

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317825**  
**DETECTION OF FIRE BY COMPARISON OF SAMPLING COEFFICIENTS OF VARIATION OF CURRENT MEASUREMENTS OF DANGEROUS PARAMETERS OF THE GAS ENVIRONMENT (p. 6–12)**

**Igor Tolok**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6309-9608>

**Boris Pospelov**

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0957-3839>

**Evgeniy Rybka**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5396-5151>

**Andrii Iatsyshyn**

Center for Information-Analytical and Technical Support of Nuclear Power Facilities Monitoring of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5508-7017>

**Yurii Kozar**

Luhansk State Medical University, Rivne, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6424-6419>

**Olekci Krainiukov**

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

**Ihor Morozov**

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9643-481X>

**Yuliia Bezuhla**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4022-2807>

**Mikhail Kravtsov**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3218-2182>

**Olga Salamatina**

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1457-2822>

The object of this study is the selective coefficient of variation of dangerous parameters of the gas environment, which are caused by the general aggregates of reliable absence or occurrence of ignition of materials. The method of prompt detection of fires based on the comparison of the sample coefficients of variation of the hazardous parameters of the gas environment of the specified general populations and the verification for each moment of time of the result of the comparison of the sample coefficients of variation and exceeding the current threshold is theoretically substantiated. At the same time, the value of the current threshold is calculated taking into account the given probability of false detection of ignition and the current error of the result of comparing the sample coefficients of variation. This method makes it possible to ensure the maximum current probability of correct ignition detection. Experiments were conducted to verify the performance of the proposed method. The obtained results in general indicate the efficiency of the method. It was established that the result of the comparison of the sample coefficients of varia-

tion of the hazardous parameters of the gas environment, which correspond to the specified general populations for carbon monoxide at the time of ignition of alcohol, paper, wood, and textiles, is 0.47, 0.14, 0.2, and 0.001, respectively. For the temperature, the results of the comparison of the sample coefficients of variation during the ignition of similar materials are 0.12, 0.13, 0.015 and 0.045, respectively. At the same time, for prompt detection of fires based on the proposed method, it is necessary to preferably use the concentration of carbon monoxide and the temperature of the gas environment as dangerous parameters of the gas environment. The practical importance of the research is the use of selective coefficients of hazardous parameters of the gas environment for the detection of material fires in real time.

**Keywords:** prompt detection of fires, sample coefficient of variation, dangerous parameters, gas environment.

### References

- Zabulonov, Y. L., Popov, O. O., Skurativskyi, S. I., Stokolos, M. O., Puhach, O. V., Molitor, N. (2023). Mathematical tools of solving the problem of restoring the surface distribution of radiation pollution based on remote measurement data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012099. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012099>
- Truong, C. T., Nguyen, T. H., Vu, V. Q., Do, V. H., Nguyen, D. T. (2023). Enhancing Fire Detection Technology: A UV-Based System Utilizing Fourier Spectrum Analysis for Reliable and Accurate Fire Detection. *Applied Sciences*, 13 (13), 7845. <https://doi.org/10.3390/app13137845>
- Gaur, A., Singh, A., Kumar, A., Kulkarni, K. S., Lala, S., Kapoor, K. et al. (2019). Fire Sensing Technologies: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 19 (9), 3191–3202. <https://doi.org/10.1109/jsen.2019.2894665>
- Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Bezuhla, Y., Liashevskaya, O., Butenko, T. et al. (2022). Empirical cumulative distribution function of the characteristic sign of the gas environment during fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (118)), 60–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263194>
- Wu, Y., Harada, T. (2004). Study on the Burning Behaviour of Plantation Wood. *Scientia Silvae Sinicae*, 40, 131.
- Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. *Journal of Combustion Science and Technology*, 9, 139.
- Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.
- Li, J., Yan, B., Zhang, M., Zhang, J., Jin, B., Wang, Y., Wang, D. (2019). Long-Range Raman Distributed Fiber Temperature Sensor With Early Warning Model for Fire Detection and Prevention. *IEEE Sensors Journal*, 19 (10), 3711–3717. <https://doi.org/10.1109/jsen.2019.2895735>
- Frizzi, S., Kaabi, R., Bouhouicha, M., Ginoux, J.-M., Moreau, E., Fnaiech, F. (2016). Convolutional neural network for video fire and smoke detection. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 877–882. <https://doi.org/10.1109/iecon.2016.7793196>
- Wang, H., Fang, X., Li, Y., Zheng, Z., Shen, J. (2021). Research and application of the underground fire detection technology based on multi-dimensional data fusion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 109, 103753. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103753>
- Pospelov, B., Rybka, E., Samoilo, M., Morozov, I., Bezuhla, Y., Butenko, T. et al. (2022). Defining the features of amplitude and phase spectra of dangerous factors of gas medium during the ignition of materials in the premises. *Eastern-European Journal of Enterprise*

- Technologies, 2 (10 (116)), 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254500>
12. Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Fedyna, V., Bezuhla, Y., Melnychenko, A. et al. (2024). Method for early ignition detection based on the sampling dispersion of dangerous parameter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (127)), 55–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299001>
  13. Hogg, R. V., McKean, J. W., Craig, A. T. (2013). *Introduction to mathematical statistics*. Pearson Education.
  14. Kovach, V. O., Kutsenko, V. O., Pylypchuk, I. V., Krasnov, Y. B., Bliznyuk, V. N., Budnyak, T. M. (2023). Development of a conceptual scheme for the creation of environmentally friendly Gd-containing neutron-absorbing nanocomposites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012100>
  15. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). *Fire resistance of reinforced concrete and steel structures*. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
  16. Pospelov, B., Kovrehin, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Petukhova, O., Butenko, T. et al. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
  17. Cramér, H. (2016). *Mathematical methods of statistics*. Princeton University Press, 26.
  18. Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Yashchenko, O., Bezuhla, Y., Bielai, S. et al. (2021). Short-term forecast of fire in the premises based on modification of the Brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (112)), 52–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238555>
  19. Otrosh, Y., Rybka, Y., Danilin, O., Zhuravskiy, M. (2019). Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *E3S Web of Conferences*, 123, 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316594

#### APPLICATION OF THERMOGRAPHY TO DETECT AREAS OF WATER INFILTRATION IN THE DAM CONCRETE FOUNDATION (p. 13–21)

**Oleksandr Miahkyi**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0442-5570>

**Sergiy Meshkov**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3464-8318>

**Roman Orel**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-2393>

**Volodymyr Storozhenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7609-2955>

This paper introduces a methodology devised for thermographic inspection of concrete technical condition inside concrete dams. Water infiltration into a dam accelerates the processes of concrete degradation, so temperature fields provide important information about the dynamics of these processes. As a result of the thermal imaging survey of the observation gallery at a historic hydraulic structure, a formalized

pattern of the temperature field inside the dam was acquired and the locations of temperature anomalies associated with infiltration were identified. At the leakage points, the water temperature differed from the concrete temperature by 1.0–2.9 °C, indicating different rates of water flow through the water wall and the gallery ceiling. The temperature of the gallery areas with increased infiltration was 1–2 °C higher than the 12.7 °C selected as the reference temperature. When recording the temperature fields, the optical axis of the thermal imager was directed along the gallery, and not perpendicular to the surfaces under study, as in construction thermography. To this end, a methodological approach was devised to eliminate distortions of the resulting thermograms caused by the curvature of the gallery and other factors. To remove images of extraneous thermal radiation sources from the thermograms and accurately identify the area under study, a method of shielding a part of the image using special masks was used. The comparative thermography method made it possible to eliminate difficulties in determining the emissivity of the gallery concrete surface. The proposed method of comparative thermography made it possible to compare the intensity of filtration processes in the dam body and to link the current state of the hydraulic structure with the history of its restoration. In general, the thermographic method makes it possible to supplement existing primary natural control with a formalized pattern of temperature field inside the dam.

**Keywords:** thermography, concrete dam, water infiltration, thermogram processing, infiltration criterion, inspection gallery.

#### References

1. Sinha, D., Divya, K., Singh, L. (2020). Analysis of a dam structure using analysis tool: A review. *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering*, 4 (6), 53–59. Available at: <https://ijsrce.com/index.php/home/article/view/IJSRCE204610>
2. Shulga, V. A. (2020). Advanced algorithm for diagnostic control of water-development constructions of Ukraine. *Hidroenerhetyka Ukrainy*, 1-2, 17–23. Available at: <http://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-07/7.pdf>
3. Brown, M. (Ed.) (2001) *Introduction to Thermal Analysis. Techniques and Applications*. Springer Dordrecht, 264. <https://doi.org/10.1007/0-306-48404-8>
4. Matias, L., Batista, A. L. (2018). Application of infrared thermography in anomalies detection of Covao de Ferro dam waterproofing membrane. *DW2018: Third International Dam World Conference*. Available at: <https://repositorio.lnec.pt/handle/123456789/1011981>
5. Sirca Jr., G. F., Adeli, H. (2018). Infrared thermography for detecting defects in concrete structures. *Journal of Civil Engineering And Management*, 24 (7), 508–515. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6186>
6. Shtengel, V. G., Nedyalkov, V. S. (2011). Infrared image inspection of ground hydraulic constructions slopes fastening reinforced concrete slabs. *Magazine of Civil Engineering*, 25 (7), 26–32. <https://doi.org/10.5862/mce.25.4>
7. Opyrchał, L., Chmielewski, R. (2023). Application of infrared thermography in the diagnostics of hydraulic structures. *Dams and Reservoirs*, 33 (3), 95–99. <https://doi.org/10.1680/jdare.22.00087>
8. Henriques, M., Ramos, P. (2015). Thermal imaging of concrete dam surfaces to support the control of the evolution of pathologies. *DW2015: Second International Dam World Conference*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/317620823\\_THERMAL\\_IMAGING\\_OF\\_CONCRETE\\_DAM\\_SURFACES\\_TO\\_SUPPORT\\_THE\\_CONTROL\\_OF\\_THE\\_EVOLUTION\\_OF\\_PATHOLOGIES](https://www.researchgate.net/publication/317620823_THERMAL_IMAGING_OF_CONCRETE_DAM_SURFACES_TO_SUPPORT_THE_CONTROL_OF_THE_EVOLUTION_OF_PATHOLOGIES)
9. Linikov, V. A. (2012). Undermining the Dnieper dam August 18, 1941. *Muzeinyi visnyk*, 12, 226–231. Available at: [https://shron1.chtyvo.org.ua/Linikov\\_Volodymyr/Pidryv\\_Dniprovskoi\\_hrebli\\_18\\_serpnia\\_1941\\_r.pdf](https://shron1.chtyvo.org.ua/Linikov_Volodymyr/Pidryv_Dniprovskoi_hrebli_18_serpnia_1941_r.pdf)

10. Vavilov, V., Burleigh, D. (2020). *Infrared Thermography and Thermal Nondestructive Testing*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-48002-8>
11. Walnut, D. F. (2004). *An Introduction to Wavelet Analysis*. In *Applied and Numerical Harmonic Analysis*. Birkhäuser Boston. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0001-7>
12. Storozhenko, V. A., Myagkiy, A. V., Malik, S. B., Bedenko, D. A. (2011). Honeycomb sandwich thermal test procedure thermal-physical model, its analysis and verification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (53)), 7–10. Available at: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/1214>
13. Yang, G.-W., Zhou, W.-Y., Peng, H.-Y., Liang, D., Mu, T.-J., Hu, S.-M. (2023). Recursive-NeRF: An Efficient and Dynamically Growing NeRF. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 29 (12), 5124–5136. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2022.3204608>
14. Wang, C., Wu, X., Guo, Y.-C., Zhang, S.-H., Tai, Y.-W., Hu, S.-M. (2022). NeRF-SR: High Quality Neural Radiance Fields using Super-sampling. *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia*, 6445–6454. <https://doi.org/10.1145/3503161.3547808>
15. Storozhenko, V., Orel, R., Mjagky, A. (2016). Optimization of the procedure of thermal flaw detection of the honeycomb constructions by improving the accuracy of interference function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (83)), 12–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79563>
16. Yu, A., Li, R., Tancik, M., Li, H., Ng, R., Kanazawa, A. (2021). PlenOctrees for Real-time Rendering of Neural Radiance Fields. *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 5732–5741. <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00570>
17. Fisher, R. B., Dawson-Howe, K., Fitzgibbon, A., Robertson, C., Trucco, E. (Eds.) (2005). *Dictionary of Computer Vision and Image Processing*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470016302>
18. Tewari, A., Fried, O., Thies, J., Sitzmann, V., Lombardi, S., Sunkavalli, K. et al. (2020). State of the Art on Neural Rendering. *Computer Graphics Forum*, 39 (2), 701–727. <https://doi.org/10.1111/cgf.14022>
19. Schonberger, J. L., Frahm, J.-M. (2016). Structure-from-Motion Revisited. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.445>
20. Alhadidi, B., Zu'bi, M. H., Suleiman, H. N. (2007). Mammogram Breast Cancer Image Detection Using Image Processing Functions. *Information Technology Journal*, 6 (2), 217–221. <https://doi.org/10.3923/itj.2007.217.221>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317948

## HARDWARE DESIGN FOR MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) BASED ON METAHEURISTIC ALGORITHM IN PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS (p. 22–32)

**Darjat**

Diponegoro University, Semarang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4515-3302>

**Satria Arya Bima**

Diponegoro University, Semarang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8878-9621>

**Hieronimus Emilianus Evangelista**

Diponegoro University, Semarang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3976-3191>

**Bambang Winardi**

Diponegoro University, Semarang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4473-1764>

**Ajub Ajulian Zahra**

Diponegoro University, Semarang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6653-4783>

**Nooritawati Md Tahir**

Universiti Teknologi MARA, Selangor, Malaysia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3082-8963>

PSO and ABC algorithms with Arduino microcontrollers are focused on developing efficient solutions for control systems, energy optimization, and signal processing. These algorithms are generally for platforms with large resources, making them difficult to implement directly on Arduino. Adjustments are needed so that the algorithm can work efficiently without sacrificing the quality of the results. Both are implemented for partially shaded conditions in photovoltaic (PV) systems. The MPPT hardware development method with this meta algorithm can be a solution in dealing with the constraints of partially shaded disturbances. Meanwhile, other studies of the two concepts of the PSO and ABC algorithms have also been developed through software simulations for both MPPT applications and other fields. Evaluation criteria and methods for optimizing MPPT performance have been proposed by implementing a DC-DC Boost Converter. Testing was conducted with a PV with of 47.6 V and Isc of 11.6 A under two conditions to assess the performance of the PSO and ABC. The test resulted in the average power generated by the system with PSO algorithm on three unshaded PV with irradiation of 801 W/m<sup>2</sup> and a temperature of 84.5 °C with load variations of 50 Ω, 100 Ω, 200 Ω, and 400 Ω was 49.06 W, while the irradiation on one shaded PV at 198 W/m<sup>2</sup> resulted in an average power of 46.13 W. The system using the ABC algorithm on three unshaded PV generated an average power of 48.35 W, and with irradiation on one shaded solar panel at 198 W/m<sup>2</sup>, it generated an average power of 45.03 W. Overall, the study demonstrates that both PSO and ABC algorithms effectively improve power generation in partially shaded conditions, with PSO showing better performance. These findings suggest that implementing these algorithms can enhance the efficiency of PV systems in practical applications.

**Keywords:** algorithm, partial shading, particle swarm optimization, artificial bee colony, MPPT.

### References

1. Rimantho, D., Hidayah, N. Y., Pratomo, V. A., Saputra, A., Akbar, I., Sundari, A. S. (2023). The strategy for developing wood pellets as sustainable renewable energy in Indonesia. *Heliyon*, 9 (3), e14217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14217>
2. Aprilianto, R. A., Ariefianto, R. M. (2021). Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energy (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia. *Jurnal Paradigma*, 2 (2). Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Rizky-Ajje-Aprilianto/publication/357448042\\_Peluang\\_Dan\\_Tantangan\\_Menuju\\_Net\\_Zero\\_Emission\\_NZE\\_Menggunakan\\_Variable\\_Renewable\\_Energy\\_VRE\\_Pada\\_Sistem\\_Ketenagalistrikan\\_Di\\_Indonesia/links/61ce9438d4500608167c1faf/Peluang-Dan-Tantangan-Menuju-Net-Zero-Emission-NZE-Menggunakan-Variable-Renewable-Energy-VRE-Pada-Sistem-Ketenagalistrikan-Di-Indonesia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rizky-Ajje-Aprilianto/publication/357448042_Peluang_Dan_Tantangan_Menuju_Net_Zero_Emission_NZE_Menggunakan_Variable_Renewable_Energy_VRE_Pada_Sistem_Ketenagalistrikan_Di_Indonesia/links/61ce9438d4500608167c1faf/Peluang-Dan-Tantangan-Menuju-Net-Zero-Emission-NZE-Menggunakan-Variable-Renewable-Energy-VRE-Pada-Sistem-Ketenagalistrikan-Di-Indonesia.pdf)
3. Fathoni, A. M., Utama, N. A., Kristianto, M. A. (2014). A Technical and Economic Potential of Solar Energy Application with Feed-in Tariff Policy in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.013>
4. Nurjaman, H. B., Purnama, T. (2022). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6 (2), 136–142. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.51617>
5. Tampubolon, A. C. P., Adiatma, J. (2023). Laporan Status Energi Bersih Indonesia. IESR.
6. 2023 Annual Report · PT PLN (Persero). Available at: [https://web.pln.co.id/statics/uploads/2024/10/AR-PLN-2023\\_1610-hi.pdf](https://web.pln.co.id/statics/uploads/2024/10/AR-PLN-2023_1610-hi.pdf)
7. Refaat, A., Khalifa, A.-E., Elsakka, M. M., Elhenawy, Y., Kalas, A., Elfar, M. H. (2023). A novel metaheuristic MPPT technique based

- on enhanced autonomous group Particle Swarm Optimization Algorithm to track the GMPPT under partial shading conditions – Experimental validation. *Energy Conversion and Management*, 287, 117124. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117124>
8. Gautam, V., Jalil, M. F., Khatoon, S., Bakhsh, F. I. (2023). Improved power generation from PV array operating in partial shading scenarios by shade dispersion using Sumoku reconfiguration. 2023 IEEE 3rd International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC), 1–6. <https://doi.org/10.1109/stpec59253.2023.10430632>
  9. Thanikanti, S. B., B, P. K., S, D., Aljafari, B., Colak, I. (2023). A dynamic mismatch loss mitigation algorithm with dual input dual output converter for solar PV systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 251, 112163. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.112163>
  10. Krishnan M., M., Bharath, K. R. (2019). A Novel Sensorless Hybrid MPPT Method Based on FOCV Measurement and P&O MPPT Technique for Solar PV Applications. 2019 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE), 1–5. <https://doi.org/10.1109/icacce46606.2019.9079953>
  11. Raziya, F., Afnaz, M., Jesudason, S., Ranaweera, I., Walpita, H. (2019). MPPT Technique Based on Perturb and Observe Method for PV Systems Under Partial Shading Conditions. 2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon), 474–479. <https://doi.org/10.1109/mercon.2019.8818684>
  12. Maulana, F. (2023). Impementasi MPPT Menggunakan Human Psychology Optimization (HPO) Algorithm dengan Boost Converter pada Panel Surya dengan Kondisi Partial Shading. Politeknik Negeri Jakarta. Available at: <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/10622/>
  13. Subudhi, B., Pradhan, R. (2013). A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4 (1), 89–98. <https://doi.org/10.1109/tste.2012.2202294>
  14. Li, P., Zhang, J., Xu, R., Zhou, J., Gao, Z. (2024). Integration of MPPT algorithms with spacecraft applications: Review, classification and future development outlook. *Energy*, 308, 132927. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132927>
  15. Águila-León, J., Vargas-Salgado, C., Díaz-Bello, D., Montagud-Montalvá, C. (2024). Optimizing photovoltaic systems: A meta-optimization approach with GWO-Enhanced PSO algorithm for improving MPPT controllers. *Renewable Energy*, 230, 120892. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120892>
  16. Samir Eldessouky, A., Mahmoud, I. M., Abdel-Salam, T. S. (2023). MPPT based on a novel load segmentations structure for PV applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 14 (4), 101937. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101937>
  17. Talib Naser, A., Khairullah Mohammed, K., Fadilah Ab Aziz, N., Elsanabary, A., Binti Kamil, K., Mekhilef, S. (2024). A fast-tracking MPPT-based modified coot optimization algorithm for PV systems under partial shading conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 15 (10), 102967. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102967>
  18. Yang, B., Xie, R., Duan, J., Wang, J. (2023). State-of-the-art review of MPPT techniques for hybrid PV-TEG systems: Modeling, methodologies, and perspectives. *Global Energy Interconnection*, 6 (5), 567–591. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2023.10.005>
  19. Yatimi, H., Aroudam, E. (2018). MPPT algorithms based modeling and control for photovoltaic system under variable climatic conditions. *Procedia Manufacturing*, 22, 757–764. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.108>
  20. Ullah, K., Ishaq, M., Tehier, F., Ahmad, H., Ahmad, Z. (2023). Fuzzy-based maximum power point tracking (MPPT) control system for photovoltaic power generation system. *Results in Engineering*, 20, 101466. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101466>
  21. Arduino Uno R3. Arduino. Available at: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
  22. Li, L., Chen, Y. Z., Zhou, H., Ma, H., Liu, J. (2010). The application of hall sensors ACS712 in the protection circuit of controller for humanoid robots. 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010). <https://doi.org/10.1109/iccasm.2010.5622149>
  23. Li, H., Yang, D., Su, W., Lu, J., Yu, X. (2019). An Overall Distribution Particle Swarm Optimization MPPT Algorithm for Photovoltaic System Under Partial Shading. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (1), 265–275. <https://doi.org/10.1109/tie.2018.2829668>
  24. Li, H., Gao, S., Chen, C., Melnikov, S. N., Yang, X., Li, J. (2019). MPPT Algorithm Based on Improved PSO and Fuzzy Algorithm. 2019 Chinese Automation Congress (CAC), 243–248. <https://doi.org/10.1109/cac48633.2019.8997254>
  25. Abdullah, M. A., Al-Hadhrani, T., Tan, C. W., Yatim, A. H. (2018). Towards Green Energy for Smart Cities: Particle Swarm Optimization Based MPPT Approach. *IEEE Access*, 6, 58427–58438. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2874525>
  26. Hassan, S., Abdelmajid, B., Mourad, Z., Aicha, S., Abdenaceur, B. (2017). An Advanced MPPT Based on Artificial Bee Colony Algorithm for MPPT Photovoltaic System under Partial Shading Condition. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 8 (2), 647. <https://doi.org/10.11591/ijped.v8.i2.pp647-653>
  27. Fanani, M. R., Sudiharto, I., Ferdiansyah, I. (2020). Implementation of Maximum Power Point Tracking on PV System using Artificial Bee Colony Algorithm. 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 117–122. <https://doi.org/10.1109/isriti51436.2020.9315527>
  28. Hart, W. D. (2011). *Power Electronics*. McGraw-Hill, 477.
  29. IRFP260NPbF. Infineon. Available at: [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFP260N-DataSheet-v01\\_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a401535628a2ef1fe4](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFP260N-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a401535628a2ef1fe4)
  30. STTH3003CW Datasheet (PDF) – STMicroelectronics. Available at: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/24779/STMI-CROELECTRONICS/STTH3003CW.html>
  31. Shi, J., Zhang, W., Zhang, Y., Xue, F., Yang, T. (2015). MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm. *Electric Power Systems Research*, 123, 100–107. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.02.001>
  32. Benyoucef, A. soufyane, Chouder, A., Kara, K., Silvestre, S., sahed, O. A. (2015). Artificial bee colony based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for PV systems operating under partial shaded conditions. *Applied Soft Computing*, 32, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.03.047>
  33. Javed, S., Ishaque, K. (2022). A comprehensive analyses with new findings of different PSO variants for MPPT problem under partial shading. *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (5), 101680. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101680>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319253

**DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE MULTI-CHANNEL CORRELATION SIDELobe CANCELLER FOR ACTIVE NOISE INTERFERENCE BASED ON THE GRAM-SCHMIDT ORTHOGONALIZATION PROCEDURE (p. 33–40)**

**Serhii Zhuk**

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0046-8450>

**Viacheslav Chmelov**

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3369-2675>

**Oleksandr Tereshchenko**

National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-0420-3590>

The object of the study is the process of adapting a multi-channel correlation sidelobe canceller to work in conditions of radio-electronic countermeasures based on the Gram-Schmidt orthogonalization procedure. The proposed approach allows developing a fast, recursive algorithm for searching for optimal values of weight coefficients. Such an algorithm will ensure fast adaptation of the sidelobe canceller to a complex interference-target situation, which can change rapidly. The obtained result of the coefficient of suppression of active noise interference in a constant value approaches the optimal value determined by the Wiener-Hopf equation, which indicates the effectiveness of the proposed approach.

By using the Gram-Schmidt orthogonalization procedure, it was possible to obtain high stability of the procedures for calculating the optimal values of weight coefficients, in contrast to other considered approaches. The proposed approach can be practically implemented in existing radar systems for suppressing active noise interference.

During the study, it was found that the adaptive multi-channel correlation sidelobe canceller in a steady-state mode works similarly to adaptive phased antenna arrays – it has the same efficiency in spatial signal selection and in compensation of active noise interference.

When suppressing four active noise interference, the suppression coefficient is  $-23.35$  dB. With an increase in the number of interferences at the input of the four-channel sidelobe canceller, the suppression level deteriorates rapidly. With five, six, seven, eight interferences –  $-22.90$  dB,  $-21.54$  dB,  $-20$  dB,  $-17.02$  dB, respectively. Such changes are due to the number of active interferences, which is greater than the number of compensation channels.

**Keywords:** multi-channel sidelobe canceller, sidelobe canceller, decorrelation, compensation channel, Gram-Schmidt procedure, Gram-Schmidt orthogonalization procedure.

## References

- Riabukha, V. P. (2016). Adaptive radar noise jamming protection systems. 1. Correlation self-compensators based on stochastic gradient algorithms of adaptation. *Applied Radio Electronics*, 15 (1), 11–25. Available at: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/12103>
- Pliushch, O., Toliupa, S., Vyshnivskyi, V., Rybydajlo, A. (2020). Studying of Initial Weight Vector Selection Impact on Transient Performance of Coherent Sidelobe Cancellation System with Gradient Adaptation Algorithm. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 343–347. <https://doi.org/10.1109/picst51311.2020.9467905>
- Yang, W.-Y., Park, M.-K., Hong, S.-W., Kim, C.-H. (2018). Analysis of Adaptive Side-Lobe Canceller Algorithm for Fully Digital Active Array Radar. *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 29 (5), 375–382. <https://doi.org/10.5515/kjkiees.2018.29.5.375>
- Hong, T. (2021). Design of an Adaptive Sidelobe Cancellation Algorithm for Radar. *Journal of Physics: Conference Series*, 1754 (1), 012217. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1754/1/012217>
- Zhao, X., Wang, D., Liu, J. (2023). Analysis and research of an adaptive side-lobe cancellation performance improvement method. 2023 IEEE 7th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), 1642–1646. <https://doi.org/10.1109/itoec57671.2023.10291884>
- Shin, H. (2017). The digitalization of analog sidelobe canceller by ordinary differential equations. 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf), 0190–0194. <https://doi.org/10.1109/radar.2017.7944195>
- Shin, H. (2018). The mitigation of multiple jammers using a sidelobe canceller designed with independently configured loops. 2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18), 0969–0974. <https://doi.org/10.1109/radar.2018.8378692>
- Monzingo, R. A., Haupt, R. L., Miller, T. W. (2011). *Introduction to Adaptive Arrays*. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/sbew046e>
- Shyrman, Ya. D., Manzhos, V. M. (2008). *Teoriya i tekhnika obrobky radiolokatsiynoi informatsiyi na foni pereshkod*. Kharkiv, 268.
- Hryzo, A., Nevmerzhitsky, I., Dodukh, O., Sapehin, Y. (2021). Suggestions for modernization of protection device of radar II-18 Malakhite from active noise interference. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 2 (43), 104–110. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.14>
- Pliushch, O. (2019). Gradient Signal Processing Algorithm for Adaptive Antenna Arrays Obviating Reference Signal Presence. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 635–638. <https://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061536>
- Chmelov, V., Zhuk, S., Onysko, A., Tereshchenko, O. (2022). Structural-parametric adaptation of the active noise interference autocompensator implementing the Gram-Schmidt orthogonalization procedure. 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 733–736. <https://doi.org/10.1109/tcset55632.2022.9767061>
- Zhuk, S. Ya., Semibalamut, K. M., Litvincev, S. N. (2017). Mnogostupenchataya adaptivnaya kompensaciya aktivnykh shumovykh pomekh s blochnoy ortogonalizatsiey signalov kompensatsionnykh kanalov. *Visti vyshchykh uchbovykh zakladiv. Radioelektronika*, 60 (6), 311–326. <https://doi.org/10.20535/s0021347017060012>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315525**  
**DEVELOPMENT OF A HEXACOPTER MODEL FOR TRANSPORTING MEDICINES WITH NOISE REDUCTION (p. 41–48)**

**Abdumezhit Darayev**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9904-2283>

**Muhabbat Khizirova**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2242-7756>

**Anatoly Samsonenko**

Institute of Space Technique and Technology,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5651-6108>

**Serikbek Ibekeyev**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1991-8642>

**Daulet Ilyas**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-1254-7184>

The object of research is a helicopter-type copter. For the test flight of the prototype, high level of noise in the Wi-Fi block channel was noticed. To solve the problem Kalman filter was installed to the system between the antenna and microprocessor, for noise cancellation. A technical model that takes into consideration the time variation of the interference/signal ratio at the input of the UAV receiver for given trajectories and speeds of movement of objects and the source of interference has been developed that allows the delivery of medications up to 2 kg with a flight range of 5 km when exposed to interference from a moving source.

This article provides a prototype of the hexacopter design for small carriage delivery, used for medicinal transportation. During the test usage of the prototype UAV, such problems as shaking and unstable fixation of the lock mechanism holding the delivered cargo are observed and noted. The article underlines the cause of said problems as electromagnetic compatibility considerations, the methodology of debugging was to measure signals with oscilloscope and servotest, and provides the solution as application of Kalman filter for antennas. The results of the oscilloscope and spectrum analyzer during the debugging process before and after optimization by Kalman filter usage for noise filtering are shown. Signal noise can cause malfunctions of components, during signal decoding. The UAV prototype showed delayed response during test flight for approximately 0.2 s, which can be critical for flight and delivery precision. Telemetry, navigation, control, data, power supply, engine design, and software considerations are given. The results are not yet sufficient for urban usage, where EMI density is much higher, but the current developments make the suburban usage of UAVs for long range transportation.

**Keywords:** hexacopter, unmanned aerial vehicle, noise reduction, frequency spectrum, Kalman filter.

### References

- Ackerman, E., Strickland, E. (2018). Medical delivery drones take flight in East Africa. *IEEE Spectrum*, 55 (1), 34–35. <https://doi.org/10.1109/mspec.2018.8241731>
- Pandey, S. K., Zaveri, M. A., Choksi, M., Kumar, J. S. (2018). UAV-based Localization for Layered Framework of the Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 143, 728–735. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.442>
- Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. R., Akyildiz, I. F. (2017). Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management. *IEEE Pervasive Computing*, 16 (1), 24–32. <https://doi.org/10.1109/mprv.2017.11>
- Simmons, D. (2016). Rwanda begins Zipline commercial drone deliveries. Available at: <https://www.bbc.com/news/technology-37646474>
- TU delft's ambulance drone drastically increases chances of survival of cardiac arrest patients (2014). Available at: <http://www.odbor-necasopisy.cz/en/post/tu-delft-s-ambulance-drone-dramatically-increases-chances-of-survival-of-cardiac-arrest-patients--842>
- Qin, Z., Tang, X., Meng, Z., Wu, Y.-T., Lyu, S.-K., Wang, Y. (2023). Conceptual design for a multi-rotor UAV based on variable paddle pitch. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 37 (10), 5349–5361. <https://doi.org/10.1007/s12206-023-0936-1>
- Moormann, D. (2015). DHL parcelcopter research flight campaign 2014 for emergency delivery of medication. ICAO RPAS Symposium. Montreal. Available at: <https://www.icao.int/Meetings/RPAS/RPASSymposiumPresentation/Day%202%20Workshop%205%20Technology%20Dieter%20Moormann.pdf>
- Coxworth, B. (2011). Quadshot RC aircraft combines quadcopter hovering with airplane flight. Available at: <https://newatlas.com/quadshot-hovers-and-flies/19449/>
- Saeed, A. S., Younes, A. B., Cai, C., Cai, G. (2018). A survey of hybrid Unmanned Aerial Vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 98, 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2018.03.007>
- Gu, H., Lyu, X., Li, Z., Shen, S., Zhang, F. (2017). Development and experimental verification of a hybrid vertical take-off and landing (VTOL) unmanned aerial vehicle (UAV). 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 160–169. <https://doi.org/10.1109/icuas.2017.7991420>
- Hochstenbach, M., Notteboom, C., Theys, B., De Schutter, J. (2015). Design and Control of an Unmanned Aerial Vehicle for Autonomous Parcel Delivery with Transition from Vertical Take-off to Forward Flight – VertiKUL, a Quadcopter Tailsitter. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 7 (4), 395–405. <https://doi.org/10.1260/1756-8293.7.4.395>
- Six places where drones are delivering medicines (2022). *Nature*. Available at: <https://www.nature.com/articles/d41591-022-00053-9>
- Drones Could Soon Deliver Medications to Your Home. *Verywell Health*. Available at: <https://www.verywellhealth.com/drones-medications-delivery-5219050>
- How are Drones Used in Healthcare? *News-Medical.net*. Available at: <https://www.news-medical.net/health/How-are-drones-used-in-healthcare.aspx>
- Drone-Enabled Pharmaceutical Delivery: Navigating Regulatory Turbulence. Available at: <https://blog.petrieflom.law.harvard.edu/2021/04/15/drone-enabled-pharmaceutical-delivery/>
- How drones could change the future of healthcare delivery (2020). *World Economic Forum*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2020/05/medical-drone-delivery-india-africa-modernize-last-mile/>
- Mazzeo, F., de Angelis, E. L., Giuliotti, F., Talamelli, A., Leali, F. (2024). Performance Analysis and Conceptual Design of Lightweight UAV for Urban Air Mobility. *Drones*, 8 (9), 507. <https://doi.org/10.3390/drones8090507>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319226

### DEVISING A DEORBITATION STRATEGY FOR KAZAKHSTANI'S KazEOSat-1 SPACECRAFT (p. 49–62)

**Berik Zhumazhanov**

Ghalam LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5926-9619>

**Aigul Kulakayeva**

International Information Technology University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0143-085X>

**Abdikul Ashurov**

L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6044-5579>

**Kazbek Baktybekov**

Ghalam LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6401-8053>

**Ainur Zhetpisbayeva**

L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>

**Daniyar Uskenbaev**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6265-1376>

**Bexultan Zhumazhanov**

Ghalam LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>

**Aigerim Zylgara**

L. N. Gumilyov Eurasian National University,

Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9916-8685>

**Aliya Kargulova**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,

Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5848-8617>

The object of this study is the process of deorbiting the KazEOSat-1 spacecraft, which has completed its active service life in low Earth orbit. The main problem is the lack of an effective technique to deorbit KazEOSat-1, taking into account its technical characteristics,

orbital parameters, and the need to minimize risks to the environment and other objects in orbit.

As part of the work, a software model was built that takes into account the initial orbital parameters of the device, which are essential for planning and performing deorbiting maneuvers. The model is designed to accurately calculate the descent trajectory, taking into account the laws of celestial mechanics and the influence of atmospheric conditions. The optimal deorbiting strategy was selected based on an analysis of various methods for calculating orbital maneuvers aimed at reducing fuel consumption and minimizing environmental risks. This included a comparative analysis of existing approaches and the selection of the most suitable ones under the given mission parameters.

The results of the simulation using precise modeling methods in the MATLAB software environment allowed us to determine the main deorbiting parameters, such as the altitude at which the maneuvers begin, the required velocity impulses, the total fuel consumption, and the expected time before entering the dense layers of the atmosphere. Based on the obtained data, practical recommendations were formulated for the KazEOSat-1 deorbit. The first stage, the active controlled deorbit, is carried out by operating the low-thrust engine and braking by the Earth's atmosphere, allowing the spacecraft to descend from 758 km to 444 km in 2.5 days. The second stage, the passive uncontrolled deorbit, continues the descent to 103 km in 969 days, using only atmospheric braking. The third stage, the uncontrolled drop, begins after reaching 103 km and ends with a drop to the Earth in 834 seconds.

**Keywords:** Spacecraft, deorbiting, satellite disposal, LEO, space debris, orbit, CubeSat.

## References

1. Strategiya "Kazakhstan-2050": noviy politicheskij kurs sostoyavshego-sya gosudarstva. Informacionno-pravovaya sistema normativnyh pravovyh aktov Respubliki Kazakhstan. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1200002050>
2. ISO 24113:2023. Space systems – Space debris mitigation requirements.
3. Zhang, R., Yang, K., Zhang, J., Bi, S. (2024). Overview and Key Technology of the Membrane Drag Sail for Low Earth Orbit Satellite Deorbit. *Space: Science & Technology*, 4. <https://doi.org/10.34133/space.0115>
4. Niccolai, L., Mengali, G. (2024). Performance Estimate of a Spin-Stabilized Drag Sail for Spacecraft Deorbiting. *Applied Sciences*, 14 (2), 612. <https://doi.org/10.3390/app14020612>
5. Zhang, J., Zhang, R., Yang, K. (2022). Attitude Stability Analysis and Configuration Design of Pyramid Drag Sail for Deorbit Missions. *Journal of Aerospace Engineering*, 35 (6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)as.1943-5525.0001479](https://doi.org/10.1061/(asce)as.1943-5525.0001479)
6. Xu, Y., Yang, Y., Huang, H., Jia, H., Fang, G. (2024). Numerical simulation of rigid-flexible coupled dynamics for an inflatable sphere deorbiting device. *Advances in Space Research*, 74 (1), 373–383. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.03.049>
7. Rioseco Olave, D., Caqueo Jara, N., Cassineli Palharini, R., Santos Araujo Palharini, R., Gaglio, E., Savino, R. (2023). Inflatable aerodynamic decelerator for CubeSat reentry and recovery: Altitude effects on the flowfield structure. *Aerospace Science and Technology*, 138, 108358. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108358>
8. Caqueo, N., Palharini, R. C., Palharini, R. S. A., Gaglio, E., Savino, R. (2024). Inflatable aerodynamic decelerators for CubeSat reentry and recovery: Surface properties. *Aerospace Science and Technology*, 149, 109151. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2024.109151>
9. Xiao, H., Huang, J., Liu, G., Lv, Y. (2020). Space Environment Modeling and Deorbiting Efficiency Analysis for Electro-dynamic Tether System. 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 5063–5067. <https://doi.org/10.1109/ccdc49329.2020.9164373>
10. Sarego, G., Olivieri, L., Valmorbidia, A., Brunello, A., Lorenzini, E. C., Tarabini Castellani, L. et al. (2021). Deployment requirements for deorbiting electrodynamic tether technology. *CEAS Space Journal*, 13 (4), 567–581. <https://doi.org/10.1007/s12567-021-00349-5>
11. IADC Space Debris Mitigation Guidelines. Available at: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/iadc-space-debris-guidelines-revision-2.pdf>
12. Vanessa, M. (Ed.) (2019). United Nations Handbook 2019–2020. Wellington: Ministry of Foreign Affairs and Trade of New Zealand, 58–60.
13. Curtis, H. (2020). *Orbital Mechanics for Engineering Students*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-02107-1>
14. Battin, R. H. (1999). *An Introduction to the Mathematics and Methods of Astrodynamics*, Revised Edition. AIAA. <https://doi.org/10.2514/4.861543>
15. Brophy, J. R. (2000). Low-Thrust Propulsion Technology. *Journal of Propulsion and Power*.
16. Janovsky, R., Kassebom, M., Lübberstedt, H., Romberg, O. et al. (2003). End-of-Life de-Orbiting Strategies for Satellites. 54th International Astronautical Congress of the International Astronautical Federation, the International Academy of Astronautics, and the International Institute of Space Law. <https://doi.org/10.2514/6.iac-03-iaa.5.4.05>
17. Everetts, W., Rock, K., Iovanov, M. (2020). Iridium deorbit strategy, execution, and results. *Journal of Space Safety Engineering*, 7 (3), 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.jsse.2020.07.013>
18. NASA Orbital Debris Program Office. Available at: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>
19. Space Debris. Available at: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris)

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317825

**ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯНЬ ШЛЯХОМ ПОРІВНЯННЯ ВИБІРКОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАРІАЦІЇ ПОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ (с. 6–12)****І. В. Толок, Б. Б. Поспелов, Є. О. Рыбка, А. В. Яцишин, Ю. Ю. Козар, О. М. Крайнюков, І. Є. Морозов, Ю. С. Безугла, М. М. Кравцов, О. О. Саламатіна**

Об'єктом дослідження є вибірковий коефіцієнт варіації небезпечних параметрів газового середовища, що обумовлені генеральними сукупностями достовірної відсутності або появи загоряння матеріалів. Теоретично обґрунтовано метод оперативного виявлення загорянь на основі порівняння вибіркових коефіцієнтів варіації небезпечних параметрів газового середовища вказаних генеральних сукупностей та перевірки для кожного моменту часу результату порівняння вибіркових коефіцієнтів варіації та перевищення поточного порогу. При цьому величина поточного порогу обчислюється з урахуванням заданої ймовірності помилкового виявлення загоряння та поточної похибки результату порівняння вибіркових коефіцієнтів варіації. Такий метод дозволяє забезпечувати максимальну поточну ймовірність правильного виявлення загоряння. Проведено експерименти з перевірки працездатності запропонованого методу. Одержані результати в цілому свідчать про працездатність методу. Встановлено, що результатом порівняння вибіркових коефіцієнтів варіації небезпечних параметрів газового середовища, які відповідають вказаним генеральним сукупностям для чадного газу в момент підпалу спирту, паперу, деревини та текстилю є 0,47, 0,14, 0,2 та 0,001 відповідно. Для температури результату порівняння вибіркових коефіцієнтів варіації при підпалі аналогічних матеріалів становлять 0,12, 0,13, 0,015 та 0,045 відповідно. При цьому для оперативного виявлення загорянь на основі запропонованого методу необхідно у якості небезпечних параметрів газового середовища переважно використовувати концентрацію чадного газу та температуру газового середовища. Практична важливість дослідження полягає у використанні вибіркових коефіцієнтів небезпечних параметрів газового середовища для виявлення загорянь матеріалів у реальному часі.

**Ключові слова:** оперативне виявлення загорянь, вибірковий коефіцієнт варіації, небезпечні параметри, газове середовище.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316594

**ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОГРАФІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ МІСЦЬ ІНФІЛЬТРАЦІЇ ВОДИ В БЕТОННІЙ ОСНОВІ ГРЕБЛІ (с. 13–21)****О. В. Мягкий, С. М. Мешков, Р. П. Орел, В. О. Стороженко**

Дослідження присвячене розробці методології термографічного обстеження технічного стану бетону всередині бетонних гребель. Інфільтрація води у греблю прискорює процеси деградації бетону, тому температурні поля несуть важливу інформацію про динаміку цих процесів. В результаті термографічного обстеження оглядової галереї історичної гідроспоруди була отримана формалізована картина температурного поля всередині греблі, визначені місця температурних аномалій, пов'язаних з інфільтрацією. У місцях витоків температура води відрізнялася від температури бетону на 1,0–2,9 °C, що вказувало на різну швидкість її надходження через водонапірну стінку і стелю галереї. Температура ділянок галереї з підвищеною інфільтрацією виявилася вищою на 1–2 °C від обраної за еталонну температуру 12,7 °C. При реєстрації температурних полів оптична вісь тепловізора була спрямована вздовж галереї, а не перпендикулярно досліджуваним поверхням, як у будівельній термографії. При цьому розроблено методичний підхід для усунення спотворень отриманих термограм, викликаних кривизною галереї та іншими факторами. Для видалення з термограм зображень сторонніх джерел теплового випромінювання та точного виділення досліджуваної ділянки був використаний метод екранування частини зображення за допомогою спеціальних масок. Метод порівняльної термографії дозволив усунути складнощі з визначенням випроф мінювальної здатності поверхні бетону галереї. Запропонований метод порівняльної термографії дозволив порівняти інтенсивність фільтраційних процесів у тілі греблі та пов'язати сучасний стан гідроспоруди з історією її відновлення. Загалом термографічний метод дозволяє доповнити існуючий первинний натурний контроль формалізованою картиною температурного поля усередині греблі.

**Ключові слова:** термографія, бетонна гребля, інфільтрація води, обробка термограм, критерії інфільтрації, оглядова галерея.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317948

**РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАКСИМАЛЬНОГО ВІДСТЕЖЕННЯ ТОЧОК ЖИВЛЕННЯ (МВТЖ) НА ОСНОВІ МЕТАЕВРИСТИЧНОГО АЛГОРИТМУ У ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ (ФЕ) СИСТЕМАХ (с. 22–32)****Darjat, Satria Arya Bima, Hieronimus Emilianus Evangelista, Bambang Winardi, Ajub Ajulian Zahra, Nooritawati Md Tahir**

Алгоритми методу рою часток (МРЧ) та штучного бджолиного рою (ШБР) з мікроконтролерами Arduino зосереджені на розробці ефективних рішень для систем управління, оптимізації енергії та обробки сигналів. Ці алгоритми, як правило, використовуються для платформ з великими ресурсами, що ускладнює їх реалізацію безпосередньо на Arduino. Потрібні коригування, щоб алгоритм міг працювати ефективно, не жертвуючи якістю результатів. Обидва реалізуються для частково затінених умов у фотоелектричних (ФЕ). Метод розробки обладнання МВТЖ з цим мета-алгоритмом може бути рішенням у вирішенні обмежень частково затінених порушень. Тим часом інші дослідження двох концепцій алгоритмів МРЧ та ШБР також були розроблені за допомогою моделювання програмного забезпечення як для додатків МВТЖ, так і для інших сфер. Критерії оцінювання та методи оптимізації продуктивності МВТЖ були запропоновані шляхом реалізації перетворювача постійного струму. Тестування проводили з ФЕ із Voc 47,6 В та ISC 11,6 А за двох умов для оцінки ефективності МРЧ та ШБР. Випробування Voc призвело до того, що середня потужність, що генерується системою з алгоритмом МРЧ на трьох незатінених ПВ з опроміненням 801 Вт/м<sup>2</sup> та температурою 84,5 °C з коливаннями навантаження 50 Ом, 100 Ом, 200 Ом і 400 Ом становила 49,06 Вт, в той час як опромінення на одному затіненому ФЕ на 198 Вт/м<sup>2</sup>



привело до середньої потужності 46,13 Вт. Система, що використовує алгоритм ШБР на трьох незатінених ФЕ, генерувала середню потужність 48,35 Вт, і з опроміненням на одній затіненій сонячній панелі на 198 Вт/м<sup>2</sup>, він генерував середню потужність 45,03 Вт. Загалом, дослідження демонструє, що і алгоритми МРЧ, і ШБР ефективно покращують виробництво потужності в частково затінених умовах, при цьому МРЧ демонструє кращу продуктивність. Ці результати свідчать про те, що впровадження цих алгоритмів може підвищити ефективність ФЕ-систем у практичних додатках.

**Ключові слова:** алгоритм, часткове затінення, оптимізація рою частинок, штучний бджолиний рій, МВТЖ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319253

#### РОЗРОБКА АДАПТИВНОГО БАГАТОКАНАЛЬНОГО КОРЕЛЯЦІЙНОГО АВТОКОМПЕНСАТОРА АКТИВНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД НА ОСНОВІ ПРОЦЕДУРИ ОРТОГОНАЛІЗАЦІЇ ГРАМА-ШМІДТА (с. 33–40)

С. Я. Жук, В. О. Чмельов, О. В. Терещенко

Об'єктом дослідження є процес адаптації багатоканального кореляційного автокомпенсатора до роботи в умовах радіоелектронної протидії на основі процедури ортогоналізації Грама-Шмідта. Запропонований підхід дозволяє розробити швидкий, рекурсивний алгоритм пошуку оптимальних значень вагових коефіцієнтів. Такий алгоритм забезпечить швидку адаптацію автокомпенсатора до складної завадо-цільової обстановки, яка може швидко змінюватися. Отриманий результат коефіцієнту подавлення активних шумових завад у сталому значенні наближається до оптимального значення, визначеного за рівнянням Вінера-Хопфа, що свідчить про ефективність запропонованого підходу.

За рахунок використання процедури ортогоналізації Грама-Шмідта вдалося отримати високу стійкість процедур обчислення оптимальних значень вагових коефіцієнтів, на відміну від інших розглянутих підходів. Запропонований підхід може бути практично реалізований в існуючих системах радіолокації для подавлення активних шумових завад.

В ході дослідження виявлено, що адаптивний багатоканальний кореляційний автокомпенсатор в усталеному режимі працює аналогічно до адаптивних фазованих антенних решіток – має однакову ефективність при просторовій селекції сигналів та при компенсації активно шумових завад.

При подавленні чотирьох активно шумових завад коефіцієнт придушення становить –23.35 дБ. При збільшенні кількості завад на вході чотириканального компенсатора, рівень подавлення стрімко погіршується. При п'яти, шести, семи, восьми завадах: –22.90 дБ, –21.54 дБ, –20 дБ, –17.02 дБ відповідно. Такі зміни обумовлені кількістю активних завад, яка є більшою за кількість компенсаційних каналів.

**Ключові слова:** багатоканальний автокомпенсатор, автокомпенсатор, декореляція, компенсаційний канал, процедура Грама-Шмідта, процедура ортогоналізації Грама-Шмідта.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315525

#### РОЗРОБКА МОДЕЛІ ГЕКСАКОПТЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ ІЗ ЗНИЖЕННЯМ ШУМУ (с. 41–48)

Abdumazhit Daraev, Muhabbat Khizirova, Anatoly Samsonenko, Serikbek Ibekeyev, Daulet Ilyas

Об'єктом дослідження є коптер вертолітного типу. Під час тестового польоту прототипу був помічений високий рівень шуму в каналі блоку Wi-Fi. Для вирішення проблеми в системі між антеною та мікропроцесором був встановлений фільтр Калмана для шумозаглушення. Розроблено технічну модель, яка враховує зміну в часі співвідношення перешкода/сигнал на вході приймача БПЛА для заданих траєкторій і швидкостей руху об'єктів та джерела перешкод, що дозволяє доставляти ліки до 2 км з дальністю польоту 5 км при дії перешкод від рухомого джерела.

У цій статті наведено прототип конструкції гексакоптера для доставки малих засобів, які використовуються для транспортування медикаментів. Під час тестового використання прототипу БПЛА спостерігаються та відзначаються такі проблеми, як хитання та нестійка фіксація замкового механізму, що утримує доставлений вантаж. У статті підкреслюється причина зазначених проблем як міркування електромагнітної сумісності, методологія налагодження полягала у вимірюванні сигналів за допомогою осцилографа та сервотесту, а також пропонується рішення щодо застосування фільтра Калмана для антен. Показано результати роботи осцилографа та аналізатора спектру під час процесу налагодження до та після оптимізації за допомогою фільтра Калмана для фільтрації шуму. Шум сигналу може спричинити несправність компонентів під час декодування сигналу. Прототип БПЛА продемонстрував затримку реакції під час тестового польоту приблизно на 0,2 с, що може бути критичним для точності польоту та доставки. Наведено особливості телеметрії, навігації, керування, даних, джерела живлення, конструкції двигуна та програмного забезпечення. Результатів ще недостатньо для міського використання, де щільність електромагнітних випромінювань набагато вища, але поточні розробки дозволяють використовувати БПЛА у приміських районах для транспортування на великі відстані.

**Ключові слова:** гексакоптер, безпілотний літальний апарат, шумозаглушення, частотний спектр, фільтр Калмана.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319226

#### РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ ДЕОРБІТАЦІЇ КАЗАХСТАНСЬКОГО КОСМІЧНОГО АПАРАТУ KazEOSat-1 (с. 49–62)

Berik Zhumazhanov, Aigul Kulakayeva, Abdikul Ashurov, Kazbek Baktybekov, Ainur Zhetpisbayeva, Daniyar Uskenbaev, Bexultan Zhumazhanov, Aigerim Zylgara, Aliya Kargulova

Об'єктом дослідження є процес деорбітації космічного апарату KazEOSat-1, який завершив термін його активної експлуатації на низькій навколосезній орбіті. Основною проблемою є відсутність ефективного способу зведення KazEOSat-1 з орбіти, враховуючи його технічні характеристики, параметри орбіти та необхідність мінімізації ризиків для навколишнього середовища та інших об'єктів на орбіті.

В рамках роботи була розроблена програмна модель, яка дозволяє врахувати початкові орбітальні параметри апарату, істотні для планування та виконання маневрів деорбітації. Модель призначена для точного розрахунку траєкторії спуску, враховуючи закони небесної механіки та вплив атмосферних умов. Вибрана оптимальна стратегія деорбітації на основі аналізу різних методів розрахунку

ку орбітальних маневрів, спрямованих на скорочення витрат палива та зниження екологічних ризиків. Це включало порівняльний аналіз існуючих підходів і вибір найбільш підходящих в умовах заданих параметрів місії.

Результати моделювання з використанням точних методів моделювання в програмному середовищі MATLAB дозволили визначити основні параметри деорбітації, такі як висота початку маневрів, необхідні імпульси швидкості, загальна витрата палива і очікуваний час входу в щільні шари атмосфери. На основі отриманих даних сформульовані практичні рекомендації для зведення KazEOSat-1 з орбіти. Перший етап, активний контрольований звід, відбувається за рахунок роботи двигуна малої тяги і торможення атмосферою Землі, дозволяючи апарату знизитися з 758 км до 444 км за 2,5 дня. Другий етап, пасивний неконтрольований звід, продовжує зниження до 103 км протягом 969 днів, використовуючи тільки атмосферне торможення. Третій етап – неконтрольоване падіння, починається після досягнення 103 км і завершується падінням на Землю за 834 секунди.

**Ключові слова:** космічний апарат, деорбітація, використання супутника, LEO, космічний мусор, орбіта, CubeSat.