessment, complex systems, efficiency of decision-making, efficiency, bio-inspired algorithms.

References

1. Sova, O., Radzivilov, H., Shyshatskiy, A., Shvets, P., Tkachenko, V., Nevhad, S. et al. (2022). Development of a method to improve the reliability of assessing the condition of the monitoring object in special-purpose information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (116)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254122>
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salsnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskiy, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskiy, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Wang, J., Neil, M., Fenton, N. (2020). A Bayesian network approach for cybersecurity risk assessment implementing and extending the FAIR model. *Computers & Security*, 89, 101659. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101659>
7. Matheu-García, S. N., Hernández-Ramos, J. L., Skarmeta, A. F., Baldini, G. (2019). Risk-based automated assessment and testing for the cybersecurity certification and labelling of IoT devices. *Computer Standards & Interfaces*, 62, 64–83. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
8. Henriques de Gusmão, A. P., Mendonça Silva, M., Poletto, T., Camara e Silva, L., Cabral Seixas Costa, A. P. (2018). Cybersecurity risk analysis model using fault tree analysis and fuzzy decision theory. *International Journal of Information Management*, 43, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.008>
9. Folorunso, O., Mustapha, O. A. (2015). A fuzzy expert system to Trust-Based Access Control in crowdsourcing environments. *Applied Computing and Informatics*, 11 (2), 116–129. <https://doi.org/10.1016/j.aci.2014.07.001>
10. Mohammad, A. (2020). Development of the concept of electronic government construction in the conditions of synergetic threats. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2 (53)), 42–46. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207066>
11. Bodin, L. D., Gordon, L. A., Loeb, M. P., Wang, A. (2018). Cybersecurity insurance and risk-sharing. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37 (6), 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2018.10.004>
12. Cormier, A., Ng, C. (2020). Integrating cybersecurity in hazard and risk analyses. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104044>
13. Hoffmann, R., Napiórkowski, J., Protasowicki, T., Stanik, J. (2020). Risk based approach in scope of cybersecurity threats and requirements. *Procedia Manufacturing*, 44, 655–662. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.243>
14. Perrine, K. A., Levin, M. W., Yahia, C. N., Duell, M., Boyles, S. D. (2019). Implications of traffic signal cybersecurity on potential deliberate traffic disruptions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.009>
15. Promyslov, V. G., Semenov, K. V., Shumov, A. S. (2019). A Clustering Method of Asset Cybersecurity Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 928–933. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.313>
16. Zarreh, A., Saygin, C., Wan, H., Lee, Y., Bracho, A. (2018). A game theory based cybersecurity assessment model for advanced manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 26, 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.162>
17. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
18. Koval, M., Sova, O., Shyshatskiy, A., Artabaiev, Y., Garashchuk, N., Yivzhenko, Y. et al. (2022). Improving the method for increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (120)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268621>
19. Shyshatskiy, A. (Ed.) (2024). *Information and control systems: modelling and optimizations*. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-04-7>
20. Voznytsia, A., Sharonova, N., Babenko, V., Ostapchuk, V., Neronov, S., Feoktystov, S. et al. (2025). Development of methods for intelligent assessment of parameters in decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (136)), 73–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337528>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351416

DEVELOPMENT OF A HIERARCHICAL TRANSPORTATION PLANNING MODEL WITH LOCAL SEGMENTATION OF ORDERS AND ADAPTIVE VEHICLE SELECTION (p. 35–47)

Iлона Драч

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0590-9814>

Oksana Kucheruk

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-5318>

Tetiana Kysil

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4094-3500>

Oleksandr Dykha

Khmelnyskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

Serhii Matiukh

Khmelnyskiy National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9899-109X>

The processes to plan transport deliveries in logistics systems involving hierarchical models have been investigated in this paper. The task to optimally plan freight delivery for transport and distribution logistics enterprises is associated with problems arising from fluctuations in demand, geographically distributed orders, as well as limited and heterogeneous resources.

The results of this study include the construction of a hierarchical model that allows for multi-level transportation planning, clustering of previously unclassified orders, and adjusting the choice of vehicles based on current conditions. Such adaptive choice of vehicles flexibly takes into account logistical constraints.

The findings indicate a reduction in transportation costs by 11.7% ($p < 0.05$). At the same time, it was found that under conditions of small samples, the stability of cluster solutions is limited and, therefore, additional verification and extended validation are required for their practical implementation.

The novelty of the proposed model is in the application of hierarchical decomposition of the multi-index transportation planning problem with the allocation of the global stage of cluster formation and the local stage of route planning. An approach to order clustering based on a limited sample of the closest applications in time and distance and an algorithm for adaptive selection of vehicles taking into account cost, carrying capacity and urgency of execution have been proposed.

The model built makes it possible to reduce the computational complexity of the problem compared to classical routing models while maintaining the interpretability of solutions at each stage due to transparent clustering rules. The scope of practical use of the results covers transport and logistics companies, delivery services, urban distribution systems, and retail logistics.

Keywords: hierarchical transportation planning, order segmentation, vehicle selection.

References

- Grazia Speranza, M. (2018). Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, 264 (3), 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.032>
- Voccia, S. A., Campbell, A. M., Thomas, B. W. (2019). The Same-Day Delivery Problem for Online Purchases. *Transportation Science*, 53 (1), 167–184. <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0732>
- Moslem, S., Saraji, M. K., Mardani, A., Alkharabsheh, A., Duleba, S., Esztergar-Kiss, D. (2023). A Systematic Review of Analytic Hierarchy Process Applications to Solve Transportation Problems: From 2003 to 2022. *IEEE Access*, 11, 11973–11990. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3234298>
- Wang, J. (2024). Real-time Optimization Algorithm for Intelligent Logistics Transportation Routes Based on Big Data Analysis. 2024 International Conference on Machine Intelligence and Digital Applications, 193–199. <https://doi.org/10.1145/3662739.3672306>
- Kacher, Y., Singh, P. (2021). A Comprehensive Literature Review on Transportation Problems. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 7 (5). <https://doi.org/10.1007/s40819-021-01134-y>
- Ekanayake, E. M. U. S. B., Daundasekara, W. B., Perera, S. P. C. (2022). An examination of different types of transportation problems and mathematical models. *American Journal of Mathematical and Computer Modelling*, 7 (3), 37–48. Available at: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/10071965>
- Ezugwu, A. E., Ikotun, A. M., Oyelade, O. O., Abualigah, L., Agushaka, J. O., Eke, C. I., Akinyelu, A. A. (2022). A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-the-art machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 110, 104743. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104743>
- Khayya, E., Medarhri, I., Zine, R. (2024). A survey of the vehicle routing problem and its variants: formulations and solutions. *Mathematical Modeling and Computing*, 11 (1), 333–343. <https://doi.org/10.23939/mmc2024.01.333>
- Gutiérrez Rubiano, D. F., Hincapié Montes, J. A., León Villalba, A. F. (2019). Collaborative distribution: strategies to generate efficiencies in urban distribution - Results of two pilot tests in the city of Bogotá. *DYNA*, 86 (210), 42–51. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.78931>
- Rahman, M. M., Datta, P. (2025). Data-driven business strategies with the power of the K-means algorithm. *International Journal of Higher Education Management*, 11 (02). <https://doi.org/10.24052/ijhem/v11n02/art-1>
- Villalba, A. F. L., Rotta, E. C. G. L. (2022). Clustering and heuristics algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13 (2), 165–184. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2021.12.002>
- Chorna, O., Didyk, P., Titov, S., Titova, O. (2024). Usage of clustering algorithms for automating route planning in transportation routing tasks. *Information Processing Systems*, 1 (176), 115–123. <https://doi.org/10.30748/soi.2024.176.14>
- Wu, X., Cheng, C., Zurita-Milla, R., Song, C. (2020). An overview of clustering methods for geo-referenced time series: from one-way clustering to co- and tri-clustering. *International Journal of Geographical Information Science*, 34 (9), 1822–1848. <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1726922>
- Pidchenko, S., Kucheruk, O., Drach, I., Pyvovar, O. (2024). Multi-criteria model for selection of optical linear terminals based on FUZZY TOPSIS method. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024 (1), 65–75. <https://doi.org/10.32620/reks.2024.1.06>
- Pidchenko, S., Kucheruk, O., Pyvovar, O., Stetsiuk, V., Mishan, V. (2023). A multi-criteria approach to decision-making in telecommunication network components selection. *Radioelectronic and Computer Systems*, 1, 155–165. <https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.13>
- Drach, I., Dykha, O., Matiukh, S., Dykha, M. (2025). Determination of the range of angular velocities of the auto-balancing mode for a vertical rotor system with a Leblanc-type balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (134)), 66–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.324793>
- Holenko, K., Dykha, A., Voichyshyn, Y., Horbay, O., Dykha, M., Dytyniuk, V. (2024). Determining the characteristics of contact interaction between the two-row windshield wiper and a curvilinear glass surface. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (127)), 48–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298204>
- Ambrosio, L., Brué, E., Semola, D. (2024). Lectures on Optimal Transport. In UNITEXT. Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-76834-7>
- Mehlawat, M. K., Kannan, D., Gupta, P., Aggarwal, U. (2019). Sustainable transportation planning for a three-stage fixed charge multi-objective transportation problem. *Annals of Operations Research*, 349 (2), 649–685. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03451-4>
- Aardal, K. I., Iwata, S., Kaibel, V., Svensson, O. N. A. (2022). Combinatorial Optimization. *Oberwolfach Reports*, 18 (4), 2893–2954. <https://doi.org/10.4171/owr/2021/53>
- Abd Elazeem, A. E. M., Mousa, A. A. A., El-Shorbagy, M. A., Elagan, S. K., Abo-Elnaga, Y. (2021). Detecting All Non-Dominated Points for Multi-Objective Multi-Index Transportation Problems. *Sustainability*, 13 (3), 1372. <https://doi.org/10.3390/su13031372>

22. Zitouni, R., Achache, M. (2017). A numerical comparison between two exact simplicial methods for solving a capacitated 4-index transportation problem. *Journal of Numerical Analysis and Approximation Theory*, 46 (2), 181–192. <https://doi.org/10.33993/jnaat462-1116>
23. Dar, A., Selvakumar, K., Ramki, S., Karuppasamy, K. M., Ansari Rather, J. A., A. (2023). Optimizing Multi-Objective Multi-Index Transportation Problems: A Smart Algorithmic Solution with Lindo Software. *RT&A*, 18 (4 (76)), 154–167. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2023-476-154-167>
24. Solving the Multi-Objective Four-Dimensional Transportation Problem using the Strength Pareto Evolutionary Algorithm (2024). *Optimization in the Agri-Food Supply Chain*, 89–120. <https://doi.org/10.1002/9781394316977.ch6>
25. Hakim, M., Zitouni, R. (2024). An approach to solve a fuzzy bi-objective multi-index fixed charge transportation problem. *Kybernetika*, 271–292. <https://doi.org/10.14736/kyb-2024-3-0271>
26. Cao, J. (2022). Mathematical Model and Algorithm of Multi-Index Transportation Problem in the Background of Artificial Intelligence. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/3664105>
27. Singh, B., Singh, A. (2023). Multi-Index Transportation Problem: an Overview of Its Variants, Solution Techniques and Applications. *Journal Punjab Academy of Sciences*, 23, 164–174. Available at: <http://jpas.in/index.php/home/article/view/64>
28. Akimov, D. (2022). Application of the Decomposition Method for Solving the Five-Index Transportation Problem in Logistic Systems. *Modern engineering and innovative technologies*, 2 (37-02), 68-73. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2025-37-02-059>
29. Ikotun, A. M., Habyarimana, F., Ezugwu, A. E. (2025). Cluster validity indices for automatic clustering: A comprehensive review. *Heliyon*, 11 (2), e41953. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41953>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.345253

DEVELOPMENT OF A LEAD-TIME-FIRST MULTI-LEVEL PLANNING APPROACH FOR CTO/ATO MASS CUSTOMIZATION SUPPLY CHAINS (p. 48–60)

Nouhaila El Assad

Hassan II University, Casablanca, Morocco
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4078-6703>

Salah-eddine Mokhlis

Hassan II University, Casablanca, Morocco
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3107-4295>

Kawtar El Haouti

Hassan II University, Casablanca, Morocco
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-0718>

Najat Messaoudi

Hassan II University, Casablanca, Morocco
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2554-2020>

This study examines planning in mass customization contexts that face challenges, due to high product variety, sparse configuration-level demand, and long supplier lead times. Traditional Configure-to-Order and Assemble-to-Order (CTO/ATO) planning approaches often rely on late procurement and full postponement, leading to high and unstable customer lead times. To address this problem, a lead-time-first planning approach is developed to translate historical demand information into executable planning decisions without relying on finished-goods inventory. The approach operates across three levels: feature-level Component Readiness Tiering for upstream component pre-positioning, segment-level Mix Guardrails to control demand heterogeneity, and configuration-level Top-K partial pre-kitting to exploit demand

concentration while preserving flexibility through postponement. The approach stands out because it directly links demand variability metrics to operational readiness thresholds. This link enables structured staging and coverage-based configuration selection. The approach is evaluated using a synthetic dataset representing one year of demand for customized laptops. Performance is assessed using lead-time-oriented indicators, including the 95th percentile customer lead time and instant-start rate. Results show improved responsiveness, with the worst-case customer lead time reduced from 12 days to approximately 7 days and immediate production enabled for a significant share of orders. These improvements are explained by early readiness of high-demand components combined with postponed final differentiation. The approach suits modular CTO and ATO environments with clear demand segments, stable high-volume components, and regular planning cycles.

Keywords: lead-time reduction, multi-level planning, postponement strategy, component readiness, demand variability.

References

1. Wang, N. (2021). Retracted on February 24, 2022: Mass Customization Capabilities: Literature Review. The Sixth International Conference on Information Management and Technology, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3465631.3465728>
2. Oliveira, J. M., Ramos, P. (2019). Assessing the Performance of Hierarchical Forecasting Methods on the Retail Sector. *Entropy*, 21 (4), 436. <https://doi.org/10.3390/e21040436>
3. Salvador, F., De Holan, P. M., Salvador, B. Y. F., Holan, P. M. D. E., Piller, F. (2009). Cracking the Code of Mass Customization. *MIT Sloan Management Review*, 50 (3). Available at: https://www.researchgate.net/publication/265498057_Cracking_the_Code_of_Mass_Customization
4. Fogliatto, F. S., da Silveira, G. J. C., Borenstein, D. (2012). The mass customization decade: An updated review of the literature. *International Journal of Production Economics*, 138 (1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.002>
5. Gunasekaran, A. (2007). Build-to-order supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 27 (11). <https://doi.org/10.1108/ijopm.2007.02427kaa.001>
6. Kiefer, D., Grimm, F., Bauer, M., Van, D. (2021). Demand Forecasting Intermittent and Lumpy Time Series: Comparing Statistical, Machine Learning and Deep Learning Methods. *Proceedings of the 54th Hawaii International Conference on System Sciences*. <https://doi.org/10.24251/hicss.2021.172>
7. Aviv, Y., Federgruen, A. (2001). Design for Postponement: A Comprehensive Characterization of Its Benefits Under Unknown Demand Distributions. *Operations Research*, 49 (4), 578–598. <https://doi.org/10.1287/opre.49.4.578.11229>
8. El Assad, N., Dachry, A., Fouraiji, H., Dachry, W., Messaoudi, N. (2025). Smart manufacturing paradigms in the context of industry 4.0: Bibliometric analysis. *E3S Web of Conferences*, 601, 00035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100035>
9. Raza, A., Haouari, L., Pero, M., Absi, N. (2018). Impacts of Industry 4.0 on the Specific Case of Mass Customization Through Modeling and Simulation Approach. *Customization 4.0*, 217–234. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77556-2_14
10. Scholz-Reiter, B., Kück, M., Lappe, D. (2014). Prediction of customer demands for production planning – Automated selection and configuration of suitable prediction methods. *CIRP Annals*, 63 (1), 417–420. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.03.106>
11. Vithitsontorn, C., Chongstitvatana, P. (2022). Demand Forecasting in Production Planning for Dairy Products Using Machine Learning and Statistical Method. *2022 International Electrical Engineering Congress (IEECON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ieecon53204.2022.9741683>

12. van Hoek, R. I. (2001). The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Management*, 19 (2), 161–184. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(00\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00057-7)
13. Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*, 85 (3), 319–329. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00119-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00119-1)
14. Wikner, J., Rudberg, M. (2005). Integrating production and engineering perspectives on the customer order decoupling point. *International Journal of Operations & Production Management*, 25 (7), 623–641. <https://doi.org/10.1108/01443570510605072>
15. Yang, B., Burns, N. D., Backhouse, C. J. (2004). Postponement: a review and an integrated framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (5), 468–487. <https://doi.org/10.1108/01443570410532542>
16. Syntetos, A. A., Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, 21 (2), 303–314. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2004.10.001>
17. Nikolopoulos, K. (2021). We need to talk about intermittent demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 291 (2), 549–559. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.12.046>
18. Kourentzes, N., Athanasopoulos, G. (2021). Elucidate structure in intermittent demand series. *European Journal of Operational Research*, 288 (1), 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.046>
19. Teunter, R. H., Syntetos, A. A., Zied Babai, M. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214 (3), 606–615. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.018>
20. El Assad, N., Mokhlis, S.-E., Messaoudi, N. (2025). Generation and Validation of a Synthetic Dataset for Demand Modelling in Mass Customization Using Artificial Intelligence Tools. *Connected Objects, Artificial Intelligence, Telecommunications and Electronics Engineering*, 529–535. https://doi.org/10.1007/978-3-032-01536-5_80

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350796

РОЗРОБКА МЕТОДУ ПРОГНОЗНО-АДАПТИВНОГО ПЕРЕРОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ З ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЄЮ КРИТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ (с. 6–23)**В. М. Ткачов, І. В. Рубан**

Об'єкт дослідження – процес оперативного керування ресурсами інформаційної системи на мобільній платформі в умовах переривчастої зв'язності, деструктивних впливів та нестаціонарної доступності ресурсу. Проблема полягає в тому, що похибка прогнозу та інерційність реконфігурації платформи здатні спричиняти коливальні режими перерозподілу, унаслідок чого критичні процеси епізодично втрачають мінімально потрібний ресурс у кожному такті керування. Отримано такі результати. Сформовано тактовий метод прогнозно-адаптивного перерозподілу з динамічним резервуванням. Метод вводить оперативне обмеження живучості як вимогу до мінімально гарантованого ресурсного профілю для критичних процесів. Запропоновано адаптувати обсяг резерву відповідно до міри достовірності поточного прогнозу. Введено обмеження на частоту реконфігурацій у ковзному вікні. Також передбачено диспетчеризацію критичних процесів за показниками терміновості та допустимої затримки. Завдяки поєднанню прогнозно адаптації резервування з інерційно-узгодженими обмеженнями реконфігурацій контур керування зменшує амплітуду та сумарну інтенсивність перебудов. Зокрема, для сценарію зі сплесками критичного навантаження максимальний крок реконфігурації зменшується приблизно на 52%, а сумарна величина змін профілю – приблизно на 14%. Отримані ефекти пояснюються тим, що резервні ресурси компенсують погіршення прогнозу, тоді як обмеження реконфігурацій запобігають різким керувальним діям і стабілізують тактовий розподіл ресурсів. Результати можуть бути використані під час побудови інформаційних систем керування ресурсами робототехнічних платформ, сенсорних мереж та мобільних комплексів за умов переривчастої зв'язності та деградації ресурсів у режимі реального часу.

Ключові слова: інформаційна система, прогнозно-адаптивне керування, живучість критичних процесів, динамічне резервування ресурсів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352032

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТА КЕРУВАННЯ СТАНОМ ЗАХИЩЕНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ (с. 24–34)**Г. Г. Мягких, О. Я. Сова, О. Ф. Сальнікова, О. В. Жук, І. І. Становська, Є. О. Архипова, Ю. В. Вакуленко, О. Л. Налапко, Д. Д. Балан, В. В. Береза**

Об'єктом дослідження є складні технічні системи. Проблема, яка вирішується в дослідженні, є підвищення рівня захищеності складних технічних систем. Оригінальність дослідження полягає у:

- комплексній оцінці стану захищеності складних технічних систем за рахунок багаторівневої оцінки з використанням теорії штучного інтелекту;
- зменшеній помилці оцінювання стану захищеності складної технічної системи, що обумовлені людським фактором за рахунок верифікації параметрів складної технічної системи;
- відборі найкращих особин у біоінспірованих алгоритмах, за рахунок використання удосконаленого генетичного алгоритму, чим досягається підвищення оперативності та достовірності отриманих рішень та оцінок;
- прийнятті точних рішень за рахунок індивідуального корегування дій агентів в кожному біоінспірованому алгоритмі;
- усуненні конфлікту між агентами в удосконалених біоінспірованих алгоритмів, чим підвищується оперативність та достовірність прийнятих рішень щодо стану захищеності складних технічних систем;
- здійсненні глибокого навчання баз знань агентів кожного біоінспірованого алгоритму, за рахунок методу глибокого навчання, чим досягається підвищення оперативності та достовірності оцінок та керуючих впливів на стан захищеності складних технічних систем.

Проведено моделювання запропонованої методики, в ході якого встановлено, що підвищення захищеності складних технічних систем досягається за рахунок підвищення оперативності прийняття рішень на рівні 15–17% за рахунок використання додаткових процедур та забезпечення достовірності прийнятих рішень на рівні 0.91.

Зазначене дослідження може бути використано на практиці при врахування часу затримки на збір та доведення інформації від датчиків (сенсорів) складних технічних систем.

Ключові слова: багатовимірність оцінки, складні системи, оперативність прийняття рішень, оперативність, біоінспіровані алгоритми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.351416

РОЗРОБКА ІЄРАРХІЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З ЛОКАЛЬНОЮ СЕГМЕНТАЦІЄЮ ЗАМОВЛЕНЬ ТА АДАПТИВНИМ ВИБОРОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ (с. 35–47)**І. В. Драч, О. Я. Кучерук, Т. М. Кисіль, О. В. Диха, С. А. Матюх**

Об'єктом дослідження є процеси планування транспортних перевезень у логістичних системах із використанням ієрархічних моделей. Задача оптимального планування вантажних перевезень для підприємств транспортної та розподільчої логістики пов'язана з проблемами, що виникають через коливання попиту, географічно розподілені замовлення та обмежені й неоднорідні ресурси. Результати дослідження включають розробку ієрархічної моделі, яка дозволяє здійснювати багаторівневе планування перевезень, кластеризацію раніше не класифікованих замовлень та коригування вибору транспортних засобів на основі поточних умов. Такий адаптивний вибір транспортних засобів гнучко враховує логістичні обмеження. Отримані результати свідчать про зниження транспортних витрат на 11,7% ($p < 0,05$). Водночас встановлено, що за умов малих вибірок стабільність кластерних рішень є обмеженою,

у зв'язку з чим для їх практичного впровадження необхідна додаткова перевірка та розширена валідація. Новизна запропонованої моделі полягає у застосуванні ієрархічної декомпозиції багатоіндексної задачі планування перевезень із виділенням глобального етапу формування кластерів і локального етапу планування маршрутів. Запропоновано підхід до кластеризації замовлень на основі обмеженої вибірки найближчих за часом і відстанню заявок та алгоритм адаптивного вибору транспортних засобів з урахуванням вартості, вантажомісткості та терміновості виконання. Розроблена модель дає змогу зменшити обчислювальну складність задачі порівняно з класичними моделями маршрутизації із збереженням інтерпретованості розв'язків на кожному етапі завдяки прозорим правилам кластеризації. Сфера практичного використання результатів охоплює транспортно-логістичні компанії, служби доставки, системи міської дистрибуції та логістику роздрібною торгівлі.

Ключові слова: ієрархічне планування перевезень, сегментація замовлень, вибір транспортних засобів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.345253

РОЗРОБЛЕННЯ БАГАТОРІВНЕВОГО ПІДХОДУ ДО ПЛАНУВАННЯ, ОРІЄНТОВАНОГО НА МІНІМІЗАЦІЮ ТЕРМІНІВ ВИКОНАННЯ, ДЛЯ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ МАСОВОЇ КАСТОМІЗАЦІЇ СТО/АТО (с. 48–60)

Nouhaila El Assad, Salah-eddine Mokhlis, Kawtar El Haouti, Messaoudi Najat

У цьому дослідженні розглянуто планування в умовах масової кастомізації, де виникають суттєві труднощі через велику різноманітність продукції, розріджений попит на рівні окремих конфігурацій і тривалі строки постачання від постачальників. Традиційні підходи Configure-to-Order та Assemble-to-Order зазвичай спираються на пізні закупівлі й повне відтермінування, що призводить до високих і нестабільних строків виконання замовлень для клієнтів. Щоб вирішити цю проблему, розроблено підхід до планування, орієнтованого насамперед на скорочення строків, який перетворює історичні дані про попит на конкретні та виконувані планові рішення без використання запасів готової продукції. Підхід до планування функціонує на трьох рівнях: на рівні характеристик застосовується класифікація компонентів за рівнями готовності для їх попереднього розміщення у постачальному ланцюзі; на рівні сегментів використовуються правила контролю асортиментної структури для управління неоднорідністю попиту; на рівні конфігурацій впроваджується часткове попереднє комплектування найбільш популярних варіантів для використання концентрації попиту з одночасним збереженням гнучкості через відтермінування фінальної диференціації. Підхід до планування відрізняється тим, що безпосередньо пов'язує показники варіабельності попиту з порогами операційної готовності. Це забезпечує структуроване формування запасів компонентів і відбір конфігурацій на основі покриття попиту. Підхід оцінено на синтетичному наборі даних, що відображає річний попит на індивідуалізовані ноутбуки. Отримані результати демонструють скорочення максимального строку виконання замовлення з 12 до приблизно 7 днів і можливість негайного запуску виробництва для значної частки замовлень без формування складу готової продукції.

Ключові слова: скорочення строків виконання, багаторівневе планування, стратегія відтермінування, готовність компонентів, варіабельність попиту.