

## ABSTRACT AND REFERENCES

## CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209912

**PREDICTING THE ESTIMATED TIME OF CARGO DISPATCH FROM A MARSHALING YARD (p. 6–15)****Artem Panchenko**V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5865-6158>**Andrii Prokhorchenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3123-5024>**Sergii Panchenko**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7626-9933>**Oleksandr Dekarchuk**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7729-1844>**Dmytro Gurin**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3089-1217>**Ievgen Medvediev**Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8566-9624>

A method has been proposed to predict the expected departure time for a cargo dispatch at the marshaling yard in a railroad system without complying with a freight trains departure schedule. The impact of various factors on the time over which a wagon dispatch stays within a marshaling system has been studied using a correlation analysis. The macro parameters of a transportation process that affect most the time over which a wagon dispatch stays within a marshaling system have been determined. To improve the input data informativeness, it has been proposed to use a data partitioning method that makes it possible to properly take into consideration the impact of different factors on the duration of downtime of dispatches at a station. A method has been developed to forecast the expected cargo dispatch time at a marshaling yard, which is based on the random forest machine learning method; the prediction accuracy has been tested. A mathematical forecasting model is represented in the form of solving the problem of multiclassification employing the processing of data with a large number of attributes and classes. A classification method with a trainer has been used. The random forest optimization was performed by selecting hyperparameters for the mathematical prediction model based on a random search. The undertaken experimental study involved data on the operation of an out-of-class marshaling yard in the railroad network of Ukraine. The forecasting accuracy of classification for dispatching from the wagon flow “transit without processing” is 86 % of the correct answers; for dispatching from the wagon flow “transit with processing” is 54 %.

The approach applied to predict the expected time of a cargo dispatch makes it possible to considerably improve the accuracy of obtained forecasts taking into consideration the actual operational situation at a marshaling yard. That would provide for a reasonable approach to the development of an automated system to predict the duration of operations involving cargo dispatches in a railroad system.

**Keywords:** railroad, marshaling yard, cargo dispatch, expected departure time, machine learning.

**References**

- Sapronova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hatchenko, V., Mali-uk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>
- Cameron, M., Brown, A. (1995). Intelligent transportation system Mayday becomes a reality. *Proceedings of the IEEE 1995 National Aerospace and Electronics Conference. NAECON 1995*. doi: <https://doi.org/10.1109/naecon.1995.521962>
- Deliverable D2.2. Draft Recommendations for Improved Information and Communications for Real-Time Yard and Network Management. Available at: [https://optiyard.eu/wp-content/uploads/2019/02/OptiYard\\_Deliverable2.2\\_Final.pdf](https://optiyard.eu/wp-content/uploads/2019/02/OptiYard_Deliverable2.2_Final.pdf)
- Khoshniyat, F. (2012). Simulation for Planning Strategies for Track Allocation at Marshaling Yards. *Stockholm*.
- Alzén, C. (2015). Trafikeringsplan Hallsbergs rangerbangård. *Handbok BRÖH 313.00700*. Banverket.
- Jacobsson, S., Arnäs, P. O., Stefansson, G. (2017). Access management in intermodal freight transportation: An explorative study of information attributes, actors, resources and activities. *Research in Transportation Business & Management*, 23, 106–124. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.02.012>
- Simonović, M., Vitković, N., Miltenović, A., Ristić, D. (2017). Report No. 730836. Deliverable D6.1 Architectural design of the information system for supervision and management of marshaling yards. SMART Smart Automation of Rail Transport.
- Bardas, O. O. (2016). Improving the intelligence technologies of train traffic's management on sorting stations. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 11, 9–15. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/76818>
- Erofeev, A., Fedorov, E. (2016). Planning for the formation of trains in the system of intellectual management of transportation process. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 12, 16–24. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85881>
- Kozachenko, D. M., Vernigora, R. V., Korobyova, R. G. (2008). The Software Package for Simulation of Railway Stations Based on Plan-Schedule. *Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 4, 18–20.
- Prokhorchenko, A. V., Prokhorov, V. M., Postolenko, A. Yu. (2011). Rozroblennia modeli formuvannia planu roboty sortuvalnoi stantsiyi na osnovi teoriiy rozkladu. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademiyi zaliznychnoho transportu*, 120, 38–43.
- Barbour, W., Samal, C., Kuppa, S., Dubey, A., Work, D. B. (2018). On the Data-Driven Prediction of Arrival Times for Freight Trains on U.S. Railroads. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). doi: <https://doi.org/10.1109/itsc.2018.8569406>
- RailConnect\*. Rail Yard Management System. Available at: [https://zerista.s3.amazonaws.com/item\\_files/7a8b/attachments/10454/original/rc\\_rail\\_yard\\_management\\_get.pdf](https://zerista.s3.amazonaws.com/item_files/7a8b/attachments/10454/original/rc_rail_yard_management_get.pdf)
- GE Transportation's Digital Solutions, Movement Planner Network Viewer. Available at: [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/GE-Transportation-Movement-Planner-NV-20160824\\_0.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/GE-Transportation-Movement-Planner-NV-20160824_0.pdf)
- Zhou, W., Yang, X., Qin, J., Deng, L. (2014). Optimizing the Long-Term Operating Plan of Railway Marshaling Station for Capacity Utilization Analysis. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/251315>
- Lin, E., Cheng, C. (2009). YardSim: A rail yard simulation framework and its implementation in a major railroad in the U.S. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*. doi: <https://doi.org/10.1109/wsc.2009.5429654>
- Xiao, Z., Ponnambalam, L., Fu, X., Zhang, W. (2017). Maritime Traffic Probabilistic Forecasting Based on Vessels' Waterway Patterns and Motion Behaviors. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18 (11), 3122–3134. doi: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2681810>
- Lechtenberg, S., Braga, D., Hellingrath, B. (2019). Automatic Identification System (AIS) data based Ship-Supply Forecasting. *Digital Transformation in Maritime and City Logistics: Smart Solutions for*

- Logistics. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics. doi: <https://doi.org/10.15480/882.2487>
19. Pani, C., Vanelslander, T., Fancello, G., Cannas, M. (2015). Prediction of late/early arrivals in container terminals – A qualitative approach. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15 (4), 536–550. doi: <http://doi.org/10.18757/ejtr.2015.15.4.3096>
  20. Fancello, G., Pani, C., Pisano, M., Serra, P., Zuddas, P., Fadda, P. (2011). Prediction of arrival times and human resources allocation for container terminal. *Maritime Economics & Logistics*, 13 (2), 142–173. doi: <https://doi.org/10.1057/mel.2011.3>
  21. Salleh, N. H. M., Riahi, R., Yang, Z., Wang, J. (2017). Predicting a Containership's Arrival Punctuality in Liner Operations by Using a Fuzzy Rule-Based Bayesian Network (FRBBN). *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33 (2), 95–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.06.007>
  22. Parolas, I., Tavasszy, L., Kourouniotti, I., van Duin, R. (2017). Prediction of Vessels' estimated time of arrival (ETA) using machine learning: A port of Rotterdam case study. Proceedings of the 96th Annual Meeting of the Transportation Research. Washington, 8–12.
  23. Servos, N., Liu, X., Teucke, M., Freitag, M. (2019). Travel Time Prediction in a Multimodal Freight Transport Relation Using Machine Learning Algorithms. *Logistics*, 4 (1), 1. doi: <https://doi.org/10.3390/logistics4010001>
  24. Wang, Z., Liang, M., Delahaye, D. (2018). Automated Data-Driven Prediction on Aircraft Estimated Time of Arrival. Eighth SESAR Innovation Days.
  25. Shang, Y., Dunson, D., Song, J.-S. (2017). Exploiting Big Data in Logistics Risk Assessment via Bayesian Nonparametrics. *Operations Research*, 65 (6), 1574–1588. doi: <https://doi.org/10.1287/opre.2017.1612>
  26. Altinkaya, M., Zontul, M. (2013). Urban bus arrival time prediction: A review of computational models. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2 (4).
  27. Sun, X., Zhang, H., Tian, F., Yang, L. (2018). The Use of a Machine Learning Method to Predict the Real-Time Link Travel Time of Open-Pit Trucks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–14. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4368045>
  28. Prokhorchenko, A., Panchenko, A., Parkhomenko, L., Nesterenko, G., Muzykin, M., Prokhorchenko, G., Kolisnyk, A. (2019). Forecasting the estimated time of arrival for a cargo dispatch delivered by a freight train along a railway section. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (99)), 30–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170174>
  29. Naumenko, P. P., Minenko, V. D., Zemlyanov, V. B. (2007). Single automated control system of "Ukrzaliznytsia" freight transportation as the basis for the integration of automated control systems of freight railway transport of Ukraine. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 17, 35–40.
  30. But'ko, T., Prokhorchenko, A. (2013). Investigation into Train Flow System on Ukraine's Railways with Methods of Complex Network Analysis. *American Journal of Industrial Engineering*, 1 (3), 41–45.
  31. Aris, S. (1999). *Probability Theory and Statistical Inference: Econometric Modeling with Observational Data*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511754081>
  32. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45 (1), 5–32. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
  33. Richert, W., Coelho, L. P. (2013). *Building Machine Learning Systems with Python*. Birmingham: Packt Publishing, 290.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210365

**DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO MANAGING DRY FRUIT SUPPLY CHAINS USING EXPERT SYSTEMS (p. 16–22)**

**Khudhair Abed Thamer**

Al – Maaref University College, Ramadi, Anbar, Iraq  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1575-2294>

**Rahimi Yashar**

National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute",  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5468-9726>

The paper outlines an approach to the management of dry fruit supply chains (DSC) using expert systems (ES), which implies modernization of the concept of supply chain management by complementing it with knowledge-oriented tools of decision-making support. It was shown that the technologies of ES development existing in engineering are not effective in organizing a unified information space within the DSC. In the framework of this approach, we considered the methodical approach to decomposition of the general problem of business processes management in the DSC into a series of interconnected functional sub-problems and the procedure of synthesis of a typical decision-making support unit (DMSU) by the DSC participants in the form of ES. The essence of the approach is to represent the DSC management process as a multi-layered hierarchical structure of problems, which can be implemented by a totality of interconnected typical DMSU by correspondent DSC participants. At the same time, a specialized ES shell was developed for each type of DMSU. Application of the approach under discussion will in practice ensure the homogeneity of the general information space of the DSC due to: clear positioning of each DMSU in the general management structure; widespread use of typical solutions in the synthesis of information support tools for DSC participants. The effectiveness of the described approach is shown using the example of implementation of the ES shell for the problem of choosing a rational route of delivery of dried fruit batches from foreign suppliers to wholesalers in Ukraine. The results of the study can be used by logistics companies in the formation of a rational route for the delivery of a batch of goods for various purposes from foreign suppliers to a focus company.

**Keywords:** supply chain management, decision making support, expert system, rational delivery route, fuzzy logic, dried fruit supply.

**References**

1. Crainic, T. G., Dejax, P., Delorme, L. (1989). Models for multimode multicommodity location problems with interdepot balancing requirements. *Annals of Operations Research*, 18 (1), 277–302. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02097809>
2. Crainic, T. G., Delorme, L. (1993). Dual-Ascent Procedures for Multicommodity Location-Allocation Problems with Balancing Requirements. *Transportation Science*, 27 (2), 90–101. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.27.2.90>
3. Brodetskiy, G. L. (2006). *Modelirovanie logisticheskikh sistem. Optimal'nye resheniya v usloviyah riska*. Moscow: Vershina, 376.
4. Vagner, M. Sh.; Ahmetzyanov, A. G. (Ed.) (2006). *Upravlenie post-avshchikami*. Moscow: KIA tsentr, 128.
5. Bespalov, R. S. (2007). *Transportnaya logistika. Noveyshie tehnologii postroeniya effektivnoy sistemy dostavki*. Moscow: Vershina, 384.
6. Dybskaya, V. V., Zaytsev, E. I., Sergeev, V. I., Sterligova, A. N.; Sergeev, V. I. (Ed.) (2014). *Logistika. Integratsiya i optimizatsiya logisticheskikh biznes-protsessov v tsepyah postavok*. Moscow: Eksmo, 944.
7. Rahimi, Y. (2017). Knowledge-oriented approach to the organization of supporting decision-making the formation of a complete logistic chain supplying dried fruits to Ukraine. *Systemy upravlinnia, navihatsiyi ta zviazku*, 6, 197–201.
8. Sergeev, V. I. (Ed.) (2017). *Korporativnaya logistika v voprosah i otvetah*. Moscow: NITS INFRA-M.
9. Shostak, I., Rahimi, Y., Danova, M., Feoktystova, O., Melnyk, O. (2019). Ensuring the Security of the Full Logistics Supply Chain Based on the Blockchain Technology. Proceedings of the 15th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Volume II: Workshops. Kherson, 655–663. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper\\_291.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_291.pdf)
10. Pérez-Salazar, M. del R., Aguilar Lasserre, A. A., Cedillo-Campos, M. G., Hernández González, J. C. (2017). The role of knowledge management in supply chain management: A literature review.

Journal of Industrial Engineering and Management, 10 (4), 711. doi: <https://doi.org/10.3926/jiem.2144>

11. Soleymani, M., Nejad, M. O. (2018). Supply Chain Risk Management using Expert Systems. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8 (04). doi: <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.8.4.12>
12. Shokouhyar, S., Seifhashemi, S., Siadat, H., Ahmadi, M. M. (2018). Implementing a fuzzy expert system for ensuring information technology supply chain. *Expert Systems*, 36 (1), e12339. doi: <https://doi.org/10.1111/exsy.12339>
13. Yazdani, M., Zarate, P., Coulibaly, A., Zavadskas, E. K. (2017). A group decision making support system in logistics and supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 88, 376–392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.07.014>
14. Mesarovich, M., Takahara, Ya., Emel'yanov, S. V. (Ed.) (1978). *Obshchaya teoriya sistem: Matematicheskie osnovy*. Moscow: Mir, 312.
15. Gerami, V. D., Kolik, A. V. (2015). *Upravlenie transportnymi sistemami. Transportnoe obespechenie logistiki*. Moscow: Yurayt, 512.
16. Zade, L. (1976). *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye dlya prinyatiya priblizhennykh resheniy*. Moscow: Mir, 165.
17. Rahimi, Y., Feoktystova, O. (2018). Development of expert systems for election of a rational transportation route of dried fruits to Ukraine. *Advanced Information Systems*, 2 (2), 84–88. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.14>
18. Leonenkov, A. V. (2005). *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH*. Sankt-Peterburg: BHV – Peterburg, 736.
19. Rutkovskaya, D., Piliński, M., Rutkovskiy, L. (2006). *Neyronnyye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy*. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 452.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210771**

#### **DEVELOPMENT OF AGILE MANAGEMENT APPROACHES TOWARDS INTERMODAL OPERATIONS UPON CARGO FLOWS IMBALANCE (p. 23–32)**

**Sergii Patkovskiy**

Kuehne-Nagel Inc., Chicago office, Elk Grove Village, IL, USA  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5369-7580>

**Liudmyla Kharsun**

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7569-943X>

This paper deals with intermodal operations optimization methods to be implemented by the Block Train Operator upon cargo flows asymmetries at the hinterland. The algorithm of containerized cargo flows analysis and mathematical model were developed based on the relevant intermodal operation system.

Inland leg of inbound containers from seaport to customer door arranged by truck is dominating within the emerging markets environment. Also imbalance in in- and outbound container flows as far as volumes, container size and payload is the case for largest inland destinations. Hence, the issue of rail-road transport prioritization and operational manageability is becoming of utmost importance. Centralizing those operations under a holistic service company – block train operator has been proven feasible.

Last mile deliveries prioritization approach is offered to achieve the highest number of inbound containers processing with their further utilization for outbound export shipments. Mathematical modeling was conducted for distinct sets of operational scenarios that might take place. The scenario that allows the block train operator to achieve the highest revenue numbers and emptied inbound containers utilization for exports was selected. The number of truck heads, chassis and truck driver mitigation has become a secondary objective. The optimal scenario selected helps to reduce the overheads risk at the time of weekly cargo volumes fluctuations.

The optimization approach represented can be applied to intermodal operations within markets where volume imbalance is rather possible.

**Keywords:** intermodal transportations, block train operator, block train, cargo flows imbalance, agile management, service level.

#### **References**

1. Macharis, C., Bontekoning, Y. M. (2004). Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review. *European Journal of Operational Research*, 153 (2), 400–416. doi: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00161-9](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00161-9)
2. Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I. (2004). Modelling a rail/road intermodal transportation system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40 (3), 255–270. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2003.08.005>
3. Kim, N. S., Van Wee, B. (2011). The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems. *Journal of Transport Geography*, 19 (4), 859–875. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.11.001>
4. Morlok, E. K., Sammon, J. P., Spasovic, L. N., Nozick, L. K. (1995). Improving Productivity in Intermodal Rail-Truck Transportation. *International Studies in the Service Economy*, 407–434. doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0073-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0073-1_16)
5. Morlok, E. K., Spasovic, L. N. (1994). Redesigning rail-truck intermodal drayage operations for enhanced service and cost performance. *Journal of the Transportation Research Forum*, 34 (1), 16–31.
6. Walker, W. T. (1992). Network Economies of Scale in Short Haul Truckload Operations. *Journal of Transport Economics and Policy*, 26 (1), 3–17.
7. Ballis, A., Golias, J. (2004). Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research*, 152 (2), 420–436. doi: [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00034-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00034-1)
8. Basallo-Triana, M. J., Holguín, C. J. V., Bastidas, J. J. B. (2019). Planning and design of a chassis container terminal. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (13), 2578–2583. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.595>
9. Zhang, C., Liu, J., Wan, Y., Murty, K. G., Linn, R. J. (2003). Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37 (10), 883–903. doi: [https://doi.org/10.1016/s0191-2615\(02\)00089-9](https://doi.org/10.1016/s0191-2615(02)00089-9)
10. Bostel, N., Dejax, P. (1998). Models and Algorithms for Container Allocation Problems on Trains in a Rapid Transshipment Shunting Yard. *Transportation Science*, 32 (4), 370–379. doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.32.4.370>
11. Zhang, R., Yun, W. Y., Kopfer, H. (2010). Heuristic-based truck scheduling for inland container transportation. *OR Spectrum*, 32 (3), 787–808. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0193-4>
12. Braekers, K., Caris, A., Janssens, G. K. (2012). Integrated planning of loaded and empty container movements. *OR Spectrum*, 35 (2), 457–478. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-012-0284-5>
13. Corry, P., Kozan, E. (2006). An assignment model for dynamic load planning of intermodal trains. *Computers & Operations Research*, 33 (1), 1–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.05.013>
14. Namboothiri, R., Erera, A. L. (2008). Planning local container drayage operations given a port access appointment system. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44 (2), 185–202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2007.07.004>
15. Shiri, S., Huynh, N. (2016). Optimization of drayage operations with time-window constraints. *International Journal of Production Economics*, 176, 7–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.005>
16. Ileri, Y., Bazarra, M., Gifford, T., Nemhauser, G., Sokol, J., Wikum, E. (2006). An optimization approach for planning daily drayage operations. *Central European Journal of Operations Research*, 14 (2), 141–156. doi: <https://doi.org/10.1007/s10100-006-0165-6>
17. Bruns, F., Knust, S. (2010). Optimized load planning of trains in intermodal transportation. *OR Spectrum*, 34 (3), 511–533. doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-010-0232-1>
18. Peng, Z., Wang, H., Wang, W., Jiang, Y. (2019). Intermodal transportation of full and empty containers in harbor-inland regions based on

revenue management. *European Transport Research Review*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0342-4>

19. Voges, J., Kesselmeier, H., Beister, J. (1994). Simulation and performance analysis of combined transport terminals. In: *Proceedings INTERMODAL '94 Conference*. Amsterdam.
20. Ukrainian ports annual performance report (2019). Available at: <http://www.uspa.gov.ua/ru/pokazateli-raboty/pokazateli-raboty-2019>
21. Kyiv traffic data within delivery zones (2020). Available at: <https://goo.gl/maps/DkNAbM1yFVfzwj676>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210170

## DYNAMIC CONTROL OVER TRAFFIC FLOW UNDER URBAN TRAFFIC CONDITIONS (p. 33–42)

**Liudmyla Abramova**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1182-9618>

**Valerii Shyrin**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6839-6767>

**Hennadii Ptytsia**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5061-0144>

**Serhii Kapinus**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5520-2337>

This article deals with solving topical issues of improving traffic effectiveness in major cities. The main traffic problem in major cities is a decrease in the throughput capacity of a street-road network and an increase in unpredictable travel time. The conducted study determined that the main reason for a decrease in the throughput capacity of a street-road network is the existence of traffic congestion modes and the formation of a “shock wave” with its spreading toward the oncoming traffic flow. To solve this problem, the dynamics of a change of parameters of a transport flow based on detection of the feature of the formation of a “shock wave” in a dense flow was simulated in the research. The analytical dependence on the rate of a density change under complicated traffic conditions on road sections makes it possible to determine the place of the “shock wave” formation to prevent its occurrence. The most common methods only affect the elimination of traffic congestions, which increases transport delays. To eliminate the congestion state on the open line of a street network, it was proposed to introduce dynamic traffic control. The feasibility of the above type of control is proved by simulating the impact of a change in the speed of traffic flow on its intensity. Theoretical models of traffic dynamics were developed for the street-road network section of the length of 1,500 m. The results of the simulating experiment on the urban open line that is 380 m long proved the adequacy of the model. The obtained results prove the possibility of decreasing intensity on the approach to congestion by reducing the speed of motion. This method of traffic control affects the end of a “shock wave”, rather than its front to prevent congestion. The research results affect an increase in network throughput.

**Keywords:** traffic, throughput capacity, density change rate, shock wave, dynamic control.

### References

1. Metz, D. (2018). Tackling urban traffic congestion: The experience of London, Stockholm and Singapore. *Case Studies on Transport Policy*, 6 (4), 494–498. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.06.002>
2. Shahgholian, M., Gharavian, D. *Advanced Traffic Management Systems: An Overview and A Development Strategy*. Available at: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1810/1810.02530.pdf>
3. Alonso, B., Ibeas, Á., Musolino, G., Rindone, C., Vitetta, A. (2019). Effects of traffic control regulation on Network Macroscopic Fundamental Diagram: A statistical analysis of real data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 126, 136–151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.05.012>
4. Kerner, B. S. (2017). *Breakdown in traffic networks. Fundamentals of transportation science*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54473-0>
5. Kerner, B. S. (2004). *The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-40986-1>
6. Daganzo, C. F. (1999). Remarks on Traffic Flow Modeling and Its Applications. *Traffic and Mobility*, 105–115. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-60236-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-60236-8_7)
7. Lighthill, M. J., Whitham, G. B. (1955). On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 229 (1178), 317–345. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1955.0089>
8. Uizem, Dzh.; Shabata, A. B. (Ed.) (1977). *Lineynye i nelineynye volny*. Moscow: Mir, 624.
9. Von Neumann, J.; Burks, A. W. (Ed.) (1966). *Theory of self-reproducing automata*. Urbana: University of Illinois Press.
10. Rakha, H., Gao, Y. (2010). Calibration of steady-state car-following models using macroscopic loop detector data. Final report. VT-2008-01. DTRS 99-G-003. Virginia Tech Transportation Institute. Available at: <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/25645>
11. Vikram, D., Chakraborty, P., Mittal, S. (2013). Exploring the Behavior of LWR Continuum Models of Traffic Flow in Presence of Shock Waves. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 412–421. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.134>
12. Chiou, Y.-C., Sun, C.-A., Hsieh, C.-W. (2015). A macro-micro model under mixed traffic flow conditions. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 11, 1931–1944. doi: <https://doi.org/10.11175/easts.11.1931>
13. Galushko, V. G. (1976). Veroyatnostno-statisticheskie metody na avtotransporte. Kyiv: Izdatel'skoe obiedinenie «Vishcha shkola», 232.
14. Semenov, V. V. (2006). *Smena paradigmy v teorii transportnyh potokov*. Moscow: IPM im. M. V. Keldysha RAN, 32. Available at: [https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006\\_46.html](https://www.keldysh.ru/papers/2006/prep46/prep2006_46.html)
15. Abramova, L. S., Shirin, V. V. (2011). Formalizatsiya parametrov dvizheniya avtotransportnyh sredstv pri dvizhenii v plotnom potoke. *Visnyk Donetskoj akademiji avtomobilnoho transportu*, 3, 4–11. Available at: [http://journal.diat.edu.ua/archiv\\_of\\_magazine/3-11](http://journal.diat.edu.ua/archiv_of_magazine/3-11)
16. Shvetsov, V. I. (2003). Mathematical Modeling of Traffic Flows. *Automation and Remote Control* 64, 1651–1689. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1027348026919>
17. Nagornyi, Ye., Abramova, L. (2017). Conceptual approach to the traffic control systems design. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi*, 12, 99–105. Available at: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/veit\\_2017\\_12\\_20.pdf](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/veit_2017_12_20.pdf)
18. Abramova, L. (2016). Method of dynamic traffic management at a railway crossing. *Avtomobil'nyi transport*, 38, 34–38. Available at: [https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/1678/1/AT\\_38\\_05.pdf](https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/1678/1/AT_38_05.pdf)
19. Cremer, M. (1995). On the calculation of individual travel times by macroscopic models. *Pacific Rim TransTech Conference. 1995 Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings. 6th International VNIS. A Ride into the Future*. doi: <https://doi.org/10.1109/vnis.1995.518837>
20. Cremer, M. (1979). Modellbildung für den Verkehrsfluß. *Fachberichte Messen Steuern Regeln*, 11–50. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-95346-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-95346-0_2)
21. Vasil'ev, A. P. (1986). *Proektirovanie dorog s uchetom vliyaniya klimata na usloviya dvizheniya*. Moscow: Transport, 284.

22. Kremenets, Yu. A., Pecherskiy, M. P., Afanas'ev, M. B. (2005). *Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya*. Moscow: Akademkniga, 279.
23. Abramova, L. (2020). Model experiment of dynamic control implementation at the transport network in Kharkiv, Ukraine. Theoretical and scientific foundations of engineering. Boston: Primedia eLaunch, 150–164. doi: <https://doi.org/10.46299/isg.2020.mono.tech.ii>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210761**

**DEVELOPMENT OF AN ARCHITECTURAL-LOGICAL MODEL TO AUTOMATE THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CREATING COMPLEX CYBER-PHYSICAL INDUSTRIAL SYSTEMS (p. 43–51)**

**Igor Nevliudov**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

**Vladyslav Yevsieiev**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2590-7085>

**Svitlana Maksymova**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1375-9337>

**Inna Filippenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3584-2107>

Modern highly technological production puts forward new requirements and approaches to the implementation of the Industry 4.0 concept. To achieve this, it is necessary to develop a cyber-physical production system that would make it possible to fully take into consideration all the factors of the actual production system. All solutions must pursue the global goal of making the best use of production time and resources, as well as meet the “Lean Production” concept. Existing ISO-95, 5C, and 8C cyber-physical production systems (CPPS) reference architectures cannot provide clearly expressed systematization and detailing. Such systems are a set of general recommendations that show the interaction processes among the physical and cyber-components of CPPS. This paper reports a new approach to the systemic representation of the processes for managing the development of complex cyber-physical production systems in the face of today’s threats. We have suggested a systemic representation of automating the process of managing the development of complex CPPS. Modern threats to the cyber-physical and information and communication systems (ICS) have been considered, which underlie CPPS. An architectural-logical model, as well as methods for automating the CPPS development process management, have been developed. This could help build a logical relationship from the initial “target” stage to the process of obtaining “management algorithms” at each level and stage of CPPS development as a symbiosis of physical and cyber-components. The devised CPPS development process management model provides an opportunity to propose a group of mathematical models and methods that logically link all development stages into a single “rigid” hierarchical sequence. This makes it possible to build a single information space with a set of complex CPPS development methodology. The proposed solutions could enable the development of an automated system to manage the process of the development of complex CPPS.

**Keywords:** Industry 4.0., Smart Manufacturing, cyber-physical manufacturing systems, multi-systems, metasystem, physical world, cyber world.

**References**

1. DIN SPEC 91345:2016-04. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). doi: <https://doi.org/10.31030/2436156>

2. Kunath, M., Winkler, H. (2019). Adaptive Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung für die dynamische Auftragsabwicklung: Konzeptionelle Überlegungen und Anwendungsszenarien unter Berücksichtigung des Digitalen Zwillings des Produktionssystems. *Handbuch Industrie 4.0 Und Digitale Transformation*, 269–294. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-658-24576-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-658-24576-4_12)
3. Uhlemann, T. H.-J., Lehmann, C., Steinhilper, R. (2017). The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 61, 335–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>
4. DIN SPEC 16593-1:2018-04. Reference Model for Industrie 4.0 Service Architectures - Part 1: Basic Concepts of an Interaction-based Architecture. doi: <https://doi.org/10.31030/2838942>
5. Francalanza, E., Borg, J., Constantinescu, C. (2017). A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Computers in Industry*, 84, 39–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.08.001>
6. Tomiyama, T., Moyon, F. (2018). Resilient architecture for cyber-physical production systems. *CIRP Annals*, 67 (1), 161–164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.021>
7. Kaestner, F., Kuschnerus, D., Spiegel, C., Janssen, B., Huebner, M. (2018). Design of an efficient Communication Architecture for Cyber-Physical Production Systems. 2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). doi: <https://doi.org/10.1109/coase.2018.8560563>
8. Hoffmann, S., de Carvalho, A. F. P., Abele, D., Schweitzer, M., Tollmie, P., Wulf, V. (2019). Cyber-Physical Systems for Knowledge and Expertise Sharing in Manufacturing Contexts: Towards a Model Enabling Supported Cooperative Work (CSCW), 28 (3-4), 469–509. doi: <https://doi.org/10.1007/s10606-019-09355-y>
9. Ribeiro, L., Hochwallner, M. (2018). On the Design Complexity of Cyberphysical Production Systems. *Complexity*, 2018, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4632195>
10. Lee, J., Bagheri, B., Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
11. Jiang, J.-R. (2018). An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (6), 168781401878419. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814018784192>
12. Ma, Z., Hudic, A., Shaaban, A., Plosz, S. (2017). Security Viewpoint in a Reference Architecture Model for Cyber-Physical Production Systems. 2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). doi: <https://doi.org/10.1109/eurospw.2017.65>
13. Cruz Salazar, L. A., Ryashentseva, D., Lüder, A., Vogel-Heuser, B. (2019). Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent’s design pattern-comparison of selected approaches mapping four agent patterns. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105 (9), 4005–4034. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03800-4>
14. Verigin, A. N., Lisitsin, N. V. (2007). *Organizatsionnye sistemy: Metody issledovaniya*. Sankt-Petrburg: SPbGTI(TU), 701.
15. Shmatko, O., Balakireva, S., Vlasov, A., Zagorodna, N., Korol, O., Milov, O. et. al. (2020). Development of methodological foundations for designing a classifier of threats to cyberphysical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (105)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205702>
16. Monostori, L. (2014). Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208764**

**MANAGING COSTS OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WHEN USING SECONDARY RESOURCES (p. 52–64)**

**Diana Raiko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9307-103X>

**Olha Podrez**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0099-0115>

**Viktoriia Cherepanova**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0294-1678>

**Oleg Melnikov**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2409-4983>

**Alla Kharchenko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8536-2857>

Cost price reduction is one of the ways to improve the competitiveness of products. It is possible by establishing the set of factors affecting the production costs at an industrial enterprise and building on this basis a mathematical model of in-house cost management.

The study objective was to develop and substantiate an economic-and-mathematical model of management to minimize the enterprise costs taking into account the utilization of secondary resources obtained in the production of basic products. The model consists of two stages. At the first stage, full costs of production of basic and additional products are determined. The peculiarity of this production implies the generation of significant amounts of secondary resources that have both independent value and opportunities for their use in the main technological process. This leads to complex material flows within the production process, which were accounted for in the study with the help of an adapted “cost-output” balance model.

A plant can function with the use of a variety of raw materials which differ in both prices and rates of the output of basic products and secondary resources. This brings about the problem of finding an optimal combination of input resources to minimize costs or maximize profits. The problem is solved in the second stage. It is formalized as a linear programming problem. It features the provision of the ability to establish indicative plans of production of both main products and by-products.

The model was tested on the example of coke-chemical plants producing coke of KDM-2 grade with 6 % humidity content and KDM-1 grade coke of improved quality as the main products. Coke oven gas, coke fines, beans, and sludge are produced as by-products. After purifying the coke oven gas, it is further used in the production of heat and electricity, compressed air, and a fuel for coke ovens. Thus, the produced fuel and energy, utilizable material resources, and circulating water supply are secondary resources. A certain portion of by-products is sold to third parties.

When applied, the model will make it possible to improve the efficiency of cost management at enterprises.

**Keywords:** industrial enterprise, cost management, secondary resources, cost optimization, linear programming.

**References**

- Leontief, W., Leontief, W. W. (1986). *Input-Output Economics*. Oxford University Press, 436.
- Podolski, M., Sroka, B. (2019). Cost optimization of multiunit construction projects using linear programming and metaheuristic-based simulated annealing algorithm. *Journal of civil engineering and management*, 25 (8), 848–857. doi: <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.11308>
- Zhang, Y., Islam, M. M., Sun, Z., Yang, S., Dagli, C., Xiong, H. (2018). Optimal sizing and planning of onsite generation system for manufacturing in Critical Peaking Pricing demand response program. *International Journal of Production Economics*, 206, 261–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.10.011>
- Myznikova, T. N., Bunova, E. V., Yaroslavova, E. N. (2017). Modeling the formation of an industrial enterprise operating income. *SHS Web of Conferences*, 35, 01088. doi: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20173501088>
- Letmathe, P., Wagner, S. (2018). “Messy” marginal costs: Internal pricing of environmental aspects on the firm level. *International Journal of Production Economics*, 201, 41–52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.04.016>
- Sari, R. M., Tambunan, M. M., Syahputri, K., Anizar, A., Siregar, I., Indah Rizkya, T. (2018). Optimization of saving production cost in plastic jute sacks with dynamic programming. *MATEC Web of Conferences*, 197, 14008. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819714008>
- Xu, X., Gu, X., Wang, Q., Gao, X., Liu, J., Wang, Z., Wang, X. (2018). Production scheduling optimization considering ecological costs for open pit metal mines. *Journal of Cleaner Production*, 180, 210–221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.135>
- Suzanne, E., Absi, N., Borodin, V. (2020). Towards circular economy in production planning: Challenges and opportunities. *European Journal of Operational Research*, 287 (1), 168–190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.043>
- Balet, J., Mikulčić, H., Klemeš, J. J., Urbaniec, K., Duić, N. (2019). Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1424–1436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- Gitelman, L., Magaril, E., Kozhevnikov, M., Rada, E. C. (2019). Rational Behavior of an Enterprise in the Energy Market in a Circular Economy. *Resources*, 8 (2), 73. doi: <https://doi.org/10.3390/resources8020073>
- Parlar, M., Sharafali, M., Goh, M. (2019). Optimal control and cooperative game theory based analysis of a by-product synergy system. *Journal of Cleaner Production*, 233, 731–742. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.243>
- Itogi raboty koksohimicheskikh predpriyatiy i proizvodstv Ukrainy v 2014 godu (2015). Dnepropetrovsk: UNPA «Ukrkoks», 76.
- Itogi raboty koksohimicheskikh predpriyatiy i proizvodstv Ukrainy v 2015 godu (2016). Dnepr: UNPA «Ukrkoks», 78.
- Itogi raboty koksohimicheskikh predpriyatiy i proizvodstv Ukrainy v 2016 godu (2017). Dnepr: UNPA «Ukrkoks», 85.
- Itogi raboty koksohimicheskikh predpriyatiy i proizvodstv Ukrainy v 2017 godu (2018). Dnepr: UNPA «Ukrkoks», 84.
- Itogi raboty koksohimicheskikh predpriyatiy i proizvodstv Ukrainy v 2018 godu (2019). Dnepr: UNPA «Ukrkoks», 73.
- Anatolii Starovoyt: “Tol’ko “Azovstal” vnedrila tehnologiyu vduvaniya koksovogo gaza”. *Ukrudprom*. Available at: <http://www.ukrudprom.com/digest/542107887787878.html?print%201/5>
- Kovalev, E. T., Bannikov, L. P., Kostenko, A. V. (2010). Perspektivnyye napravleniya razvitiya protsessov podgotovki koksovogo gaza i vozmozhnye puti ego kvalifitsirovannogo ispol’zovaniya v promyshlennosti. *UgleHimicheskii zhurnal*, 3-4, 82–87.

АНОТАЦІЇ  
CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.209912

**PREDICTING THE ESTIMATED TIME OF CARGO DISPATCH FROM A MARSHALING YARD (p. 6–15)**

A. Panchenko, A. Prokhorchenko, S. Panchenko, O. Dekarchuk, D. Gurin, I. Medvediev

Запропоновано метод прогнозування очікуваного часу відправлення для вантажної відправки на сортувальній станції в залізничній системі без дотримання розкладу відправлення вантажних поїздів. Проведено дослідження впливу різних факторів на тривалість знаходження вагонних відправок в сортувальній системі з використання кореляційного аналізу. Визначено макропараметри перевізного процесу, які найбільше впливають на тривалість знаходження вагонних відправок в сортувальній системі. Для збільшення інформативності вхідних даних запропоновано застосувати метод розбиття даних, що дозволяє більш детально врахувати вплив різних факторів на тривалість простою відправок на станції. Розроблено метод прогнозування очікуваного часу відправлення вантажної відправки на сортувальній станції на основі методу машинного навчання – випадковий ліс та перевірена точність прогнозу. Математичну модель прогнозування представлено у вигляді розв'язання задачі мультикласифікації з обробкою даних з великим числом ознак і класів. Використано метод класифікації з вчителем. Оптимізацію випадкового лісу проведено через підбір гіперпараметрів математичної моделі прогнозування на основі випадкового пошуку. Проведені експериментальні дослідження на даних експлуатаційної роботи позакласної сортувальної станції на залізничній мережі України. Точність прогнозу класифікації за показником асигасу для відправки з вагонопотоку «транзит без переробки» складає 86 % правильних відповідей; відправки з вагонопотоку «транзит з переробкою» складає 54 %.

Застосований підхід до прогнозування очікуваного часу відправлення вантажної відправки дозволяє значно підвищити точність отриманих прогнозів з урахуванням реальної експлуатаційної ситуації на сортувальній станції. Це дозволить обґрунтовано підійти до розробки автоматизованої системи прогнозування тривалості операцій з вантажними відправками в залізничній системі.

**Ключові слова:** залізниця, сортувальна станція, вантажна відправка, очікуваний час відправлення, машинне навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210365

**DEVELOPMENT OF AN APPROACH TO MANAGING DRY FRUIT SUPPLY CHAINS USING EXPERT SYSTEMS (p. 16–22)**

K. Thamer, Y. Rahimi

У роботі викладено підхід до управління ланцюгами поставок сухофруктів (ЛПС) з використанням експертних систем (ЕС), що полягає в модернізації концепції управління ланцюгами поставок шляхом доповнення її знанняорієнтованими засобами підтримки прийняття рішень. Показано, що існуючі в інженерії знань технології розробки ЕС не ефективні при організації єдиного інформаційного простору в рамках ЛПС. В рамках підходу розглядаються методичний підхід до декомпозиції загальної задачі управління бізнес-процесами в ЛПС на ряд взаємопов'язаних функціональних підзадач і процедура синтезу типового блоку підтримки прийняття рішень (БППР) учасниками ЛПС в формі ЕС. Суть підходу полягає в поданні процесу управління ЛПС у вигляді багатопарової ієрархічної структури завдань, яка може бути реалізована сукупністю взаємопов'язаних типових БППР відповідними учасниками ЛПС. При цьому для кожного типу БППР розроблена спеціалізована оболонка ЕС. Застосування обговорюваного підходу на практиці дасть можливість забезпечення гомогенності єдиного інформаційного простору ЛПС за рахунок чіткого позиціонування кожного БППР в загальній структурі управління; широкого застосування типових рішень при синтезі засобів інформаційної підтримки учасників ЛПС. Ефективність описаного підходу показана на прикладі реалізації оболонки ЕС для завдання вибору оптимального маршруту доставки партій сухофруктів від зарубіжних постачальників оптовим реалізаторам в Україні. Результати дослідження можуть бути використані логістичними компаніями при формуванні оптимального маршруту доставки партії товарів різного призначення від закордонних постачальників в фокусну компанію.

**Ключові слова:** управління ланцюгами поставок, підтримка прийняття рішень, експертна система, раціональний маршрут доставки, нечітка логіка, поставки сухофруктів, транспортна логістика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210771

**DEVELOPMENT OF AGILE MANAGEMENT APPROACHES TOWARDS INTERMODAL OPERATIONS UPON CARGO FLOWS IMBALANCE (p. 23–32)**

S. Patkovskiy, L. Kharsun

Запропоновано методологічний підхід до оптимізації інтермодальних операцій оператора контейнерного потяга через вузловий залізничний термінал в умовах асиметрії вантажопотоків. Розроблено алгоритм аналізу контейнерних вантажопотоків та економіко-математичну модель операційної діяльності оператора контейнерного потяга в умовах релевантної системи технічного забезпечення інтермодальних перевезень.

Показано, що для ринків країн, що розвиваються, характерним є зміщення акцентів у доставці контейнерів із морських портів на автомобільний транспорт. Необґрунтованим використання вантажних автомобілів часто є і з огляду на дисбаланс контейнерних вантажопотоків у розрізі регіонів доставки та з точки зору розмірів контейнерів і їх наповненості. Тому гостро стоїть питання підвищення ролі залізничного транспорту в інтермодальних перевезеннях. У цілях забезпечення порівняльної ефективності таких перевезень акцентовано на необхідності їх організації під егідою єдиного учасника – оператора контейнерного потяга.

Запропоновано підхід до проведення пріоритизації в системі доставок контейнерів від наземного терміналу до вантажоотримувача з метою максимізації кількості оброблених контейнерів та їх подальшого використання для експортних відвантажень. Проведено математичне моделювання різних сценаріїв організації інтермодальних операцій оператором контейнерного потяга. В результаті їх порівняння обрано варіант, за якого досягається максимізація виручки оператора, утилізація порожніх контейнерів під експорт автотранспортних засобів і водіїв. За умов оптимального сценарію знижуються і ризики збільшення умовно постійних витрат через нестабільність щотижневих обсягів перевезень.

Наведений методологічний підхід до оптимізації інтермодальних операцій може застосовуватись в умовах ринків із асиметрією вантажопотоків.

**Ключові слова:** інтермодальні перевезення, оператор контейнерного потяга, контейнерний потяг, дисбаланс вантажопотоків, адаптивне управління, рівень сервісу

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210170**

**DYNAMIC CONTROL OVER TRAFFIC FLOW UNDER URBAN TRAFFIC CONDITIONS (p. 33–42)**

**L. Abramova, V. Shyrin, H. Ptytsia, S. Kapinus**

У запропонованій статті розглядається вирішення актуальних питань підвищення ефективності дорожнього руху у великих містах. Основна проблема руху у великих містах полягає у зниженні пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі та збільшенні непрогнозованого часу пересування. У проведеному дослідженні визначено, що основною причиною зниження пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі є наявність заторових режимів руху і формування «ударної хвилі» при її поширенні в бік транспортного потоку, що рухається назустріч. Для вирішення означеної проблеми в роботі проведено моделювання динаміки зміни параметрів транспортного потоку на підставі виявлення особливості формування «ударної хвилі» у щільному потоці. Отримана аналітична залежність темпу зміни щільності у складних умовах руху на перегоні дозволяє визначити місце утворення «ударної хвилі» для попередження її виникнення. Тоді як найбільш поширені методи впливають лише на усунення транспортних заторів, що збільшує транспортну затримку. Для ліквідації заторового стану на перегонах вулично-дорожньої мережі запропоновано впровадження динамічного управління дорожнім рухом. Доцільність наведеного типу управління доведена шляхом моделювання впливу зміни швидкості руху транспортного потоку на інтенсивність. Теоретичні моделі динаміки транспортного потоку розроблені для ділянки вулично-дорожньої мережі довжиною 1500 м. Результати модельного експерименту на перегоні міста довжиною 380 м підтвердили адекватність моделі. Отримані результати підтверджують можливість зменшення інтенсивності на підході до затору шляхом зменшення швидкості руху. Саме такий спосіб управління дорожнім рухом впливає не на фронт «ударної хвилі», а на її кінець, для запобігання затору. Результати дослідження впливають на підвищення пропускної спроможності мережі.

**Ключові слова:** дорожній рух, пропускна спроможність, темп зміни щільності, ударна хвиля, динамічне управління.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210761**

**DEVELOPMENT OF AN ARCHITECTURAL-LOGICAL MODEL TO AUTOMATE THE MANAGEMENT OF THE PROCESS OF CREATING COMPLEX CYBER-PHYSICAL INDUSTRIAL SYSTEMS (p. 43–51)**

**I. Nevludov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, I. Filipenko**

Сучасне високотехнологічне виробництво висуває нові вимоги і підходи до реалізації концепції Industry 4.0. Для досягнення цього необхідно розробити кіберфізичну виробничу систему, яка дозволить повністю враховувати всі чинники реальної виробничої системи. Всі рішення повинні переслідувати глобальну мету досягнення оптимальності використання часу і ресурсів виробництва, а також задовольняти концепції «Lean Production». Існуючі еталонні архітектури ISO-95, 5C і 8C процесів управління розробкою кіберфізичних виробничих систем (CPPS) не мають чітко виражену систематизацію і деталізацію. Такі системи є набором загальних рекомендацій, в яких не показані процеси взаємодії між фізичними і кіберскладовими CPPS. В статті представлений новий підхід до системного подання процесів управління розробкою складних кіберфізичних виробничих систем в умовах сучасних загроз. Запропоновано системне уявлення автоматизації процесу управління розробкою складних CPPS. Розглянуті сучасні загрози на кіберфізичні та інформаційно-комунікаційні системи (ICS), які складають основу CPPS. Розроблено архітектурно-логічну модель і методи автоматизації процесу управління розробкою CPPS. Це дозволить побудувати логічний взаємозв'язок від початкового «цільового» етапу до процесу отримання «алгоритмів управління» на кожному рівні і етапі розробки CPPS як симбіоз фізичного і кіберскладових. Розроблена модель процесу управління розробкою CPPS дає можливість запропонувати групу математичних моделей і методів, які логічно пов'язують всі етапи розробки в єдину «жорстку» ієрархічну послідовність. Це дає можливість побудувати єдиний інформаційний простір з набором методології розробки складних CPPS. Запропоновані рішення дозволять розробити автоматизовану систему процесу управління розробкою складних CPPS.

**Ключові слова:** Industry 4.0., Smart Manufacturing, кібер-фізичні виробничі системи, мультисистеми, метасистема, фізичний світ, кібернетичний світ.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208764**

**MANAGING COSTS OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WHEN USING SECONDARY RESOURCES (p. 52–64)**

**D. Raiko, O. Podrez, V. Cherepanova, O. Melnikov, A. Kharchenko**

Одним з напрямів покращення конкурентоспроможності продукції є зниження собівартості. Зниження собівартості продукції можливе за умови визначення сукупності факторів, що впливають на виробничі витрати підприємства, та побудові на цій основі математичної моделі управління витратами промислового підприємства.



Метою є розробка та обґрунтування економіко-математичної моделі управління мінімізацією витрат підприємства з урахуванням утилізації вторинних ресурсів, одержаних при виробництві основної продукції. Модель складається з двох етапів. На першому етапі визначаються повні затрати на виробництво основної та додаткової продукції. Особливістю даного виробництва є генерація значної кількості вторинних ресурсів, які мають як самостійну цінність, так і можливості для використання в основному технологічному процесі. Це призводить до складних матеріальних потоків всередині виробництва, облік яких в роботі проводиться з використанням адаптованої балансової моделі «витрати-випуск».

Робота підприємства може здійснюватися з використанням різних видів сировини, які відрізняються як за цінами, так і нормами виходу основної продукції та вторинних ресурсів. Це призводить до задачі пошуку оптимальної комбінації вхідних ресурсів для мінімізації витрат або максимізації прибутку, яка вирішується на другому етапі. Дана задача формалізована як задача лінійного програмування. Особливістю моделі є можливість встановлення індикативних планів випуску як основної, так і додаткової (попутної) продукції.

Апробацію моделі проведено на прикладі коксохімічних підприємств, основною продукцією яких є валовий кокс 6 % вологості за маркою ҚДМ-2 та поліпшеної якості – ҚДМ-1, а додатково – коксовий газ, дріб'язок, горішок та шлам. Після очищення з коксового газу виробляється тепло- та електроенергія, зжате повітря, паливо для коксових печей. Вироблені таким чином паливно-енергетичні, зворотні матеріальні ресурси та оборотне водопостачання є вторинними ресурсами. Частина додаткової продукції продається стороннім організаціям.

Використання моделі дозволяє підвищити ефективність управління витратами на підприємстві.

**Ключові слова:** промислове підприємство, управління витратами, вторинні ресурси, оптимізація витрат, лінійне програмування.