



## INFORMATION TECHNOLOGIES

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225257

## CONVEYORIZED IMPLEMENTATION OF ASWM IMAGE FILTER ON PLD

pages 6–11

**Oleg Vasylychenkov**, PhD, Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: oleh.vasylychenkov@khp.edu.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0969-2248>

**Igor Liberg**, PhD, Professor, Department of Automation and Control in Technical Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: i\_liberg@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2404-5620>

**Mykhailo Mozhaiev**, PhD, Head of Department of Computer-Technical and Telecommunication Research, National Scientific Center «Hon. Prof. M. S. Bokarius Forensic Science Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: mikhail.mozhayev@hniise.gov.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

**Dmytro Salnikov**, Assistant, Department of Automation and Control in Technical Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: dmytro.salnikov@khp.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0490-4061>

The object of research is the adaptive switching weighted median image filter (ASWM) algorithm. This algorithm is one of the most effective in the field of impulse noise suppression. The computational complexity and algorithmic features of this adaptive nonlinear filter make it impossible to implement a filter that works in real time on modern PLD microcircuits.

The most problematic areas of the algorithm are the weight coefficient estimation cycle, which has no limit on the number of iterations and contains a large number of division operations. This does not allow implementing the filter on PLDs with a sufficiently effective method.

In the course of the research, the programming model of the filter in Python was used. The performance of the algorithm was assessed using the Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index Measure (SSIM) metrics.

Modeling made it possible to find out empirically the number of iterations of the cycle for estimating the weight coefficients at different levels of noise density and to estimate the effect of artificial limitation of the maximum number of iterations on the filter performance. Regardless of the intensity of the noise impact, the algorithm performs less than 40 iterations of the evaluation cycle. Let's also simulate the operation of the algorithm with different variants of the division module implementation. The paper considers the main of them and offers the most optimal in terms of the ratio of accuracy/hardware costs for implementation. Thus, a modified algorithm was proposed that does not have these disadvantages.

Thanks to modifications of the algorithm, it is possible to implement a pipelined ASWM image filter on modern PLDs. The filter is synthesized for the main families of Intel PLDs. The implementation, which is not inferior in terms of

SSIM and PSNR metrics to the original algorithm, requires less than 65,000 FPGA logical cells and allows filtering of monochrome images with FullHD resolution at 48 frames/s at a clock frequency of 100 MHz.

**Keywords:** adaptive filter, nonlinear filter, median filter, impulse noise, Peak Signal-to-Noise Ratio, Structural Similarity Index Measure.

## References

1. Gonzalez, R. C. (2003). *Digital Image Processing*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 123–124.
2. Brownrigg, D. R. K. (1984). The weighted median filter. *Communications of the ACM*, 27 (8), 807–818. doi: <http://doi.org/10.1145/358198.358222>
3. Goyal, P., Chaurasia, V. (2017). Application of median filter in removal of random valued impulse noise from natural images. *2017 International Conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 1, 125–128. doi: <http://doi.org/10.1109/iceca.2017.8203657>
4. Konieczka, A., Balcerek, J., Dabrowski, A. (2018). Method of adaptive pixel averaging for impulse noise reduction in digital images. *2018 Baltic URSI Symposium (URSI)*. Poznan, 221–224. doi: <http://doi.org/10.23919/ursi.2018.8406738>
5. Dawood, H., Dawood, H., Guo, P. (2015). Removal of random-valued impulse noise by Khalimsky grid. *2015 Asia Pacific Conference on Multimedia and Broadcasting*. doi: <http://doi.org/10.1109/apmediacast.2015.7210268>
6. Darus, M. S., Sulaiman, S. N., Isa, I. S., Hussain, Z., Tahir, N. M., Isa, N. A. M. (2016). Modified hybrid median filter for removal of low density random-valued impulse noise in images. *2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*. Batu Ferringhi, 528–533. doi: <http://doi.org/10.1109/iccsce.2016.7893633>
7. Zhang, X., Liao, H., Du, X., Xu, B. (2018). A Fast Hybrid Noise Filtering Algorithm Based on Median-Mean. *2018 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. Changchun, 2120–2125. doi: <http://doi.org/10.1109/icma.2018.8484392>
8. Hsieh, C., Huang, P., Zhao, Q. (2018). Impulse Noise Replacement With Adaptive Neighborhood Median Filtering. *2018 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*. Chengdu, 491–496. doi: <http://doi.org/10.1109/icmlc.2018.8527058>
9. Akkoul, S., Ledee, R., Leconge, R., Harba, R. (2010). A New Adaptive Switching Median Filter. *IEEE Signal Processing Letters*, 17 (6), 587–590. doi: <http://doi.org/10.1109/lsp.2010.2048646>
10. Kang, C.-C., Wang, W.-J. (2009). Modified switching median filter with one more noise detector for impulse noise removal. *AEU – International Journal of Electronics and Communications*, 63 (11), 998–1004. doi: <http://doi.org/10.1016/j.aeue.2008.08.009>
11. Akkoul, S., Ledee, R., Leconge, R., Harba, R. (2010). A New Adaptive Switching Median Filter. *IEEE Signal Processing Letters*, 17 (6), 587–590. doi: <http://doi.org/10.1109/lsp.2010.2048646>
12. Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P. (2004). Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13 (4), 600–612. doi: <http://doi.org/10.1109/tip.2003.819861>
13. Intel FPGA Product catalog, Version 20.3. Available at: <https://www.intel.com/content/dam/www/programmable/us/en/pdfs/literature/sg/product-catalog.pdf>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225285

**ANALYSIS OF FUZZY LOGIC METHODS FOR FORECASTING CUSTOMER CHURN**

pages 12–14

**Andrii Papa**, Postgraduate Student, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7753-8576>, e-mail: [papa.andriy@gmail.com](mailto:papa.andriy@gmail.com)

**Yevhen Shemet**, Postgraduate Student, Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5067-1900>, e-mail: [yevhene@gmail.com](mailto:yevhene@gmail.com)

**Andrii Yarovyj**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Computer Science, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6668-2425>, e-mail: [a.yarovyj@vntu.edu.ua](mailto:a.yarovyj@vntu.edu.ua)

The object of research is the process of predicting the churn of customers of telecommunications companies based on fuzzy logic and neural networks. The research carried out is based on the application of an approach that is implemented through the combined use of fuzzy logic and neural networks. The main assumption of the study is the hypothesis that the use of a fuzzy neural network formed on the basis of fuzzy logic algorithms can improve the accuracy of predicting customer churn relative to available solutions. This result can't be achieved neglecting the existing resource constraints and requirements, which must be determined separately for each case of research. The relevance of the problem of forecasting customer churn for companies with a large number of users is considered. A model for predicting customer churn is proposed based on the combined use of fuzzy logic and neural networks. The main feature of this approach is that a test sample of normalized data is used at the basis of fuzzy neural networks, which are processed to form the parameters of membership functions that correspond to the inference system, that is, conclusions are made on the basis of a fuzzy logic apparatus. Also, to find the parameters of the membership function, neural network algorithms are used. Such systems can use previously known information, learn, gain new knowledge, predict time series, perform image classification, and besides, they are quite visual to the user. The application of methods of fuzzy logic is considered, they make

it possible to obtain a result in the form of a fuzzy inference. The expediency of choosing these methods is explained by the fact that they were previously used in fuzzy automatic control systems and showed sufficiently high quality results. The expediency and prospects of using the proposed approach in the problem of predicting the outflow of customers of telecommunications companies are shown, and the results of software implementation are presented.

**Keywords:** predicting customer churn, fuzzy logic, membership function, fuzzy neural network, Mamdani algorithm, Sugeno algorithm.

**References**

1. Srinivasan, D., Tan, S. S., Chang, C. S., Chan, E. K. (1998). Practical implementation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting. *IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 145 (6), 687. doi: <http://doi.org/10.1049/ip-gtd:19982363>
2. Papa, A. A., Yarovyj, A. A., Prozor, O. P. (2019). Informatsiina tekhnolohiia analizu vidtoku kliientiv telekom-kompanii. *XLVIII Naukovo-tekhnichna konferentsiia fakultetu informatsiinykh tekhnolohii ta kompiuternoi inzhenerii*. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/7324>
3. Kulyk, O. O., Yarovyj, A. A. (2016). Klyasifikatsiia pliamopodibnykh zobrazhen z riznym stupenem spotvorennia na bazi nechitkykh system z bahatopotokovoiu obrobkoiu. *MIT-2016*. Odessa: VMV, 145–146.
4. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. doi: [http://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](http://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
5. Zadeh, L. A. (1968). Fuzzy algorithms. *Information and Control*, 12 (2), 94–102. doi: [http://doi.org/10.1016/s0019-9958\(68\)90211-8](http://doi.org/10.1016/s0019-9958(68)90211-8)
6. Mamdani, E. H. (1974). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 121 (12), 1585. doi: <http://doi.org/10.1049/piee.1974.0328>
7. Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1), 1–13. doi: [http://doi.org/10.1016/s0020-7373\(75\)80002-2](http://doi.org/10.1016/s0020-7373(75)80002-2)
8. Diakonov, V., Kruglov, V. (2001). Algoritmy nechetskogo vyvoda: algoritm Mamdani i algoritm Sugeno. *Matematicheskie pakety rasshireniia MATLAB*. Saint Petersburg: Piter, 307–309.
9. Jager, R. (1995). *Fuzzy logic in control*. Delft: Technische Universiteit, 313.
10. Sugeno, M. (1977). Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey. *Fuzzy automata and decision processes*. North-Holland, 89–102.

**SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225282

**SIMULATION OF PLATFORM-FREE INERTIAL NAVIGATION SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON NEURAL NETWORK ALGORITHMS**

pages 15–19

**Robert Bieliakov**, PhD, Department of Technical and Metrological Support, Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9882-3088>, e-mail: [rocimean123@gmail.com](mailto:rocimean123@gmail.com)

The object of research is the process of controlling the trajectory of unmanned aerial vehicles (UAVs) in autonomous flight mode based on neural network algorithms. The study is based on the application of numerical-analytical approach to the selection of modern technical solutions for the construction of standard models of platformless inertial navigation systems (BINS) for micro and small UAVs, followed by support for assumptions. The results of simulation in the Matlab environment allowed to simulate the operation of the UAV control system based on MEMS technology (using microelectromechanical systems) and Arduino microcomputers. It was also possible to experimentally determine

the nature of the influence of the structure of the selected neural network on the process of formation of navigation data during the disappearance of the GPS signal. Thus, to evaluate the effectiveness of the proposed solutions for the construction of BINS, a comparative analysis of the application of two algorithms ELM (Extreme Learning Machine)-Kalman and WANN (Wavelet Artificial Neural Network)-RNN (Recurrent Neural Network)-Madgwick in the form of two experiments. The purpose of the experiments was to determine: the study of the influence of the number of neurons of the latent level of the neural network on the accuracy of approximation of navigation data; determining the speed of the process of adaptive learning of neural network algorithms BINS UAV. The results of the experiments showed that the application of the algorithm based on ELM-Kalman provides better accuracy of learning the BINS neural network compared to the WANN-RNN-Madgwick algorithm. However, it should be noted that the accuracy of learning improved with the number of neurons in the structure of the latent level <500, which increases computational complexity and increases the learning process time. This can complicate the practical implementation using micro- and small UAV equipment. In addition, thanks to the simulation, the result of the study of the application of the proposed neural network algorithms to replace the input data instead of GPS signals to the input BINS, allowed to estimate the positioning error during the disappearance of GPS signals. Also, the application of the WANN-RNN-Madgwick algorithm allows to approximate and extrapolate the input signals of navigation parameters in a dynamic environment, while the process of adaptive learning in real time.

**Keywords:** neural network, flight trajectory, neural network learning accuracy, simulation, navigation data.

**References**

1. Santoso, F., Garratt, M. A., Anavatti, S. G. (2018). State-of-the-Art Intelligent Flight Control Systems in Unmanned Aerial Vehicles. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15 (2), 613–627. doi: <http://doi.org/10.1109/tase.2017.2651109>
2. Zhou, Y., Wan, J., Li, Z., Song, Z. (2017). GPS/INS integrated navigation with BP neural network and Kalman filter. *2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. doi: <http://doi.org/10.1109/robio.2017.8324798>
3. Sun, C., He, W., Ge, W., Chang, C. (2017). Adaptive neural network control of biped robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47 (2), 315–326. doi: <http://doi.org/10.1109/tsmc.2016.2557223>
4. Veremeenko, K. K., Krasilshchikov, M. N., Sypalo, K. A. (2008). *Upravlenie i navedenie bespilotnykh manevrennykh letatelnykh apparatov na osnove sovremennykh informatsionnykh tekhnologii*. Moscow: Fizmatlit, 211–219.
5. Ding, S., Ma, G., Shi, Z. (2013). A Rough RBF Neural Network Based on Weighted Regularized Extreme Learning Machine. *Neural Processing Letters*, 40 (3), 245–260. doi: <http://doi.org/10.1007/s11063-013-9326-5>
6. Niu, X., Nassar, S., El-Sheimy, N. (2007). An Accurate Land-Vehicle MEMS IMU/GPS Navigation System Using 3D Auxiliary Velocity Updates. *Navigation*, 54 (3), 177–188. doi: <http://doi.org/10.1002/j.2161-4296.2007.tb00403.x>
7. Fesenko, O., Bieliakov, R., Radzivilov, G., Huli, V. (2020). Experimental analysis of possibilities of application of neural networks for a management by the trajectory of flight of UAV. *Zbirnyk naukovykh prats VITI*, 1, 97–112. Available at: [http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2020/11\\_1\\_2020.pdf](http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2020/11_1_2020.pdf)
8. Tikhonov, V. A. (2004). Neurosetevaia model algoritma besplatformennoi inertsiainoi navigatsionnoi sistem. *Aerokosmicheskie pribornye tekhnologii*, 47–50.
9. Fakharian, A., Gustafsson, T., Mehrfam, M. (2011). Adaptive Kalman filtering based navigation: An IMU/GPS integration approach. *2011 International Conference on Networking, Sensing and Control*, 181–185. doi: <http://doi.org/10.1109/icnsc.2011.5874871>
10. Jiang, C., Chen, S., Chen, Y., Zhang, B., Feng, Z., Zhou, H., Bo, Y. (2018). A MEMS IMU De-Noiseing Method Using Long Short Term Memory Recurrent Neural Networks (LSTM-RNN). *Sensors*, 18 (10), 3470. doi: <http://doi.org/10.3390/s18103470>
11. Gross, J., Gu, Y., Gururajan, S., Seanor, B., Napolitano, M. (2010). A Comparison of Extended Kalman Filter, Sigma-Point Kalman Filter, and Particle Filter in GPS/INS Sensor Fusion. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*. doi: <http://doi.org/10.2514/6.2010-8332>
12. Ning, Y., Wang, J., Han, H., Tan, X., Liu, T. (2018). An Optimal Radial Basis Function Neural Network Enhanced Adaptive Robust Kalman Filter for GNSS/INS Integrated Systems in Complex Urban Areas. *Sensors*, 18 (9), 3091. doi: <http://doi.org/10.3390/s18093091>
13. Thomas, E., Hendrik, M. J., Frank, H. (2019). Neural architecture search: A Survey. *Journal of Machine Learning Research*, 20 (55), 1–21. Available at: <https://www.jmlr.org/papers/volume20/18-598/18-598.pdf>
14. Gaier, A., Ha, D. (2019). *Weight agnostic neural networks*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1906.04358>
15. Hubara, I., Courbariaux, M., Soudry, D., El-Yaniv, R., Bengio, Y. (2018). Quantized neural networks: training neural networks with low precision weights and activations. *Journal of Machine Learning Research*, 18, 1–30. Available at: <https://jmlr.org/papers/v18/16-456.html>
16. Lashley, M., Bevely, D. M., Hung, J. Y. (2009). Performance Analysis of Vector Tracking Algorithms for Weak GPS Signals in High Dynamics. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 3 (4), 661–673. doi: <http://doi.org/10.1109/jstsp.2009.2023341>
17. Cao, Y., Jia, F., Jiang, X., Zhang, Q. (2019). Prediction of SINS/GPS Navigation Information by ELM Algorithm during GPS outages. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612, 032002. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/612/3/032002>
18. Zhao, J., Wang, Z., Park, D. S. (2012). Online sequential extreme learning machine with forgetting mechanism. *Neurocomputing*, 87, 79–89. doi: <http://doi.org/10.1016/j.neucom.2012.02.003>
19. Bieliakov, R. O., Radzivilov, H. D., Fesenko, O. D., Vasylichenko, V. V., Tsaturian, O. G., Shyshatskyi, A. V., Romanenko, V. P. (2019). Method of the intelligent system construction of automatic control of unmanned aircraft apparatus. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 218–229. doi: <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-1-20>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225523

**OPTIMIZATION OF INFRASTRUCTURE PROJECTS PARAMETERS IN THE PROGRAM**

pages 20–24

*Mykolay Vereshchaka, Department of Hoisting and Transport Machines and Engineering of Port Technological Equipment, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, e-mail: nikolaiver3@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7115-6630>*

The object of research is infrastructure projects as part of the program. The products of infrastructure projects are various infrastructural objects that together provide a certain value for stakeholders, for example, a certain bandwidth of the transport network or the capacity of a port, channel, etc. Identification of the parameters of project products is carried out at the stage of program development. For most projects, these parameters allow for variability within certain limits. The interconnection of infrastructure projects is determined not only by general financing and management, but, above all, by the consistency of the properties of goods. Therefore, the optimization of the parameters of the products of such projects is carried out integrally, within a single model. Coordination of the parameters of the products of infrastructure projects as part of the program requires formalized methods that allow them to be optimized taking into account both local constraints for each project and the global conditions for implementing the program. As a result of the study, a concept has been formed and an appropriate model has been developed, which allows setting the optimal parameters of the products of infrastructure projects as part of the program. Modeling is based on the ability to vary the parameters of project products and their relationship with the characteristics of projects and the program as a whole, such as value, costs, and the magnitude of risks. Since the program and the projects included in it can be of a non-commercial nature, therefore, the main criterion of optimality for the parameters of the products of projects and programs is a universal category – value, and it is considered for all stakeholders. The use of this model in the development of the program and the infrastructure projects included in it ensures the optimization of the required result while meeting certain requirements and limiting conditions. The model belongs to the class of nonlinear models and is developed for a situation where a so-called «main» project (or their combination) can be distinguished, which form(s) the requirements for the products of other projects interconnected with it, which is typical for infrastructure programs.

**Keywords:** stakeholders of infrastructure projects, project value, optimization of the program composition, infrastructure facility, project risks.

#### References

- Jean, A., Kertland, P., Warren, F., Mortsch, L., Garbo, A., Bourque, J. (2014). Water and Transportation Infrastructure. *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation*, 233–252.
- Verenich, O. V. (2016). Management of infrastructure projects and programs as a key element for the development of social and economic systems. *Management of Development of Complex Systems*, 25, 23–31.
- Bushuyev, S., Bushuyev, D., Kozyr, B. (2019). Paradigm shift in the management of infrastructure projects and programs. *Management of Development of Complex Systems*, 37, 6–12.
- Bushuiev, D., Kozyr, B. (2020). Hybrid infrastructure project management methodologies. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 1 (11), 35–43. doi: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.035>
- Bushuiev, S. D., Shkuro, M. Yu., Kozyr, B. Yu. (2019). Proactive project management of ensuring the energy efficiency of municipal infrastructure. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Strategic Management, Portfolio, Program and Project Management*, 1 (1326), 3–10. doi: <http://doi.org/10.20998/2413-3000.2019.1326.1>
- Shkuro, M. Yu., Bushuyev, S. D. (2017). Application of project management in municipal infrastructure projects for energy efficiency. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 16, 77–83.
- Bushuyev, S., Kozyr, B., Zapryvoda, A. (2019). Nonlinear strategic management of infrastructure programs. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (10), 14–23. doi: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.014>
- Onyshenko, S. P., Litvinova, N. N. (2012). Specificity of projects public-private partnerships and prospects for their use of ukrainian sea ports. *Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy mashynobudivnoi haluzi: problemy teorii ta praktyky*, 4 (20), 4–17.
- Chen, Z., Liu, L., Li, L., Li, H. (2014). A Two-Stage Model for Project Optimization in Transportation Infrastructure Management System. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–8. doi: <http://doi.org/10.1155/2014/914515>
- Kobylkin, D., Zachko, O., Popovych, V., Burak, N., Golovaty, R., Wolff, C. (2020). Models for Changes Management in Infrastructure Projects. *ITPM*, 106–115.
- Blintsov, V. S., Maidaniuk, P. V. (2019). Model of information platform of management of protection projects of marine critical infrastructure object. *Shipbuilding & Marine Infrastructure*, 2 (12), 4–17. doi: [http://doi.org/10.15589/smi2019.2\(12\).1](http://doi.org/10.15589/smi2019.2(12).1)
- Kharytonov, Yu. M., Hordieiev, B. M., Berdinskykh, B. V. (2017). Modeling of project management information platform of port infrastructure development. *ScienceRise*, 1 (2 (30)), 39–47. doi: <http://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.91279>
- Onischenko, S. P. (2009). Optimizatsiia obektnykh i vremennykh parametrov ekspluatatsionnoi fazy proektov razvitiia predpriatii na primere sudokhodnykh kompanii. *Metodi ta zasobi rozvitku transportnykh sistem*, 1, 70–84.
- Onyshchenko, S., Bondar, A., Andrievska, V., Sudnyk, N., Lohinov, O. (2019). Constructing and exploring the model to form the road map of enterprise development. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (101)), 33–42. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179185>
- Onyshchenko, S., Leontieva, A. (2018). Modeling of the optimal composition of the enterprise technical development program. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (2 (43)), 36–41. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.146463>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225067

#### DEVELOPMENT OF MODEL OF A WEB-BASED INFORMATION SYSTEM CONTROL PROBLEM

pages 25–31

**Viktor Levykin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [viktor.levykin@nure.ua](mailto:viktor.levykin@nure.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7929-515X>

**Maksym Ievlanov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [maksym.ievlanov@nure.ua](mailto:maksym.ievlanov@nure.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

-----  
**Olga Neumyvakina**, PhD, Senior Researcher, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [olga.neumyvakina@nure.ua](mailto:olga.neumyvakina@nure.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6936-6543>,  
 -----

**Oleksandr Petrychenko**, PhD, Senior Researcher, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: [oleksandr.petrychenko@nure.ua](mailto:oleksandr.petrychenko@nure.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1319-5041>

The object of research is the processes of operation of a web-based information system. The conducted research is based on the application of existing approaches to organizing the operation of IT products, as well as on the previously developed formal model of the problem of managing the operation of an information system. The existing assessment of the satisfaction degree of the requirements for the system was adopted as the main criterion for managing the operation of the information system. The main hypothesis of the study is the assumption that the main criterion for managing the operation of a web-based information system should be considered the efficiency indicator as the ratio of the degree of satisfaction of requests for changes in individual components of the information system and the total costs of operating the system. The analysis of the applicability of the criterion «Satisfaction of the requirements of users of the information system» is carried out and its incomplete objectivity is shown for describing the goals of managing the operation of the information system. The use of the management efficiency indicator is substantiated, the features of the use of this indicator for solving the problem of managing the operation of the information system are considered. The existence of two approaches to determining the efficiency of the operation of an information system is recognized. Based on the results obtained, a concept for managing the operation of a web-based information system is proposed. This concept represents the main task of managing the operation of a web-based information system as a special case of a multicriteria optimization problem, the solution of which will be a Pareto-optimal system. On the basis of the proposed concept, a mathematical model of the problem of effective management of a web-based information system has been developed. To describe the function of the goal in the course of developing the model, it is proposed to move from descriptions of requirements to knowledge-based models of requests for changing the information system. It is also proposed to divide the set of model constraints into two separate complexes – a set of technical management constraints and a set of operating process constraints. Application of the developed model will make it possible to create new information technologies for managing the operation of web-based information systems for enterprise management. In contrast to the existing ones, such technologies will allow formalizing and automating the work on the formation and approval of the most profitable for the participants in the operation of the information system of project plans for fulfilling requests for changes in the operating system.

**Keywords:** web-based information system, system operation management, multi-criteria optimization problem, operation efficiency indicator, Pareto-optimal system.

1. Levykin, V. M., Evlanov, M. V., Kernosov, M. A. (2014). *Patterny proektirovaniia trebovaniı k informatsionnym sistemam: modelirovanie i primenenie*. Kharkiv: OOO «Kompaniia SMIT», 320.
2. Fulton, J. (2017). *Web Architecture 101*. Medium. Available at: <https://engineering.videoblocks.com/web-architecture-101-a3224e126947>
3. *Common web application architectures* (2020). Microsoft. Available at: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/architecture/modern-web-apps-azure/common-web-application-architectures>
4. Palermo, J. (2013). *Onion Architecture: Part 4 – After Four Years*. Programming with Palermo. Available at: <https://jeffreypalermo.com/2013/08/onion-architecture-part-4-after-four-years/>
5. *ISO/IEC 20000-1:2011. Information technology. Device Management Part 1. Service management system requirements* (2014). Moscow: Standartinform, 24.
6. *ITIL Service Operation* (2011). London: TSO, 370.
7. *ITIL Continual Service Improvement* (2011). London: TSO, 246.
8. Gulzar, K., Ruusu, R., Sierla, S., Aarnio, P., Karhela, T., Vyatkin, V. (2018). Automatic Generation of a Lifecycle Analysis Model from a First Principles Industrial Process Simulation Model. *Proceedings IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics*, 741–746. doi: <http://doi.org/10.1109/in-diin.2018.8471980>
9. Guo, J. X. (2019). Measuring Information System Project Success through a Software-Assisted Qualitative Content Analysis. *Information Technology and Libraries*, 38 (1), 53–70. doi: <http://doi.org/10.6017/ital.v38i1.10603>
10. Calderon, N. N., Kajko-Mattsson, M., Nolan, A. J. (2015). Successful process improvement projects are no accidents. *Journal of Software: Evolution and Process*, 27 (11), 896–911. doi: <http://doi.org/10.1002/smr.1738>
11. Reiff-Marganec, S., Tilly, M. (Eds.) (2012). *Handbook of Research on Service-Oriented Systems and Non-Functional Properties: Future Directions*. Hershey: IGI Global, 521. doi: <http://doi.org/10.4018/978-1-61350-432-1>
12. Driss, M., Aljehani, A., Boulila, W., Ghandorh, H., Al-Sarem, M. (2020). Servicing Your Requirements: An FCA and RCA-Driven Approach for Semantic Web Services Composition. *IEEE Access*, 8, 59326–59339. doi: <http://doi.org/10.1109/access.2020.2982592>
13. Levykin, V., Yevlanov, M., Neumivakina, O., Petrichenko, O. (2019). Generalized model for monitoring and operating the information system. *Proceedings of Third International Conference on Computer and Information Systems and Technologies*. Kharkov: KhNURE, 117–118. doi: <http://doi.org/10.30837/ivcsitic2020201438>
14. Brooks, P. (2006). *Metrics for IT Service Management*. Van Haren Publishing, 202.
15. Yevlanov, M., Petrichenko, O., Shtangey, S., Zhebka, V. (2019). Development of a model for the task of managing the operation of a service-oriented information system. *Proceedings of 2019 International Scientific-Practical Conference «PIC S&T'2019»*, 825–831. doi: <http://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061490>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.224432

**RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC PROCESSES USING WAVELET TRANSFORMATION FOR DETECTING A DIAGNOSTIC SIGN OF THE TECHNICAL STATE OF GAS PUMPING UNITS**

pages 32–36

**Viktor Levykin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of

*Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: viktor.levykin@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7929-515X>*

**Maksym Ievlanov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: maksym.ievlanov@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

**Olga Neumyvakina**, PhD, Senior Researcher, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: olga.neumyvakina@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6936-6543>

**Oleksandr Petrychenko**, PhD, Senior Researcher, Department of Information Control Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: oleksandr.petrychenko@nure.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1319-5041>

The object of research is the degradation processes that take place in gas-pumping units (GPU) during its long-term operation and lead to the appearance of defects and, as a result, to a change in its technical state. Today, methods of parametric and vibration diagnostics are used to determine the technical condition of the GPU. To identify diagnostic signs of the technical state of the GPU, various transformations are used, in particular the wavelet transforms used in vibration processing that accompany the operation of the GPU and their technological parameters.

At the same time, in the study of the diagnostic signs of the technical state of the GPU, the acoustic processes accompanying the operation of the GPU, which can be more informative in comparison with the vibration ones, were practically not considered.

The developed experimental research methodology and their technical support made it possible to record the acoustic processes accompanying the operation of the gas compressor unit type GTK-25-i of the Nuovo Pignone company (Italy). In the course of the experimental studies, the realizations of the acoustic processes of the GPU were obtained for its three states – «nominal», «defective» and «current».

Further studies of acoustic processes for three states of the GPU type GTK-25-i and using the wavelet transform showed that by the appearance of the wavelet spectrograms it is difficult to notice the difference in the appearance or disappearance of various frequency components depending on the technical state of the GPU. To obtain quantitative indicators of this dependence, a discrete wavelet transform was carried out, which makes it possible to identify characteristic trends in the change in noise values at different scales. The values of the approximation norm and the detail norms in relation to the signal norm (in percent) were obtained for a five-level wavelet decomposition with datasets. A linear dependence of the norm of the wavelet-component of the fifth-order detailing on the operating time of GPU type GTK-25-i and (changes in the technical state), which can be taken as a diagnostic sign of its technical state, has been established.

The investigated diagnostic feature can be used as the basis for the method of diagnosing the technical state of GPU type GTK-25-i based on the characteristics of its acoustic process using the wavelet transform. An approach to identifying a diagnostic sign of the technical state of a GPU type GTK-25-i is considered based on the character-

istics of acoustic processes using a wavelet transform can be used to identify a diagnostic sign of a condition for any type of GPU.

**Keywords:** gas pumping unit, acoustic process, experimental research, wavelet transformations, diagnostic feature, technical condition.

#### References

1. Dremine, I. M., Ivanov, O. V., Nechitaio, V. A. (2001). Veivlety i ikh ispolzovanie. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 171 (5), 465–501.
2. Prygunov, A. I. (2003). *Veivlety v vibratsionnoi dinamike mashin*. Available at: <http://www.vibration.ru/wavelet.shtml>
3. Iur, T. V., Kharitonov, V. M., Dubrovin, V. I. (2013). Model otsinki tekhnichnogo stanu vuzliv GTD za parametrami vibratsii z vikoristanniam veivlet-peretvorennia. *Aviatsionno-kosmicheskaia tekhnika i tekhnologii*, 10 (107), 177–182.
4. Verma, N. K., Gupta, R., Sevakula, R. K., Salour, A. (2014). Signal transforms for feature extraction from vibration signal for air compressor monitoring. *TENCON 2014 – 2014 IEEE Region 10 Conference*. doi: <http://doi.org/10.1109/tencon.2014.7022275>
5. Yang, W. S., Su, Y. X., Chen, Y. P. (2019). Air compressor fault diagnosis based on lifting wavelet transform and probabilistic neural network. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 657, 012053. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/657/1/012053>
6. Zamikhovskiy, L. M., Ivaniuk, N. I., Pavlyk, V. V. (2017). Vykorystannia veivlet-peretvorennia dlia vyznachennia tekhnichnogo stanu hazoperekachuvalnykh ahreativ. *Suchasni prylady, materialy i tekhnologii dlia neruiniivnogo kontroliu i tekhnichnoi diahnostyky mashynobudivnoho i naftohazopromyslovoho obladnannia*. Ivano-Frankivsk, 132–133.
7. Gryzlova, T. P., Piralishvili, G. Sh., Shepel, V. T. (2006). Metodicheskoe i programmnoe obespechenie obrabotki nestatsionarnykh protsessov na osnovanii wavelet-analiza. *Vestnik doigiatelestroeniia*, 3, 138–143.
8. Nakonechnyi, A. Y., Lahun, I. I., Veres, Z. Ye., Nakonechnyi, R. A., Fedak, V. I.; Nakonechnyi, A. Y. (Ed.) (2020). *Teoriia i praktyka obrobky syhnaliv u malokhvylovii (wavelet) oblasti*. Lviv: Rastr-7, 470.
9. Zamikhovskii, L. M., Pavlyk, V. (2014). Issledovanie diagnosticheskikh priznakov tekhnicheskogo sostoianniia gazoperekachivaiuschikh agregatov GTK – 25i firmy Nuovo-Pinone. *Molodoi uchenii*, 15 (74), 75–79.
10. Pavlyk, V. V. (2012). Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii hazoperekachuvalnykh ahreativ v umovakh Bohorodchanskoho LVUMH. *Naukovi visti*, 2 (22), 44–49.
11. Swee, E. G. T., Elangovan, S. (1999). Applications of symlets for denoising and load forecasting. *Proceedings of the IEEE. Signal Processing Workshop on Higher-Order Statistics. SPW-HOS '99*. doi: <http://doi.org/10.1109/host.1999.778717>
12. Bultheel, A., Huybrechs, D. (2014). *Wavelets with applications in signal and image processing*. Available at: <https://people.cs.kuleuven.be/~daan.huybrechs/teaching/wavelets2014.pdf>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225521

#### DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A MODEL FOR OPTIMIZING THE COMPOSITION OF A PROJECT-ORIENTED FORWARDING COMPANY' SUPPLIERS

pages 36–42

**Nataliia Pavlova**, Senior Lecturer, Department of Port Operation and Cargo Works Technology, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7528-2370>, e-mail: pavlova\_1983@ukr.net

*Svitlana Onyshchenko*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of Educational and Scientific Institute of Marine Business, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7528-4939>, e-mail: [onyshchenko@gmail.com](mailto:onyshchenko@gmail.com)

The object of this research is the composition of the suppliers of a project-oriented transport and forwarding company. The work is aimed at determining the composition of the suppliers of a project-oriented transport and forwarding company, the purpose of which is to obtain a synergistic effect, which manifests itself in reducing the costs of performing individual operations of the transport process while meeting local requirements for each project.

This study proposes an optimization model that allows to determine the composition of suppliers of a project-oriented organization in order to obtain the maximum systemic effect – a synergistic effect. The proposed approach is based on the creation of a virtual project management office, the work of which is based on the corresponding information system. The proposed model is a flexible tool that allows to quickly form the composition of suppliers of a project-oriented company. The model is developed for the service sector and, in particular, for the transport industry, where suppliers are not responsible for material objects, resources, but for services, the set of which forms the essence of the project. Thus, the product of the project and its parameters in such a situation are directly formed due to the specifics of suppliers and the parameters of their services. For the transport industry, this approach has not been used before and can serve as a theoretical basis for building a project-oriented management system in the transport sector. The synergistic effect taken as a basis in this model provides the greatest difference between the «declared» delivery costs and the «actual» ones, which are formed taking into account the amount of work for all projects. Since the freight forwarding company is the «holder» of the portfolio of all deliveries/projects, a certain part of the synergy effect can be used to reduce delivery costs for customers in order to increase competitiveness and attractiveness.

Experimental studies have substantiated the reliability of the results of the developed model and confirmed its practical applicability. This model is quite universal and can be supplemented with restrictions that take into account the specifics of a project-oriented organization, its projects and requirements for suppliers.

**Keywords:** synergistic effect, portfolio of projects, distribution of scope of work, virtual project management office.

### References

- Bushuev, S. D. (2010). Mechanisms of value formation in the activities of project-oriented enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/2, 4–9.
- Pavlova, N., Onyshchenko, S. (2020). Organization of transport company's project-oriented management (on the example of the freight forwarding company). *Management of Development of Complex Systems*, 42, 23–28. doi: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.23-28>
- Owens, J. (2010). *Project Management for Complex Transportation Projects*. doi: <http://doi.org/10.31274/etd-180810-1807>
- Guidance for Transportation Project Management* (2009). National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington: The National Academies Press. doi: <http://doi.org/10.17226/23028>
- Binová, H. (2013). Methodology of transportation project management. *Journal of System of Integration*, 1, 30–37.
- Onyshchenko, S. P., Koskina, Y. O. (2019). Essence, Specifics and Forming of Cargo Delivery Systems. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 144 (3), 86–95. doi: <http://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-144-3-86-95>
- Goodman, E. (2003). *Practicalities of supplier management on global projects: avoiding the pitfalls*. Paper presented at PMI® Global Congress 2003 – EMEA, The Hague, South Holland, The Netherlands. Newtown Square: Project Management Institute. Available at: <https://www.pmi.org/learning/library/supplier-management-global-projects-pitfalls-7775>
- Bissonette, M. M. (2016). *Project Risk Management: A Practical Implementation Approach*. Project Management Institute, 279.
- Buzzetto, R. R., Bauli, M. R., Carvalho, M. M. (2020). The key aspects of procurement in project management: investigating the effects of selection criteria, supplier integration and dynamics of acquisitions. *Production*, 30, e20190112. doi: <http://doi.org/10.1590/0103-6513.20190112>
- Taggart, A. (2015) *Project Management for Supplier Organizations*. Harmonising the Project Owner to Supplier Relationship, 302. doi: <http://doi.org/10.4324/9781315602394>
- Suraraksa, J., Shin, K. (2019). Comparative Analysis of Factors for Supplier Selection and Monitoring: The Case of the Automotive Industry in Thailand. *Sustainability*, 11 (4), 981. doi: <http://doi.org/10.3390/su11040981>
- Liao, C.-N. (2010). Supplier selection project using an integrated Delphi, AHP and Taguchi loss function. *ProbStat Forum*, 3, 118–134. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/229052488\\_Supplier\\_selection\\_project\\_using\\_an\\_integrated\\_Delphi\\_AHP\\_and\\_Taguchi\\_loss\\_function](https://www.researchgate.net/publication/229052488_Supplier_selection_project_using_an_integrated_Delphi_AHP_and_Taguchi_loss_function)
- Alves, T. da C. L., Ravaghi, K., Needy, K. L. (2016). Supplier Selection in EPC Projects: An Overview of the Process and Its Main Activities. *Construction Research Congress 2016*, 209–218. doi: <http://doi.org/10.1061/9780784479827.022>
- Apa, R., Sedita, S. R. (2017). How (do) internal capabilities and the geography of business networks shape the performance of contractors in public procurement tenders? Evidence from the construction industry. *Construction Management and Economics*, 35 (7), 404–419. doi: <http://doi.org/10.1080/01446193.2017.1287926>
- Cheng, L. (Victor), Carrillo, E. E. (2012). Assessing supplier performances under partnership in project-type procurement. *Industrial Management & Data Systems*, 112 (2), 290–312. doi: <http://doi.org/10.1108/02635571211204308>
- Jelodar, M. B., Yiu, T. W., Wilkinson, S. (2016). A conceptualisation of relationship quality in construction procurement. *International Journal of Project Management*, 34 (6), 997–1011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.03.005>
- Eriksson, P. E., Westerberg, M. (2011). Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 29 (2), 197–208. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.01.003>
- Onyshchenko, S. P., Arabadzhy, E. S. (2012). Formation of the optimal enterprise development program. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (54)), 60–66. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2251>
- Pavlova, N., Onyshchenko, S. (2020). The concept of modeling the optimal parameters of the projects of the portfolio of the project-oriented organization. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Mathematical Modeling in Engineering and Technologies*, 1 (1355), 75–79. doi: <http://doi.org/10.20998/2222-0631.2020.1.11>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225288

**MODELLING THE PROJECT TRANSPORT SUPPORT OPTIMAL OPTION**

pages 43–48

*Svitlana Rusanova*, Assistant, Department of Port Operating and Handling Technologies, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3624-6582>, e-mail: [rusanova20140909@gmail.com](mailto:rusanova20140909@gmail.com)

*Svitlana Onyshchenko*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of Educational and Scientific Institute of Marine Business, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7528-4939>, e-mail: [onyshenko@gmail.com](mailto:onyshenko@gmail.com)

*Varvara Piterska*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Port Operating and Handling Technologies, Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5849-9033>, e-mail: [varuwa@ukr.net](mailto:varuwa@ukr.net)

The object of research is the processes of planning transport provision of projects. The vast majority of projects involve the creation of tangible objects as a product. The implementation of such projects is associated with the use of various types of materials and equipment, which necessitates transport services for the functioning of the project logistics system. Vehicles with different characteristics can be used to solve the same transportation problems. Also, for large-scale infrastructure projects, rental of vehicles is often used for the duration of the project. This allows, on the one hand, to save on transportation costs, on the other hand, to gain complete control over the transportation processes in the project.

As a research result, an optimization model has been developed for determining the option of transport support for the project. The variant of transport support of the project is understood as a set of combinations of types and types of vehicles, their characteristics and conditions of use in the project for the work of the project that provide for transport services. Acquisition, lease or transport services from the project suppliers are considered as conditions for the use of vehicles in the project.

The optimization criterion is the cost of transport support, taking into account their possible increase, as well as the potential risks of losses associated with the failure to complete the work. Constraints take into account costs, time to receive a project product, and availability of transportation options.

Experimental calculations, a fragment of which is presented in the research, demonstrated the efficiency of the developed model, its adequacy and reliability of the results obtained with its help.

The area of practical use of the model is making decisions about transportation at the stage of project planning. The model allows for «what-if» experiments, which reflect various scenarios that are possible in the transportation of the project. And this, in turn, allows at the stage of project planning to assess the possible risks associated with trans-

portation, and to establish their impact on the project as a whole.

**Keywords:** infrastructure projects, project risks, project network schedule, vehicles, project product, project life cycle.

**References**

- Andrievska, V., Bondar, A., Onyshchenko, S. (2019). Identification of creation and development projects of logistic systems. *Development of management and entrepreneurship methods on transport*, 69 (4), 26–37. doi: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2019-4-26-37>
- Halvorsen-Weare, E. E., Fagerholt, K. (2011). Robust Supply Vessel Planning. *Network Optimization*, 559–573. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-21527-8\\_62](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21527-8_62)
- Halvorsen-Weare, E. E., Fagerholt, K. (2010). Routing and scheduling in a liquefied natural gas shipping problem with inventory and berth constraints. *Annals of Operations Research*, 203 (1), 167–186. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0794-y>
- Welte, T. M., Sperstad, I. B., Halvorsen-Weare, E. E., Netland, Ø., Nonås, L. M., Stålhane, M. (2018). Operation and Maintenance Modelling. *Offshore Wind Energy Technology*, 269–303. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119097808.ch7>
- Onishchenko, S. P., Siraev, A. R., Samoylovskaya, V. P. (2012). Estimation of efficiency of transportation organization of distribution systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (60)), 37–43. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/5509/4951>
- Guidance for Transportation Project Management* (2009). Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/23028>
- Nováková, H. (2013). Methodology of transportation project management. *Journal of Systems Integration*, 3, 30–37. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/309742397\\_Methodology\\_of\\_transportation\\_project\\_management](https://www.researchgate.net/publication/309742397_Methodology_of_transportation_project_management)
- Owens, J. (2010). *Project Management for Complex Transportation Projects*. Graduate Theses and Dissertations, 11627. doi: <https://doi.org/10.31274/etd-180810-1807>
- Vereshchaka, N. (2020). Optimization of infrastructure project product parameters. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 4 (14), 31–39. doi: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.031>
- Kravchenko, A. A. (2019). Justification of the optimal structure of vessels supplying marine drilling platforms and the organization of their work. *Visnyk Skhidnoukrajinskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 3 (251), 94–100.
- Bushuev, S. D., Bushueva, N. S. (2010). Mechanisms of forming of value in activity of the design-managed organizations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (43)), 4–9. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2494/2308>
- Rusanova, S. (2020). Modeling the impact of the transport provision option on project risks. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4 (14), 78–85. doi: <https://doi.org/10.30837/itssi.2020.14.078>
- Gamez, E. A., Touran, A. (2009). A Method of Risk ranking for International Transportation Projects. *Proceedings of 7th International Probabilistic Workshop*. Delft, 187–203.
- Rodrigues-da-Silva, L. H., Crispim, J. A. (2014). The project risk management process, a preliminary study. *Procedia Technology*, 16, 943–949. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.047>



15. Baharmand, H., Zad, M., Hashemi, S. H. (2013). Prioritization of Effective Risk Factors on Oil Industry Construction Projects (by PMBOK Standard Approach). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6 (3), 521–528. doi: <https://dx.doi.org/10.19026/rjaset.6.4113>
16. Bugarová, K., Šimičková, J. (2019). Risk management in traditional and agile project management. *Transportation Research Procedia*, 40, 986–993. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.138>
17. Sözüera, M., Spanga, K. (2014). The Importance of Project Management in the Planning Process of Transport Infrastructure Projects in Germany. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 119, 601–610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.067>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225532

### DEVELOPMENT OF METHODS FOR PARAMETERS OF LONG-TERM CONTRACTS OPTIMIZATION FOR OPERATIONAL ROAD MAINTENANCE

pages 49–53

*Anna Kharchenko*, PhD, Associate Professor, Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8166-6389>, e-mail: [anna-x3@ukr.net](mailto:anna-x3@ukr.net)

*Oleh Zaviyskiy*, PhD, Egis Ukraina LLC, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3883-0259>, e-mail: [olegzav73@ukr.net](mailto:olegzav73@ukr.net)

*Vitalii Tsybulskiy*, Senior Lecturer, Department of Materials Resistance and Mechanical Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>, e-mail: [mega.sopromat@ukr.net](mailto:mega.sopromat@ukr.net)

*Serhii Zavorotnyi*, Postgraduate Student, Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2139-8877>, e-mail: [seregazavorotnyi@gmail.com](mailto:seregazavorotnyi@gmail.com)

The object of research is the processes of cost, duration and quality management in long-term contracts for the maintenance of roads. The presented work is based on the use of project management theory. The main hypothesis of the study is the application of methods for optimizing the parameters of long-term contracts for the maintenance of roads. Features, advantages and problematic issues concerning the use of long-term contracts based on quality indicators in the road sector are considered. The world and domestic experience of introduction of long-term maintenance of highways is analyzed. The main approaches to optimization of parameters are defined and the mathematical model of management of processes of cost, duration and quality in long-term contracts is developed. Based on the model, two methods of mathematical solution of the optimization problem of the proposed parameters have been developed. A mathematical experiment based on the example of the project of long-term maintenance of roads on the final quality indicators, the results of which showed that the adaptive capacity of projects by the second method is less flexible than the first. But the second

method achieved better performance to minimize time parameters with averaging at 5 %. Optimization of parameters of long-term contracts for maintenance of roads has a multiplier effect, which is expressed in reducing administrative costs of the customer, reducing the responsibility of road services, creating conditions for stable financing of road works, satisfaction of road users, building strong partnerships between the customer and the contract. The results of calculations have practical value and can serve as a tool for making sound management decisions to determine the basic parameters of long-term contracts for the maintenance of roads based on quality.

**Keywords:** optimization methods, long-term contract parameters, maintenance, financing for road works.

### References

1. Hancher, D. E. (1999). Contracting Methods for Highway Construction. *Transportation Research Board. TR News*, 205, 10–14.
2. Mulmi, A. D. (2016). Assessment of Performance Based Road Maintenance Practices in Nepal. *Open Journal of Civil Engineering*, 6 (2), 225–241. doi: <http://doi.org/10.4236/ojce.2016.62021>
3. Radović, N., Mirković, K., Šešlija, M., Peško, I. (2014). Output and Performance Based Road Maintenance Contracting – Case Study Serbia. *Tehnički vjesnik*, 21 (3), 681–688.
4. Singh, P., Oh, J. E., Labi, S., Sinha, K. C. (2007). Cost-Effectiveness Evaluation of Warranty Pavement Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133 (3), 217–224. doi: [http://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2007\)133:3\(217\)](http://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:3(217))
5. Zietlow, G. (2007). *Cutting Costs and Improving Quality through Performance-Based Road Management and Maintenance Contracts – The Latin American and OECD Experiences*. Birmingham (UK): University of Birmingham (UK) Senior Road Executives Programme Restructuring Road Management Birmingham.
6. Kanin, O. P., Sokolova, N. M., Kharchenko, A. M., Shpyh, A. Yu., Makovska, Yu. A., Shkarivska, N. Yu. (2014). *MR V.3.2-02070915-844:2014 «Metodychni rekomendatsii z upravlinnia stanom avtomobilnykh dorih na osnovi dovhostrokovykh kontraktiv z potochnoho drubnoho remontu ta utrymannia dorih za pokaznykom rivnia yikh obsluhovuvannia»*. Kyiv: Ukravtodor, 51.
7. Kanin, O. P. (2015). Informatsiino-analitychna systema upravlinnia dovhostrokovykh kontraktamy na osnovi rivniv obsluhovuvannia dorih. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 94, 112–123. Available at: [http://publications.ntu.edu.ua/avtdorogi\\_i\\_stroitelstvo/94/112-123.pdf](http://publications.ntu.edu.ua/avtdorogi_i_stroitelstvo/94/112-123.pdf)
8. Kharchenko, A. M., Kanin, O. P., Sokolova, N. M. (2013). Evoliutsiia rozvytku ta perevahy zastosuvannia dovhostrokovykh kontraktiv, zasnovanykh na kintsevykh pokaznykakh, u dorozhnii haluzi. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 28, 496–504.
9. *Vprovadzhennia kontraktiv na osnovi kintsevykh rezultativ v Ukraini. Dosvid ta perspektyvy rozvytku* (2019). Available at: <https://nadu.com.ua/vprovadzhennia-kontraktiv-na-osnovi-kinczevih-rezultativ-v-ukra%D1%97ni-dosvid-ta-perspektivi-rozvitku/>
10. *Yevropeyskiy bank rekonstruktsii ta rozvytku (YeBRR)* (2016). Available at: [https://ukravtodor.gov.ua/4489/mizhnarodne\\_spivrobotnytstvo\\_ta\\_investytsii/yebr/yeuropeyskiy\\_bank\\_rekonstruktsii\\_ta\\_rozvytku\\_yebr.html](https://ukravtodor.gov.ua/4489/mizhnarodne_spivrobotnytstvo_ta_investytsii/yebr/yeuropeyskiy_bank_rekonstruktsii_ta_rozvytku_yebr.html)
11. *Spilni z mizhnarodnyimi finansovymi orhanizatsiiami proekty v dorozhnii haluzi*. Available at: <https://mtu.gov.ua/files/Спільні%20з%20міжнародними%20фінансовими%20організаціями%20проекти%20в%20дорозній%20галузі.pdf>

12. Anderson, A., Russell, J. (2001). *Guidelines for warranty, multi-parameter and best value contracting*. NCHRP Report No. 451, National Cooperative Highway Research Program. Washington.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225271

### CYBERSECURITY REGULATION: CYBERSECURITY CERTIFICATION OF OPERATIONAL TECHNOLOGIES

pages 54–60

*Olena Tsvilii*, Senior Lecturer, Department of Telecommunications, O. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications, Odessa, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4414-9881>, e-mail: [o.tsvilii@ukr.net](mailto:o.tsvilii@ukr.net)

The object of research is the system and schemes of conformity assessment (certification) of cybersecurity of operational technologies (OT), as a set of rules and procedures that describe the objects of certification, determine the specified requirements and provide a methodology for certification. The terminological base and conceptual apparatus of the study of cybersecurity certification of operational technologies are based on the international standard ISO 17000:2020 Conformity assessment – Vocabulary and general principles. Cybersecurity certification systems and schemes are based on assessment standards, the choice and application of which is not unambiguous and historically has many interpretations and application mechanisms. These standards consist of tools, policies, security concepts, security assurances, guidelines, risk management approaches, best practices, safeguards, and technologies. But they have, to one degree or another, a significant drawback – the complexity of transforming the results of information security assessment according to these standards into security guarantees with any wide international recognition. In the context of globalization, this significantly degrades the cybersecurity quality.

The main hypothesis of research is that the cybersecurity quality can be improved by converging towards a common methodology that is based on agreed international standards and international best practice for certification. The question of the key role of cybersecurity for operational technologies, which become the basis for Economy 4.0 and are now considered as a new frontier of cybersecurity, is considered. The need to create a system and schemes for certification of OT cybersecurity based on international and European certification principles is shown. A hierarchical model of cybersecurity certification system assessment standards and a hierarchical model of agreements on mutual recognition of cybersecurity certificates have been developed, which will allow a systematic approach to the creation of a system and schemes for OT cybersecurity certification. This provides an opportunity for developers of systems and certification schemes to form OT cybersecurity certification systems based on the principles of wide cross-border recognition of OT cybersecurity certificates.

**Keywords:** cybersecurity system, conformity assessment system, hierarchical model, cybersecurity certification scheme.

#### References

1. Directive (EU) 2016/1148 of the European Parliament and of the Council of 6.07.2016 concerning measures for a high common level of security of network and information systems across the Union (2016). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2016/1148/oj>
2. The IACS Cybersecurity Certification Framework (ICCF) (2018). Available at: <https://erncip-project.jrc.ec.europa.eu/documents/iacs-cybersecurity-certification-framework-iccf>
3. Regulation (EU) 2019/881 of the European Parliament and of the Council of 17.04.2019 on ENISA (the European Union Agency for Cybersecurity) and on information and communications technology cybersecurity certification and repealing Regulation (EU) No 526/2013 (Cybersecurity Act) (2019). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/881/oj>
4. 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. doi: <http://doi.org/10.1016/j.csi.2018.08.003>
5. Markopoulou, D., Papakonstantinou, V., de Hert, P. (2019). The new EU cybersecurity framework: The NIS Directive, ENISA's role and the General Data Protection Regulation. *Computer Law & Security Review*, 35 (6), 105336. doi: <http://doi.org/10.1016/j.clsr.2019.06.007>
6. *Pro osnovni zasady zabezpechennia kiberbezpeky Ukrainy* (2017). Zakon Ukrainy No. 2163-VIII. 05.10.2017. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#Text>
7. *Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 27 sichnia 2016 roku «Pro Stratehiiu kiberbezpeky Ukrainy»* (2016). Ukaz Prezydenta Ukrainy; Stratehiiia No. 96/2016. 15.03.2016. Available at: <https://www.president.gov.ua/documents/2422016-20141>
8. *ISO/IEC 17000:2020 Conformity assessment – Vocabulary and general principles* (2020). Committee on conformity assessment, 23. Available at: <https://www.iso.org/standard/73029.html>
9. *Pro tekhnichni rehlementy ta otsinku vidpovidnosti* (2015). Zakon Ukrainy No. 124-VIII. 15.01.2015. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3164-15#Text>
10. *International Accreditation Forum*. Available at: <https://www.iaf.nu/>
11. *International Laboratory Accreditation Cooperation*. Available at: <https://ilac.org/>
12. *Pro akredytatsiiu orhaniv z otsinky vidpovidnosti* (2001). Zakon Ukrainy No. 2407-III. 17.05.2001. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2407-14#Text>
13. *ISO/IEC 17067:2013 Conformity assessment – Fundamentals of product certification and guidelines for product certification schemes* (2013). Committee on conformity assessment, 13. Available at: <https://www.iso.org/standard/55087.html>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225017

### JUSTIFICATION OF THE METHODOLOGICAL BASES FOR THE MANAGEMENT OF THE RADIO RESOURCE OF SPECIAL PURPOSE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF PRIOR UNCERTAINTY

pages 61–65

*Andrii Shyshatskyi*, PhD, Senior Researcher, Central Scientific Research Institute of the Army of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6731-6390>, e-mail: [ierikon12@gmail.com](mailto:ierikon12@gmail.com)

*Artur Melnyk*, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine

named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9215-889X>, e-mail: [Shooter3101@gmail.com](mailto:Shooter3101@gmail.com)

**Oleksii Bondar**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5658-1495>, e-mail: [phoenix791981@ukr.net](mailto:phoenix791981@ukr.net)

**Oleksandr Petruk**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5351-5679>, e-mail: [alex240970@meta.ua](mailto:alex240970@meta.ua)

**Dmytro Chernyakhovskiy**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5127-1965>, e-mail: [victor1735@ukr.net](mailto:victor1735@ukr.net)

**Mykola Kryvenko**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3841-3164>, e-mail: [nvladkryvenko@gmail.com](mailto:nvladkryvenko@gmail.com)

**Oleksandr Petrov**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4369-7170>, e-mail: [avpetrov1975@gmail.com](mailto:avpetrov1975@gmail.com)

**Serhii Kravchuk**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6042-154X>, e-mail: [sergeykravchuk@ukr.net](mailto:sergeykravchuk@ukr.net)

**Yuriy Shidlovsky**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1746-1703>, e-mail: [yurishidlovski@ukr.net](mailto:yurishidlovski@ukr.net)

**Volodymyr Lukianets**, Institute for Support of Troops (Forces) and Information Technologies, The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3619-3871>, e-mail: [lw14021980@ukr.net](mailto:lw14021980@ukr.net)

The problem of substantiation of methodological bases of radio resource management of military radio communication systems in the conditions of a priori uncertainty is solved in the work. The object of research is the military radio communication system. One of the most problematic places in the management of military radio resources is the

inability to carry out a hierarchical management of the parameters and modes of operation of both individual radios and the military radio system as a whole. This reduces the efficiency of the system itself and the efficiency of its application.

The scientific problem is solved by substantiating the methodological principles of radio resource management of military radio communication systems in conditions of a priori uncertainty. During the research, the authors used the main provisions of the theory of queuing, the theory of automation, the theory of complex technical systems, as well as general scientific methods of cognition, namely analysis and synthesis. The novelty is that in the course of work:

- the purpose of functioning of an operative management subsystem of a radio resource of military radio communication systems is formulated;
- indicators and criteria of functioning efficiency of military radio communication systems are determined;
- decomposition of the solution of this problem into problems depending on the signal and noise situation is carried out.

An approach based on the hierarchical decomposition of the functional structure of networks, the behavior of which is described by stochastic differential (or difference) equations of the high dimension state, into a number of interconnected but simpler functional structures is used for the functional description of military radio communication systems. It will allow to make a decomposition of the state of the military radio system and increase the efficiency of decision-making on adjusting the modes of operation and parameters of the military radio system in real time. The research results should be used at the stage of operational management of parameters and modes of these systems operation.

**Keywords:** military radio communication system, hierarchical decomposition of functional structure of networks, electronic suppression, destabilizing factors.

#### References

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskiy, A. V. (2015). Development of integrated communication systems and data transfer for the needs of the Armed Forces. *Weapons and military equipment*, 5 (1), 35–40.
2. Romanenko, I. O., Shyshatskiy, A. V., Zhyvotovskiy, R. M., Petruk, S. M. (2017). The concept of the organization of interaction of elements of military radio communication systems. *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, 1, 97–100. doi: <http://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.20>
3. Shevchenko, D. H. (2020). The set of indicators of the cyber security system in information and telecommunication networks of the Armed Forces of Ukraine. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 2 (38), 57–62. doi: <http://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-57-62>
4. Sokolov, K. O., Hudyma, O. P., Tkachenko, V. A., Shyiatyi, O. B. (2015). Osnovni napriamy stvorennia IT-infrastruktury Ministerstva obrony Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu obrony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho*, 3 (6), 26–30.

5. Kuvshynov, O. V. (2009). Adaptivne upravlinnia zasobamy zavdozhystu viiskovykh system radiozviazku. *Zbirnyk naukovykh prats VIKNU*, 17, 125–130.
6. Shaheen, E. M., Samir, M. (2013). Jamming Impact on the Performance of MIMO Space Time Block Coding Systems over Multi-path Fading Channel. *REV Journal on Electronics and Communications*, 3 (1-2), 68–72. doi: <http://doi.org/10.21553/rev-jec.56>
7. Abdukhalil, T., Yadgarova, N. (2018). Study of the Application of Noise Immunity in Radio Communication Systems for Special Courses. *Bioprocess Engineering*, 2 (2), 20–23. doi: <http://doi.org/10.11648/j.be.20180202.11>
8. Makarenko, S. I. (2017). Prospects and Problems of Development of Communication Networks of Special Purpose. *Systems of Control, Communication and Security*, 2, 18–68. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf>
9. Khan, M. N., Jamil, M. (2016). Adaptive hybrid free space optical/radio frequency communication system. *Telecommunication Systems*, 65 (1), 117–126. doi: <http://doi.org/10.1007/s11235-016-0217-8>
10. Adrat, M., Ascheid, G. (2015). Special Issue on Recent Innovations in Wireless Software-Defined Radio Systems. *Journal of Signal Processing Systems*, 78 (3), 239–241. doi: <http://doi.org/10.1007/s11265-014-0968-y>



## INFORMATION TECHNOLOGIES

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225257

**КОНВЕЕРИЗОВАНА РЕАЛІЗАЦІЯ ASWM ФІЛЬТРА ЗОБРАЖЕНЬ НА ПЛІС** сторінки 6–11**Васильченко О. Г., Ліберг І. Г., Можасв М. О., Сальніков Д. В.**

Об'єктом дослідження є алгоритм адаптивного зваженого медіанного фільтра зображень, що переключється (ASWM). Даний алгоритм є одним з найбільш ефективних в області придушення імпульсних шумів. Обчислювальна складність і алгоритмічні особливості цього адаптивного нелінійного фільтра не дозволяють реалізувати фільтр, який працює в режимі реального часу на сучасних мікросхемах ПЛІС.

Найбільш проблемними місцями алгоритму є цикл оцінки вагових коефіцієнтів, який не має обмеження кількості ітерацій та містить велику кількість операцій поділу. Це не дозволяє реалізувати фільтр на ПЛІС досить ефективним методом.

В ході дослідження використовувалася програмна модель фільтра на мові Python. Оцінка якості роботи алгоритму проводилася за допомогою метрик Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) і Structural Similarity Index Measure (SSIM).

Моделювання дозволило з'ясувати емпірично кількість ітерацій циклу оцінки вагових коефіцієнтів при різних рівнях щільності шуму та оцінити вплив штучного обмеження максимальної кількості ітерацій на якість роботи фільтра. В незалежності від інтенсивності зашумлюючого впливу алгоритм виконує менше 40 ітерацій циклу оцінки. Також було проведено моделювання роботи алгоритму з різними варіантами реалізації модуля поділу. В роботі розглянуті основні з них і запропоновано найбільш оптимальний з точки зору співвідношення точність/апаратні витрати на реалізацію. Таким чином був запропонований модифікований алгоритм, який не має зазначених недоліків.

Завдяки модифікаціям алгоритму забезпечена можливість реалізувати конвееризований ASWM фільтр зображень на сучасних ПЛІС. Фільтр синтезований для основних сімейств ПЛІС компанії Intel. Реалізація, яка не поступається за метриками SSIM і PSNR оригінальному алгоритму, вимагає менше 65000 логічних елементів ПЛІС і дозволяє здійснювати фільтрацію монохромних зображень розміру FullHD зі швидкістю 48 кадрів/с при тактовій частоті 100 МГц.

**Ключові слова:** адаптивний фільтр, нелінійний фільтр, медіанний фільтр, імпульсний шум, Peak Signal-to-Noise Ratio, Structural Similarity Index Measure.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225285

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДТОКУ КЛІЄНТІВ** сторінки 12–14**Папа А. А., Шемет Є. О., Яровий А. А.**

Об'єктом дослідження є процес прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній на основі нечіткої логіки та нейронних мереж. Проведені дослідження базуються на застосуванні підходу, який реалізується за допомогою комбінованого використання нечіткої логіки та нейронних мереж. Головне припущення дослідження полягає в гіпотезі, що використання нечіткої нейронної мережі, утвореної на основі алгоритмів нечіткої логіки, дозволяє покращити точність прогнозування відтоку клієнтів відносно наявних рішень. Даного результату неможливо досягти зневажаючи існуючими ресурсними обмеженнями та вимогами, які потрібно визначати окремо для кожного випадку дослідження. Розглянуто актуальність проблематики прогнозування відтоку клієнтів для компаній із великою кількістю користувачів. Запропоновано модель прогнозування відтоку клієнтів на основі комбінованого застосування нечіткої логіки та нейронних мереж. Головна особливість даного підходу полягає в тому, що в основі нечітких нейронних мереж використовується тестова вибірка нормалізованих даних, які оброблюються для формування параметрів функцій належності, які найкраще відповідають системі логічного висновку, тобто висновки здійснюються на базі апарату нечіткої логіки. Також, для пошуку параметрів функції належності використовуються алгоритми нейронних мереж. Такі системи можуть використовувати заздалегідь відому інформацію, навчатися, здобувати нові знання, прогнозувати часові ряди, виконувати класифікацію образів, і крім цього вони є цілком наочними для користувача. Розглянуто застосування методів нечіткої логіки, що дають можливість отримання результату у вигляді нечіткого висновку. Доцільність вибору даних методів пояснюється тим, що вони раніше використовувалися в нечітких системах автоматичного управління та показували досить якісні результати. Показано доцільність та перспективність застосування запропонованого підходу в задачі прогнозування відтоку клієнтів телекомунікаційних компаній, а також наведено результати програмної реалізації.

**Ключові слова:** прогнозування відтоку клієнтів, нечітка логіка, функція належності, нечітка нейронна мережа, алгоритм Мамдані, алгоритм Сугено.

## SYSTEMS AND CONTROL PROCESSES

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225282

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ НАВИГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ АЛГОРИТМІВ** сторінки 15–19**Беляков Р. О.**

Об'єктом дослідження є процес керування траєкторією безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в автономному режимі польоту на основі нейромережєвих алгоритмів. Проведене дослідження базується на застосуванні чисельно-аналітичного підходу вибору

сучасних технічних рішень побудови типових моделей безплатформних інерціальних навігаційних систем (БІНС) для мікро- та малих БПЛА з подальшим підкріпленням припущень. Результати імітаційного моделювання в середовищі Matlab дозволило зімітувати процес роботи системи управління БПЛА на базі МЕМС-технології (використання мікроелектромеханічних систем) та мікрокомп'ютерів Arduino. Також вдалось експериментально визначити характер впливу структури вибраної нейронної мережі на процес формування навігаційних даних під час зникнення GPS сигналу. Таким чином, для оцінки ефективності запропонованих рішень із побудови БІНС було проведено порівняльний аналіз застосування двох алгоритмів ELM (Extreme Learning Machine) – Kalman та WANN (Wavelet Artificial Neural Network) – RNN (Recurrent Neural Network) – Madgwick у вигляді двох експериментів. Метою експериментів було визначено: дослідження впливу кількості нейронів прихованого рівня нейронної мережі на точність апроксимації навігаційних даних; визначення швидкості процесу адаптивного навчання нейромережових алгоритмів БІНС БПЛА. Результат експериментів показав, що застосування алгоритму на основі ELM – Kalman забезпечує кращу точність навчання нейромережі БІНС в порівнянні з алгоритмом WANN – RNN – Madgwick. Однак необхідно зазначити, що точність навчання покращувалась із зростанням кількості нейронів в структурі прихованого рівня <math><500</math>, що підвищує обчислювальну складність та збільшує час процесу навчання. Це може ускладнити практичну реалізацію із використанням обладнання мікро- та малих БПЛА. Крім того, завдяки проведеному імітаційному моделюванню, результат дослідження застосування запропонованих нейромережових алгоритмів для заміни вхідних даних замість сигналів GPS на вхід БІНС, дозволив оцінити похибку позиціювання під час зникнення сигналів GPS. Також застосування алгоритму WANN – RNN – Madgwick дозволяє апроксимувати та екстраполювати вхідні сигнали навігаційних параметрів в динамічному середовищі, при цьому відбувається процес адаптивного навчання в реальному часі.

**Ключові слова:** нейронна мережа, траєкторія польоту, точність навчання нейронної мережі, імітаційне моделювання, навігаційні дані.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225523

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТІВ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЄКТІВ В СКЛАДІ ПРОГРАМИ** сторінки 20–24

**Верещака М. А.**

Об'єктом дослідження є інфраструктурні проєкти в складі програми. Продуктами інфраструктурних проєктів є різноманітні інфраструктурні об'єкти, які в комплексі забезпечують певну цінність для стейкхолдерів, наприклад, певну пропускну здатність транспортної мережі або пропускну здатність порту, каналу та ін. Ідентифікація параметрів продуктів проєктів здійснюється на етапі розробки програми. Для більшості проєктів зазначені параметри допускають варіативність в певних межах. Взаємозв'язок інфраструктурних проєктів визначається не тільки загальним фінансуванням і управлінням, а, перш за все, узгодженістю властивостей товарів. Тому оптимізація параметрів продуктів таких проєктів здійснюється інтегрально, в рамках єдиної моделі. Узгодження параметрів продуктів інфраструктурних проєктів в складі програми вимагає формалізованих методів, що дозволяють оптимізувати їх з урахуванням як локальних обмежень для кожного проєкту, так і глобальних умов реалізації програми. В результаті дослідження сформована концепція та розроблена відповідна модель, що дозволяє встановлювати оптимальні параметри продуктів інфраструктурних проєктів в складі програми. В основі моделювання – можливість варіювання параметрами продуктів проєктів і їх взаємозв'язок з характеристиками проєктів і програми в цілому, такими як цінність, витрати, величина ризиків. Так як програма та проєкти, що входять в неї, можуть носити некомерційний характер, тому основним критерієм оптимальності для параметрів продуктів проєктів і програми є універсальна категорія – цінність, причому розглянута для усіх стейкхолдерів. Використання даної моделі в процесі розробки програми та інфраструктурних проєктів, що входять до неї, забезпечує оптимізацію необхідного результату при виконанні певних вимог і обмежуючих умов. Модель відноситься до класу нелінійних моделей та розроблена для ситуації, коли може бути виділений так званий «основний» проєкт (чи їх сукупність), який (які) формує(ють) вимоги до продуктів інших взаємопов'язаних з ним проєктів, що є типовим для інфраструктурних програм.

**Ключові слова:** стейкхолдери інфраструктурних проєктів, цінність проєкту, оптимізація складу програми, інфраструктурний об'єкт, ризики проєкту.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225067

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ WEB-БАЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ** сторінки 25–31

**Левихін В. М., Євляков М. В., Неумовакіна О. Є., Петриченко О. В.**

Об'єктом дослідження є процеси експлуатації web-базованої інформаційної системи. Проведені дослідження базуються на використанні існуючих підходів до організації управління експлуатацією ІТ-продуктів, а також на розробленій раніше формальній моделі задачі управління експлуатацією інформаційної системи. Як основний критерій управління експлуатацією інформаційної системи прийнято існуючу оцінку ступеня задоволення вимог до системи. Основна гіпотеза дослідження полягає в припущенні, що головним критерієм управління експлуатацією web-базованої інформаційної системи слід вважати показник ефективності як співвідношення ступеня задоволення запитів на зміну окремих компонентів інформаційної системи та сумарних витрат на експлуатацію системи. Проведено аналіз застосовності критерія «Задоволеність вимог користувачів інформаційної системи» та показано його неповну об'єктивність для опису цілей управління експлуатацією інформаційної системи. Обґрунтовано використання показника ефективності управління, розглянуто особливості використання даного показника для вирішення задачі управління експлуатацією інформаційної системи. Визнано існування двох підходів до визначення ефективності експлуатації інформаційної системи. На основі отриманих результатів запропоновано концепцію управління процесами експлуатації web-базованої інформаційної системи. Дана концепція представляє головну задачу управління експлуатацією web-базованої інформаційної системи як окремий випадок задачі багатокритеріальної оптимізації, рішенням якою стане Парето-оптимальна система. На базі запропонованої концепції розроблено математичну модель задачі ефективного управління web-базованою інформаційною системою. Для опису функції цілі під час розробки моделі запропоновано перейти від описів вимог до знання-орієнтованих моделей запитів на зміну інформаційної системи. Також запропоновано розділити набір обмежень моделі на два окремих комплекси – комплекс обмежень технічного управління та комплекс

обмежень процесів експлуатації. Використання розробленої моделі дозволить створити нові інформаційні технології управління експлуатацією web-базованими інформаційними системами управління підприємствами. На відміну від існуючих, такі технології дозволять формалізувати та автоматизувати роботи з формування та затвердження найбільш вигідних для учасників експлуатації інформаційної системи планів проектів виконання запитів на зміну експлуатованої системи.

**Ключові слова:** web-базована інформаційна система, управління експлуатацією системи, задача багатокритеріальної оптимізації, показник ефективності експлуатації, Парето-оптимальна система.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.224432

**ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ** сторінки 32–36

**Заміховський Л. М., Заміховська О. Л., Павлик В. В.**

Об'єктом дослідження є деградаційні процеси, які проходять в вузлах і елементах газоперекачувального агрегату (ГПА) при його тривалій експлуатації та призводять до появи дефектів і, як наслідок, до зміни його технічного стану. Сьогодні для визначення технічного стану ГПА використовують методи параметричної та вібраційної діагностики. Для виявлення діагностичних ознак технічного стану ГПА використовуються різноманітні перетворення, зокрема вейвлет-перетворення, які застосовуються при обробці вібраційних процесів, що супроводжують роботу ГПА та їх технологічних параметрів. В той же час при дослідженні діагностичних ознак технічного стану ГПА акустичні процеси, що супроводжують роботу ГПА та можуть бути більш інформативними в порівнянні з вібраційними, практично не розглядалися.

Розроблена методика експериментальних досліджень і їх технічне забезпечення, що дозволило проводити запис акустичних процесів, що супроводжують роботу ГПА типу ГТК-25і фірми «Нуово Пінйоне» (Італія). В ході проведення експериментальних досліджень були отримані реалізації акустичних процесів ГПА для трьох його станів – «номінального», «дефектного» та «поточного».

Подальші дослідження акустичних процесів для трьох станів ГПА ГТК-25і з використанням вейвлет-перетворення показали, що за зовнішнім виглядом вейвлет-спектрограм важко помітити різницю у виникненні або зникненні різних частотних складових в залежності від технічного стану ГПА. Для отримання кількісних показників такої залежності було проведено дискретне вейвлет-перетворення, яке дозволяє виділити характерні тренди в зміні значень шуму на різних масштабах. Були отримані значення норми апроксимації та норм деталізації по відношенню до норми сигналу (у відсотках) для п'ятирівневого вейвлет-розкладу за наборами даних. Встановлена лінійна залежність норми вейвлет-складової деталізації п'ятого порядку від часу напрацювання ГТК-25і (зміни технічного стану), яка може бути прийнята за діагностичну ознаку його технічного стану.

Досліджена діагностична ознака може бути покладена в основу методу діагностування технічного стану ГТК-25і за характеристиками його акустичного процесу з використанням вейвлет-перетворення. Розглянутий підхід виявлення діагностичної ознаки за характеристиками акустичних процесів з використанням вейвлет-перетворення може бути використаний для будь-якого типу ГПА.

**Ключові слова:** газоперекачувальний агрегат, акустичний процес, вейвлет-перетворення, діагностична ознака, технічний стан, експериментальні дослідження.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225521

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ КОМПАНІЇ** сторінки 36–42

**Павлова Н. Л., Ожидченко С. П.**

Об'єктом даного дослідження є склад постачальників проектно-орієнтованої транспортно-експедиторської компанії. Робота спрямована на визначення складу постачальників проектно-орієнтованої транспортно-експедиторської компанії, мета якого пов'язана з отриманням синергетичного ефекту, який проявляється в зниженні витрат на виконання окремих операцій транспортного процесу при виконанні локальних вимог по кожному проекту.

В даному дослідженні пропонується оптимізаційна модель, що дозволяє визначити склад постачальників проектно-орієнтованої організації з метою отримання максимального системного ефекту – синергетичного ефекту. В основі запропонованого підходу – створення віртуального офісу управління проектами, робота якого ґрунтується на базі відповідної інформаційної системи. Пропонована модель є гнучким інструментом, що дозволяє в оперативному режимі часу формувати склад постачальників проектно-орієнтованої компанії. Модель розроблялася для сфери послуг та, зокрема, для транспортної галузі, де постачальники відповідають не за матеріальні об'єкти, ресурси, а за послуги, набір яких формує суть робіт по проекту. Таким чином, продукт проекту та його параметри в такій ситуації безпосередньо формуються за рахунок специфіки постачальників і параметрів їх послуг. Для транспортної галузі такий підхід раніше не використовувався та може послужити теоретичною основою для побудови системи проектно-орієнтованого управління в транспортному секторі. Прийнятий за основу в даній моделі ефект синергізму забезпечує найбільшу різницю між «заявленими» вартостями доставки та «фактичними», які формуються з урахуванням обсягу роботи за всіма проектами. Так як транспортно-експедиторська компанія є «власником» портфеля всіх доставок/проектів, то певна частина ефекту синергізму може використовуватися в якості зниження витрат з доставки для клієнтів з метою підвищення конкурентоспроможності та привабливості.

Експериментальні дослідження довели достовірність результатів розробленої моделі та підтвердили її практичне застосування. Дана модель є досить універсальною та може бути доповнена обмеженнями, які враховують специфіку проектно-орієнтованої організації, її проектів і вимоги до постачальників.

**Ключові слова:** синергетичний ефект, портфель проектів, розподіл обсягів робіт, склад постачальників, віртуальний офіс управління проектами.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225288

**МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТУ** сторінки 43–48**Русанова С. С., Пітерська В. М., Онищенко С. П.**

Об'єктом дослідження є процеси планування транспортного забезпечення проєктів. Значна більшість проєктів передбачають створення матеріальних об'єктів як продукт. Реалізація таких проєктів пов'язана з використанням різного виду матеріалів і обладнання, що обумовлює необхідність транспортного обслуговування функціонування системи логістики проєкту. Для вирішення одних і тих же завдань транспортування можуть використовуватися транспортні засоби з різними характеристиками. Також для масштабних інфраструктурних проєктів досить часто використовується оренда транспортних засобів на час реалізації проєкту. Це дозволяє, з одного боку, заощадити на транспортних витратах, з іншого боку – отримати повний контроль в проєкті над процесами транспортування.

В результаті дослідження розроблена оптимізаційна модель визначення варіанту транспортного забезпечення проєкту. Під варіантом транспортного забезпечення проєкту розуміється сукупність комбінацій видів і типів транспортних засобів, їх характеристик і умов використання в проєкті для робіт проєкту, які передбачають транспортне обслуговування. В якості умов використання транспортних засобів в проєкті розглядаються придбання, оренда або транспортне обслуговування від постачальників проєкту.

Критерієм оптимізації є витрати на транспортне забезпечення з урахуванням їх можливого збільшення, а також потенційних ризиків втрат, пов'язаних зі зривом термінів виконання робіт. Обмеження враховують витрати, час отримання продукту проєкту, доступність варіантів транспортного забезпечення.

Експериментальні розрахунки, фрагмент яких представлений в дослідженні, продемонстрували працездатність розробленої моделі, її адекватність і достовірність одержуваних з її допомогою результатів.

Область практичного використання моделі – прийняття рішень про транспортне забезпечення на етапі планування проєкту. Модель дозволяє проводити експерименти «що-якщо», які відображають різні сценарії, можливі при транспортному обслуговуванні проєкту. А це, в свою чергу, дозволяє на етапі планування проєкту оцінити можливі ризики, які пов'язані з транспортним забезпеченням, і встановити їх вплив на проєкт в цілому.

**Ключові слова:** інфраструктурні проєкти, ризики проєкту, сітковий графік проєкту, транспортні засоби, продукт проєкту, життєвий цикл проєкту.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225532

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ** сторінки 49–53**Харченко А. Н., Завийский О. И., Цибульський В. М., Заворотний С. Н.**

Об'єктом дослідження є процеси управління вартістю, тривалістю та якістю в довгострокових контрактах з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Представлена робота ґрунтується на використанні теорії управління проєктами. Головною гіпотезою дослідження є застосування методів оптимізації параметрів довгострокових контрактів з експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Розглянуті особливості, переваги та проблемні питання щодо використання довгострокових контрактів, заснованих на показниках якості, у дорожньому господарстві. Проаналізовано світовий досвід впровадження довгострокового утримання автомобільних доріг. Визначено основні підходи до оптимізації параметрів та розроблено математичну модель управління процесами вартості, тривалості та якості в довгострокових контрактах. На основі моделі розроблено два методи математичного вирішення задачі оптимізації запропонованих параметрів. Виконано математичний експеримент на основі прикладу проєкту довгострокового утримання автомобільних доріг за кінцевими показниками якості, результати якого показали, що адаптивна здатність проєктів за другим методом менш гнучка в порівнянні з першим. Проте за другим методом було досягнуто кращих показників щодо мінімізації часових параметрів з середнім квадратичним відхиленням у 5 %. Оптимізація параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг має мультиплікативний ефект, який виражається у зменшенні адміністративних витрат замовника, зменшенні відповідальності дорожніх служб. А також створенні передумов до стабільного фінансування дорожніх робіт, задоволеності користувачів доріг, створенні міцних партнерських відносин між замовником та підрядником. Результати розрахунків мають практичну цінність та можуть слугувати інструментом прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо визначення основних параметрів довгострокових контрактів на експлуатаційне утримання автомобільних доріг, заснованих на якості.

**Ключові слова:** методи оптимізації, параметри довгострокового контракту, експлуатаційне утримання, фінансування дорожніх робіт.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225271

**РЕГУЛЮВАННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ: СЕРТИФІКАЦІЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОПЕРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ** сторінки 54–60**Цвілій О. О.**

Об'єктом дослідження є система та схеми оцінки відповідності (сертифікації) кібербезпеки операційних технологій (ОТ), як набір правил та процедур, що описують об'єкти сертифікації, визначають зазначені вимоги та забезпечують методологію проведення сертифікації. Термінологічна база та понятійний апарат дослідження сертифікації кібербезпеки операційних технологій спираються на міжнародний стандарт ISO 17000:2020 Conformity assessment – Vocabulary and general principles. Основою систем і схем сертифікації кібербезпеки є оціночні стандарти, вибір та застосування яких не є однозначним та історично має безліч інтерпретацій та механізмів застосування. Ці стандарти складаються з інструментів, політик, концепцій безпеки, гарантій безпеки, керівних принципів, підходів до управління ризиками, найкращих практик, гарантій та технологій тощо. Але вони мають в тій чи іншій мірі суттєвий



недолік, – складність трансформації результатів оцінювання інформаційної безпеки за цими стандартами в гарантії безпеки зі скільки завгодно широким міжнародним визнанням. Це в умовах глобалізації суттєво погіршує якість кібербезпеки.

Основна гіпотеза дослідження полягає в припущенні, що якість кібербезпеки може бути підвищена шляхом конвергенції до загальної методології, яка спирається на узгоджені міжнародні стандарти та передову міжнародну практику з сертифікації. Розглянуто питання щодо ключової ролі кібербезпеки для операційних технологій, які стають основою для економіки 4.0 та розглядаються зараз як новий рубіж кібербезпеки. Показано потребу в створенні системи та схем сертифікації кібербезпеки ОТ на основі міжнародних та європейських принципів сертифікації. Розроблені ієрархічна модель оціночних стандартів системи сертифікації кібербезпеки та ієрархічна модель угод про взаємне визнання сертифікатів кібербезпеки, які дозволять системно підійти до створення системи та схем з сертифікації кібербезпеки ОТ. Завдяки цьому забезпечується можливість для розробників систем та схем сертифікації формувати системи сертифікації кібербезпеки ОТ на принципах широкого транскордонного визнання сертифікатів кібербезпеки в сфері ОТ.

**Ключові слова:** система кібербезпеки, система оцінки відповідності, ієрархічна модель, схема сертифікації кібербезпеки.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225017

**ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД УПРАВЛІННЯ РАДІОРЕСУРСОМ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ** сторінки 61–65

**Шишацький А. В., Мельник А. О., Бондар О. П., Петрук О. В., Черняхівський Д. В., Кривенко М. В., Петров О. В., Кравчук С. М., Шідловський Ю. Л., Лук'янець В. В.**

У роботі вирішено завдання обґрунтування методологічних засад управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах апріорної невизначеності. Об'єктом дослідження є система військового радіозв'язку. Одним з найбільш проблемних місць при управлінні радіоресурсом військових радіомереж є неможливість проводити наскрізне ієрархічне управління параметрами та режимами роботи як окремих радіозасобів, так і системи військового радіозв'язку в цілому. Це знижує ефективність як самої системи, так і ефективності її застосування.

Наукове завдання вирішено за допомогою обґрунтування методологічних засад управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах апріорної невизначеності. В ході проведеного дослідження авторами роботи були використані основні положення теорії масового обслуговування, теорії автоматизації, теорії складних технічних систем, а також загальнонаукові методи пізнання, а саме аналізу та синтезу. Новизна полягає в тому, що в ході роботи:

- сформульована мета функціонування підсистеми оперативного управління радіоресурсом систем військового радіозв'язку;
- визначені показники та критерії ефективності функціонування систем військового радіозв'язку;
- проведена декомпозиція рішення даної проблеми на задачі в залежності від сигнальної та завадової обстановки.

Для функціонального опису систем військового радіозв'язку застосовується підхід, заснований на ієрархічній декомпозиції функціональної структури мереж, поведінка яких описується стохастичними диференціальними (або різницевиими) рівняннями стану високої розмірності, на ряд взаємопов'язаних, але простіших функціональних структур. Це дозволить провести декомпозицію стану системи військового радіозв'язку та підвищити оперативність прийняття рішень щодо корегування режимів роботи та параметрів системи військового радіозв'язку в режимі реального часу. Результати дослідження доцільно використовувати на етапі оперативного управління параметрами та режимами роботи зазначених систем.

**Ключові слова:** система військового радіозв'язку, ієрархічна декомпозиція функціональної структури мереж, радіоелектронне подавлення, дестабілізуючі фактори.