

- - - - - ABSTRACT AND REFERENCES - - - - -  
 INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229221**  
**DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION METHOD FOR MEASURING THE DOPPLER FREQUENCY OF A PACKET TAKING INTO ACCOUNT THE FLUCTUATIONS OF THE INITIAL PHASES OF ITS RADIO PULSES (p. 6–15)**

**Serhii Yevseiev**

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1647-6444>

**Oleksandr Kuznietsov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5915-8107>

**Sergey Herasimov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1810-0387>

**Stanislav Horielyshev**

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>

**Anton Karlov**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0812-7052>

**Ihor Kovalov**

National Academy of National Guard of Ukraine,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7359-5776>

**Oleksii Kolomiitsev**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

**Olena Lukashuk**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8721-2433>

**Oleksandr Milov**

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6135-2120>

**Vitaliy Panchenko**

National Academy of National Guard of Ukraine,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8601-2672>

The necessity of estimating the decrease in the accuracy of measuring the informative parameters of a radar signal in real conditions of its propagation and reflection has been substantiated. The results of the estimation determine the requirements for optimizing this measurement to achieve the required efficiency. A numerical analysis of the decrease in the accuracy of measuring the Doppler frequency of a coherent packet is presented, depending on the statistical characteristics of fluctuations of the initial phases of its radio pulses. Ex-

pressions are given for calculating the fluctuation component of the measurement error of radio pulse packet frequency for various coefficients of interpulse correlation of phase fluctuations. An assessment is made of the possibility of increasing the accuracy of Doppler frequency measurement, which can be ensured by statistical optimization of the algorithm for time-frequency processing of a given radar signal by taking into account its phase fluctuations. The conditions for the multiplicative influence of phase fluctuations of radio pulses of the received packet are substantiated, which determine the efficiency of optimization of Doppler frequency measurement.

Based on the results of the study, an optimization method for measuring the Doppler frequency of the packet taking into account fluctuations in the initial phases of its radio pulses is proposed. The accuracy of Doppler frequency measurement under the influence of both the internal noise of the radar receiver and the correlated phase fluctuations of its radio pulses is estimated. The efficiency of optimization of measuring the Doppler frequency of the packet is estimated taking into account fluctuations of the initial phases of its radio pulses by means of computer simulation. It is proved that, under the influence of phase fluctuations, the accuracy of Doppler frequency measurement can be increased due to the performed optimization from 1.86 to 6.29 times. This opens the way to improving the existing algorithms for measuring the higher time range derivatives to improve the quality of tracking complex maneuvering aerodynamic objects. This explains the importance and usefulness of the work for the radar theory.

**Keywords:** aerodynamic object, coherent packet of radio pulses, radar, RMS error, Doppler frequency.

#### Reference

- Zohuri, B. (2020). Fundamentals of Radar. Radar Energy Warfare and the Challenges of Stealth Technology, 1–110. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40619-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40619-6_1)
- Melvin, W. L., Scheer, J. (Eds.) (2012). Principles of Modern Radar: Advanced techniques. IET. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra020e>
- Klemm, R., Nickel, U., Gierull, C., Lombardo, P., Griffiths, H., Koch, W. (Eds.) (2017). Novel Radar Techniques and Applications Volume 1: Real Aperture Array Radar, Imaging Radar, and Passive and Multistatic Radar. IET. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra512f>
- Herasimov, S., Roshchupkin, E., Kutsenko, V., Riazantsev, S., Nastishin, Yu. (2020). Statistical analysis of harmonic signals for testing of Electronic Devices. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (7), 3791–3798. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/143872020>
- Barton, D. K. (2012). Radar Equations for Modern Radar. Artech House, 264.
- Herasimov, S., Belevshchuk, Y., Ryapolov, I., Volkov, A., Borysenko, M., Tokar, O. (2020). Modeling technology of radar scattering of the fourth generation EF-2000 Typhoon multipurpose aircraft model. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (9), 5075–5082. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/30892020>
- Minervin, N. N., Karlov, D. V., Konovalov, V. M. (2013). Features of influencing the ionosphere on radar signals at accelerated motion of space objects. Applied Radio Electronics, 12 (4), 530–532.
- Minervin, N. N., Kuznetsov, A. L. (2013). Optimal algorithms for measuring target radial velocity and received signal arrival angle in

- view of phase fluctuations with arbitrary correlation function. *Applied Radio Electronics*, 12 (4), 514–517.
9. Volosyuk, V. K., Gulyaev, Y. V., Kravchenko, V. F., Kutuza, B. G., Pavlikov, V. V., Pustovoi, V. I. (2014). Modern methods for optimal spatio-temporal signal processing in active, passive, and combined active-passive radio-engineering systems. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 59 (2), 97–118. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064226914020090>
  10. Klochko, V. K. (2016). Algorithms of 3D radio-wave imaging in airborne Doppler radar. *Radioelectronics and Communications Systems*, 59 (8), 335–343. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272716080021>
  11. Richards, M. A. (2014). *Fundamentals of Radar Signal Processing*. McGraw-Hill Education.
  12. O'Neill, C. R., Arena, A. S. (2005). Time Domain Training Signals Comparison for Computational Fluid Dynamics Based Aerodynamic Identification. *Journal of Aircraft*, 42 (2), 421–428. doi: <https://doi.org/10.2514/1.6424>
  13. Singh, M., Bhoi, S. K., Khilar, P. M. (2017). Short-Range Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar Using Universal Software-Defined Radio Peripheral (USRP). *Progress in Intelligent Computing Techniques: Theory, Practice, and Applications*, 559–565. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3376-6\\_60](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3376-6_60)
  14. Wu, X., Tian, Z., Davidson, T., Giannakis, G. (2006). Optimal waveform design for UWB radios. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 54 (6), 2009–2021. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2006.872556>
  15. Karimi-Ghartemani, M., Iravani, M. R. (2005). Measurement of harmonics/inter-harmonics of time-varying frequencies. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20 (1), 23–31. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwr.2004.837674>
  16. Valenzuela, J., Pontt, J. (2009). Real-time interharmonics detection and measurement based on FFT algorithm. *2009 Applied Electronics*, 259–264.
  17. Tian, X., Zhang, T., Zhang, Q., Xu, H., Song, Z. (2018). Pulse Compression Analysis for OFDM-Based Radar-Radio Systems. *Machine Learning and Intelligent Communications*, 381–390. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73447-7\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73447-7_42)
  18. Herasimov, S., Tymochko, O., Kolomiitsev, O., Alosin, G., Kriukov, O., Morozov, O., Alekseyev, V. (2019). Formation Analysis of Multi-Frequency Signals of Laser Information Measuring System. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 19–28. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00984>
  19. Karlov, V., Kuznietsov, O., Artemenko, A. (2018). Statement of problem of target's radial velocity optimal estimation using initial phases correlating fluctuations of received radio pulses bursts. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, 3, 115–121. doi: <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.57.17>
  20. Kuznietsov, O., Karlov, V., Karlov, A., Kiyko, A., Lukashuk, O., Biesova, O., Petrushenko, M. (2020). Estimation of the Dispersion of the Error in Measuring the Frequency of a Pack with Correlated Fluctuations in the Initial Phases of its Radio Pulses. *2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*. doi: <https://doi.org/10.1109/ukrmw49653.2020.9252588>
  21. Siedyshev, Yu. M., Karpenko, V. I., Atamanskyi, D. V. et al. (2010). *Radioelektronni systemy*. Kharkiv: KhUPS, 418.
  22. Mogyla, A. A. (2014). Application of stochastic probing radio signals for the range-velocity ambiguity resolution in doppler weather radars. *Radioelectronics and Communications Systems*, 57 (12), 542–552. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272714120036>
  23. Ghasemi, A., Abedi, A., Ghasemi, F. (2012). Propagation of Radar Waves. *Propagation Engineering in Radio Links Design*, 299–365. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5314-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5314-7_6)
- 
- DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228133**
- DEVELOPMENT OF A DIRECT PENETRATING SIGNAL COMPENSATOR IN A DISTRIBUTED RECEPTION CHANNEL OF A SURVEILLANCE RADAR (p. 16–26)**
- Hennadii Khudov**  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>
- Serhii Yarosh**  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5208-9372>
- Oleksandr Droban**  
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,  
Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8604-0692>
- Oleksandr Lavrut**  
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,  
Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4909-6723>
- Yurii Hulak**  
National Defence University of Ukraine named  
after Ivan Cherniakhovskiy,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1186-1562>
- Ivan Porokhnia**  
National Defence University of Ukraine named  
after Ivan Cherniakhovskiy,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7307-4743>
- Serhii Yarovy**  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6138-5774>
- Alexandr Rogulia**  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5338-8083>
- Iryna Yuzova**  
Civil Aviation Institute,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0013-5808>
- Rostyslav Khudov**  
V. N. Karazin Kharkiv National University,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6209-209X>

General structure of a compensator of a direct penetrating signal in the diversified reception channel was developed. It is advisable to use the antenna and the receiver of the auxiliary diverted reception channel as an auxiliary antenna and an auxiliary channel. To be able to suppress the penetrating signal in the band of the receiving device of the surveillance radar, distance between the antennas should be up to 6 m. In general, the compensator of the penetrating signals should contain an adder in which the signals received by the main channel are added with the signals received by the auxil-

ary channel and sent through the amplifier with a corresponding complex transmission coefficient. The direct penetration signal compensator features the obligatory condition of adjusting the value of the complex transmission coefficient of the auxiliary channel signal amplifier.

The direct penetration signal compensator is digital and uses the direct method of forming weighting coefficients without the use of feedback. To reduce the time of formation of weighting coefficients when using direct methods of calculation of the correlation matrix, the technology of parallel computational processes was used.

The quality of operation of the direct penetrating signal suppression system in the diverted reception channel was evaluated. It was established that without the use of suppression of direct penetrating signals, their powerful response at the output of the matched filter mask weak echo signals. When using a direct penetrating signal in the main channel of the compensator, its response at the output of the matched filter is significantly reduced. This makes it possible to observe weak echoes against the background of a strong penetrating signal. The use of the developed direct penetrating signal compensator provides suppression of the direct penetrating signal from 57 dB to 70 dB.

**Keywords:** air object, suppression, direct penetrating signal, external radiation source, radar.

#### References

1. Military aircraft avionics market - growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 - 2026). Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/military-aircraft-avionics-market>
2. Military Aircraft Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). Available at: <https://www.researchhandmarkets.com/reports/4534320/military-aircraft-market-growth-trends-and>
3. Military Aircraft Avionics Market by End User (OEM and Aftermarket), System (Communication, Aircraft Flight Control, Navigation & Monitoring, Collision Avoidance, Weather and Others), and Aircraft Type (Combat Aircraft, Transport Aircraft, Rotorcraft, and UAVS): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020–2027. Available at: <https://www.alliedmarketresearch.com/military-aircraft-avionics-market-A07500>
4. Eckel, M. (2020). Drone Wars: In Nagorno-Karabakh, The Future Of Warfare Is Now. Available at: <https://www.rferl.org/a/drone-wars-in-nagorno-karabakh-the-future-of-warfare-is-now/30885007.html>
5. Lishchenko, V., Kalimulin, T., Khizhnyak, I., Khudov, H. (2018). The Method of the organization Coordinated Work for Air Surveillance in MIMO Radar. 2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrmi-co43733.2018.9047560>
6. Richards, M. A., Scheer, J. A., Holm, W. A. (2010). Principles of modern radar. Vol. I. Basic principles. Raleigh: SciTech Publishing, 924. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra021e>
7. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (2013). Principles of modern radar. Vol. II. Advanced techniques. Raleigh: SciTech Publishing, 846. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra020e>
8. Melvin, W. L., Scheer, J. A. (2014). Principles of modern radar. Vol. III. Radar applications. Raleigh: SciTech Publishing, 820. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra503e>
9. Bezouwen, J., Brandfass, M. (2017). Technology Trends for Future Radar. Available at: <https://www.microwavejournal.com/articles/29367-technology-trends-for-future-radar>
10. Khudov, H., et. al. (2020). The Coherent Signals Processing Method in the Multiradar System of the Same Type Two-coordinate Surveillance Radars with Mechanical Azimuthal Rotation. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (6), 2624–2630. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/66862020>
11. Bhatta, A., Mishra, A. K. (2017). GSM-based commsense system to measure and estimate environmental changes. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 32 (2), 54–67. doi: <https://doi.org/10.1109/maes.2017.150272>
12. Neyt, X., Raout, J., Kubica, M., Kubica, V., Roques, S., Acheroy, M., Verly, J. G. (2006). Feasibility of STAP for Passive GSM-Based Radar. 2006 IEEE Conference on Radar. doi: <https://doi.org/10.1109/radar.2006.1631853>
13. Willis, N. J. (2004). Bistatic Radar. IET. doi: <https://doi.org/10.1049/sbra003e>
14. Khudov, H., Zvonko, A., Kovalevskiy, S., Lishchenko, V., Zots, F. (2018). Method for the detection of small sized air objects by observational radars. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (9 (92)), 61–68. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126509>
15. Ruban, I., Khudov, H., Lishchenko, V., Pukhoviy, O., Popov, S., Kolos, R. et. al. (2020). Assessing the detection zones of radar stations with the additional use of radiation from external sources. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (108)), 6–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216118>
16. Harms, H. A., Searle, S. J., Palmer, J. E., Davis, L. M. (2012). Impact of quantization on passive radar target detection. IET International Conference on Radar Systems (Radar 2012). doi: <https://doi.org/10.1049/cp.2012.1681>
17. Xianrong, W., Zhixin, Z., Delei, Z., Qihong, S. (2011). HF passive bistatic radar based on DRM illuminators. Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar. doi: <https://doi.org/10.1109/cie-radar.2011.6159499>
18. Jain, M., Choi, J. I., Kim, T., Bharadia, D., Seth, S., Srinivasan, K. et. al. (2011). Practical, real-time, full duplex wireless. Proceedings of the 17th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking - MobiCom '11. doi: <https://doi.org/10.1145/2030613.2030647>
19. Karpovich, P. I., Korenevsky, S. A., Muraviov, V. V. (2019). Research of electronic compensation methods of reference signal in the surveillance channel of semi-active coherent bistatic DVB-T2 radar. Doklady BGUIR, 5, 52–59. doi: <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2019-123-5-52-59>
20. Chasovskiy, V. A., Chernoborodova, N. P., Chernoborodov, M. P., Piza, D. M. (2002). Tsifrovaya sistema kompensatsii nesinhronnykh impul'snykh pomeh. Radioelektronika. Informatyka. Upravlinnia, 2, 41–44.
21. Chornoborodov, M. P. (2008). Pidvyshchennia taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk RLS 79K6 (80K6) "Pelikan". Systemy upravlinnia, navihatsiyi ta zviazku, 1, 64–67.
22. Piza, D. M., Semenov, D. S., Bugrova, T. I.; Piza, D. M. (Ed.) (2017). (2017). Proektirovanie radiolokatsionnykh sistem. Zaporizhzhia: ZNTU. Available at: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2216?mode=full>
23. Perfilov, O. Yu. (2017). Radiopomehi. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 110.
24. Lyons, R. G. (2011). Understanding Digital Signal Processing. Boston, MA: Pearson Education, 564.
25. Xiong, W., Zhang, G., Liu, W. (2017). Efficient filter design against interrupted sampling repeater jamming for wideband radar. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2017 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13634-017-0446-3>
26. Chernyak, V. S. (2012). Mnogopozitsionnye radiolokatsionnye sistemy na osnove MIMO RLS. Uspehi sovremennoy radioelektroniki, 8, 29–46.

27. Losev, Yu. I., Berdnikov, A. G., Goyhman, E. Sh., Sizov, B. D.; Losev, Yu. I. (Ed.) (1988). *Adaptivnaya kompensatsiya pomeh v kanalah svyazi*. Moscow: Radio i svyaz', 208.
28. Radar "Malachite". Available at: <http://ust.com.ua/ru/item/rls-malaxit>
29. Ground-based long-range VHF band surveillance radar P-18MA (P-180U). Available at: <https://www.aerotechnica.ua/nazemnaya-podvizhnaya-radiolokaczionnaya-stancziya-p-18ma.html>
30. P-18MU. Available at: [http://uoe.com.ua/products/ua/?id=0&pid=catalogue&language=ukr&catalogue\\_id=510&type=content](http://uoe.com.ua/products/ua/?id=0&pid=catalogue&language=ukr&catalogue_id=510&type=content)
31. Goreglyad, V., Kovalgin, Yu., Hodyrev, D. (2014). Osnovnye osobennosti standarta tsifrovogo televideniya DVB-T2. Broadcasting. Televidenie i radioveshanie, 2. Available at: <http://lib.broadcasting.ru/articles2/Regandstan/osnovnye-osobennosti-standarta-tsifrovogo-televideniya-dvb-t2>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227984

**COMPUTER SIMULATION OF LOGARITHMIC TRANSFORMATION FUNCTION TO EXPAND THE RANGE OF HIGH-PRECISION MEASUREMENTS (p. 27–36)**

**Volodymyr Shcherban'**

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>

**Ganna Korogod**

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1670-3125>

**Oksana Kolysko**

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>

**Mariana Kolysko**

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-7264>

**Yury Shcherban'**

Kyiv College of Light Industry,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>

**Ganna Shchutska**

Kyiv College of Light Industry,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7182-8556>

Studies of the effect of normalized radiation fluxes on the measurement result revealed the most influential one. The value of the normalized flow  $F_0$  was shown to have a greater effect on the relative measurement error than  $\Delta F_0$ . This allows investigating the relationship between the controlled  $F_x$  and the normalized flow  $F_0$ . Experimental studies have confirmed that by a threefold increase in the normalized flow  $F_0$  relative to the controlled flow  $F_x$ , it becomes possible to increase the measurement accuracy in a wide range. In particular, it was found that at the flux value  $F_0=0.16 \cdot 10^{-3}$  W, it becomes possible to measure the controlled flow in a wider range  $F_x=(0.16 \cdot 10^{-3} \div 0.97 \cdot 10^{-3})$  W with a relative error of thousandths of a percent. The effect of the reproduction error on the measurement result under the condition of a threefold increase in the normalized flow  $F_0$  relative to the controlled

flow  $F_x$  is shown. It was found that an increase in the reproduction error of the normalized radiation fluxes by 1 order leads to a narrowing of the range in which the value of the relative error tends to zero. It is shown that in the absence of a threefold increase in the normalized flow  $F_0$ , an increase in the reproduction error of the normalized flows by 1 order leads to individual cases of reduction in the relative error to small-order values. The latter, by the way, applies to cases where the ratio between the normalized  $F_0$  and controlled flow  $F_x$ , as 3 to 1, is ensured. It is shown that the reproduction error of the dark flow does not affect the measurement result.

Thus, there is reason to believe that it is possible to expand the measurement range, in which the value of the relative error is thousandths of a percent, even for 1 measurement cycle.

**Keywords:** redundant methods, measurement equations, accuracy increase, normalized quantities, reproduction errors of quantities.

**References**

1. Pronin, A. N., Sapozhnikova, K. V., Taymanov, R. E. (2015). Reliability of measurement information in control systems. Problems and their solution. T-Comm, 9 (3), 32–37. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostovernost-izmeritelnoy-informatsii-v-sistemah-upravleniya-problemy-i-resheniya/viewer>
2. Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kolysko, O., Kalashnyk, V. (2018). Yarn tension while knitting textile fabric. Fibres and Textiles, 3, 74–83. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2018/3/VaT\\_2018\\_3\\_12.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2018/3/VaT_2018_3_12.pdf)
3. Shcherban', V., Kolysko, O., Melnyk, G., Sholudko, M., Shcherban', Y., Shchutska, G. (2020). Determining tension of yarns when interacting with guides and operative parts of textile machinery having the torus form. Fibres and Textiles, 4, 87–95. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT\\_2020\\_4\\_12.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_12.pdf)
4. Shcherban', V., Melnyk, G., Sholudko, M., Kolysko, O., Kalashnyk, V. (2019). Improvement of structure and technology of manufacture of multilayer technical fabric. Fibres and Textiles, 2, 54–63. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2019/2/VaT\\_2019\\_2\\_10.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/2/VaT_2019_2_10.pdf)
5. Shcherban', V., Makarenko, J., Melnyk, G., Shcherban', Y., Petko, A., Kirichenko, A. (2019). Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guides. Fibres and Textiles, 4, 59–68. Available at: [http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT\\_2019\\_4\\_8.pdf](http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_8.pdf)
6. Hodovanyuk, V. M., Doktorovych, I. V., Yuryev, G. V., Fodchuk, I. M., Chorok, Ye. O. (2018). Additional errors occurring in illuminators. Herald of Khmelnytskyi national university, 3 (261), 253–257. Available at: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018\\_3/jrn/pdf/43.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_3/jrn/pdf/43.pdf)
7. Tankevych, Ye. M., Yakovlieva, I. V., Varskyi, G. M. (2016). Increasing the Accuracy of Voltage Measuring Channels of Electrical Power Object Control Systems. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu, 1, 79–84. Available at: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/1880/1880/>
8. Stepaniak, M. M., Skalskyi, V. R., Stepaniak, M. V. (2010). Doslidzhennia mozhlyvosti pidvyshchennia tochnosti vymiriuvannia temperatury obertovykh obiektiv. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika», 686, 13–23. Available at: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/34026/1/02.pdf>
9. Yanenko, O. P., Mikhailenko, S. V., Lisnichuk, A. S. (2014). Radiometric modulation measuring device of intensity of optical radiation. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut». Ser.: Radiotekhnika. Radioapara-

- tobuduvannia, 56, 96–101. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_rr\\_2014\\_56\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11)
10. Wu, J., Chen, Y., Gao, S., Li, Y., Wu, Z. (2015). Improved measurement accuracy of spot position on an InGaAs quadrant detector. *Applied Optics*, 54 (27), 8049. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.54.008049>
  11. Hidalgo-López, J. A., Fernández-Ramos, R., Romero-Sánchez, J., Martín-Canales, J. E., Ríos-Gómez, F. J. (2018). Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*, 2018, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>
  12. Orozco, L. (2011). Optimizing Precision Photodiode Sensor Circuit Design. *Analog Devices*. Available at: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/Optimizing-Precision-Photodiode-Sensor-Circuit-Design-MS-2624.pdf>
  13. Zhang, J., Qian, W., Gu, G., Mao, C., Ren, K., Wu, C. et. al. (2019). Improved algorithm for expanding the measurement linear range of a four-quadrant detector. *Applied Optics*, 58 (28), 7741. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.58.007741>
  14. Hobbs, M. J., Tan, C. H. and Willmott, J. R. (2013). Evaluation of phase sensitive Hobbs, M. J., Tan, C. H., Willmott, J. R. (2013). Evaluation of phase sensitive detection method and Si avalanche photodiode for radiation thermometry. *Journal of Instrumentation*, 8 (03), P03016–P03016. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/8/03/p03016>
  15. Petrovska, G., Demkovich, I. (2010). Apparatus for measurement absorption of the thin-film coatings by the photothermal method. *Electrical Engineering*, 61, 128–134. Available at: [http://elit.lnu.edu.ua/pdf/61\\_17.pdf](http://elit.lnu.edu.ua/pdf/61_17.pdf)
  16. Riazimehr, S., Kataria, S., Bornemann, R., Haring Bolívar, P., Ruiz, F. J. G., Engström, O. et. al. (2017). High Photocurrent in Gated Graphene–Silicon Hybrid Photodiodes. *ACS Photonics*, 4 (6), 1506–1514. doi: <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.7b00285>
  17. Lewis, G., Merken, P., Vandewal, M. (2018). Enhanced Accuracy of CMOS Smart Temperature Sensors by Nonlinear Curvature Correction. *Sensors*, 18 (12), 4087. doi: <https://doi.org/10.3390/s18124087>
  18. Qin, J., Cui, S., Dai, J. (2020). Noise Analysis and Compensation Strategy of Photoelectric Detection Circuit. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601, 022047. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/2/022047>
  19. Chen, C.-C., Chen, C.-L., Lin, Y. (2016). All-Digital Time-Domain CMOS Smart Temperature Sensor with On-Chip Linearity Enhancement. *Sensors*, 16 (2), 176. doi: <https://doi.org/10.3390/s16020176>
  20. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban', Y., Shchut'ska, G. (2020). Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (108)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>
  21. Shcherban, V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban', Y., Shchut'ska, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (98)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>
  22. Soboleva, N. A., Melamid, A. E. (1974). *Fotoelektronnye pribory*. Moscow: «Vysshaya shkola», 376. Available at: <https://lib.convdocs.org/docs/index-20291.html>
  23. Kondratov, V. T. (2010). Metody izbytochnykh izmereniy: osnovnyye opredeleniya i klassifikatsiya. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 3, 220–232. Available at: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010\\_3/47kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf)
  24. Kondratov, V. T. (2015). The theory redundant and super-redundant measurements: super-redundant measurements of resistance of resistors and resistive sensors. *The message 1. Vymiryvalna ta obchyslyvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, 4, 7–22. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott\\_2015\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vott_2015_4_3)
  25. Kondratov, V. T. (2009). Teoriya izbytochnykh izmereniy: universal'noe uravnenie izmereniy. *Visnik Hmel'nyts'kogo natsional'nogo universytetu. Tekhnichni nauky*, 5, 116–129. Available at: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2009\\_5/zmist.files/23kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2009_5/zmist.files/23kon.pdf)

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227001**  
**DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF A PHOTOPLETHYSMOGRAPHIC SIGNAL UNDER PSYCHOEMOTIONAL STRESS (p. 36–45)**

**Evhenia Yavorska**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,  
 Ternopil, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6341-1710>

**Oksana Strembitska**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,  
 Ternopil, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2200-071X>

**Michael Strembitskyi**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,  
 Ternopil, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5713-1672>

**Iryna Pankiv**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University,  
 Ternopil, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6210-3556>

A simulation model of a photoplethysmographic signal under psychoemotional stress taking into account the nature of signals of biological origin and stress response stages was developed. The method of constructing the simulation model is based on reconstructing the waveform and coding points of the signal taking into account the stress response curve using harmonic functions at characteristic time intervals. Using the simulation model of the photoplethysmographic signal under psychoemotional stress with previously known parameters allows validation of methods and algorithms for processing such data. It was found that in the process of simulation, it is necessary to take into account the signal frequency, random component and stress response curve. This complicates the simulation algorithm. However, using the simulation model with variable input parameters allows reproducing the signal with an emphasis on stress response stages. One of the features of the proposed model is the ability to reproduce the signal by coding points for amplitude and time intervals using harmonic functions. The relative error for the amplitude variation of the model and experimental data is 3.97 %, and for the period – 3.41 %. Calculation of Student's t-test showed a statistically insignificant difference:  $p=0.296$  for the amplitude and  $p=0.275$  for the period. This indicates that the simulation model takes into account the signal characteristics under stress: frequency, random component and stress response curve. Using the proposed simulation model is an adequate way to assess methods and algorithms for analyzing the state of the cardiovascular system under psychoemotional stress.

**Keywords:** harmonic function, simulation model, periodic signal, psychoemotional stress, photoplethysmographic signal.

## References

- Burgonskiy, V., Burgonskaya, S. (2014). Changes in stress as a prerequisite for psychosomatic disorders dental patients. *Sovremennaya stomatologiya*, 4, 13–20.
- Dem'yanenko, C. A., Avdonina, L. I., Boyko, V. V. (2004). Kardio-monitoring pri razlichenii boyazni i straha i prinyatii resheniya o premedikatsii na stomatologicheskom prieme. *Institut stomatologii*, 3 (24), 8–12. Available at: <https://instom.spb.ru/catalog/article/8594/?view=pdf>
- Demyanenko, S. A. (2014). Psycho-emotional stress of hypertensive reaction to dental reception. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 3-4, 53–56. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihoemotionalnoe-napryazhenie-v-razviti-gipertenzivnyh-reaktsiy-na-stomatologicheskom-prieme/viewer>
- Vagner, V. D., Nimaev, B. Ts. (2005). Kontseptual'nye osnovy dal'neyshego razvitiya obschey (semeynoy) praktiki v stomatologii. *Institut stomatologii*, 4, 20–21. Available at: <https://instom.spb.ru/catalog/article/8762/?view=pdf>
- Mintser, O. P. (Ed.) (2011). Suchasni metody i zasoby dlia vyznachennia i diahnostuvannia emotsiynoho stresu. *Vinnytsia: VNTU*, 228. Available at: [http://dspace.wunu.edu.ua/jspui/bitstream/316497/2138/1/Monografiya\\_Syergyeveva.pdf](http://dspace.wunu.edu.ua/jspui/bitstream/316497/2138/1/Monografiya_Syergyeveva.pdf)
- Moraes, J., Rocha, M., Vasconcelos, G., Vasconcelos Filho, J., de Albuquerque, V., Alexandria, A. (2018). Advances in Photoplethysmography Signal Analysis for Biomedical Applications. *Sensors*, 18 (6), 1894. doi: <https://doi.org/10.3390/s18061894>
- Tkachenko, P. I., Lokmatova, N. M., Byelokon, S. A., Dobroskok, V. A. (2017). The intensity of emotional tension in children with cleft palate in response to situational stress. *Ukrainskiy stomatolohichnyi almanakh*, 1, 75–78. Available at: [http://elib.umsa.edu.ua/jspui/bitstream/umsa/10292/1/Vyrazhenist\\_psykhoemotsiynoho\\_napruzhenia.pdf](http://elib.umsa.edu.ua/jspui/bitstream/umsa/10292/1/Vyrazhenist_psykhoemotsiynoho_napruzhenia.pdf)
- Moshkevich, V. S. (1970). *Fotopletizmografiya (Apparatura i metody issledovaniya)*. Moscow: Meditsina, 208. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1537026>
- Akulov, V. A. (2006). Model' pul'sovoy volny i ee realizatsiya v srede Excel. *Proceedings of the Third All-Russian Scientific Conference. P. 4, Matem. Mod. Kraev. Zadachi. Samara*, 13–16. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/7fb61787446959c52d59306ab30d ee10/mmkz693.pdf>
- Samkov, C. B., Chernenko, A. I. (2006). Svershshirokopolosnyy radar dlya izmereniya parametrov serdechno-sosudistoy sistemy cheloveka pri fizicheskikh nagruzkah. *II Vseros. nauchnaya konf.-seminar. Murom*, 475–479.
- Gnilitskiy, V. V., Muzhitska, N. V. (2010). Refinement of the harmonic model of pulse wave for the express-diagnosis of pulsogram. *Visnyk ZhDTU. Seriya "Tekhnichni nauky"*, 4 (55), 28–38.
- Wu, H.-T., Wu, H.-K., Wang, C.-L., Yang, Y.-L., Wu, W.-H., Tsai, T. H., Chang, H.-H. (2016). Modeling the Pulse Signal by Wave-Shape Function and Analyzing by Synchronizing Transform. *PLOS ONE*, 11 (6), e0157135. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157135>
- Hvostivska, L. V., Oksukhivska, H. M., Hvostivskyy, M. O., Shadrina, H. M. (2019). Imitation Modeling of the Daily Pulse Signal for Long-Term Monitoring Systems. *Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia*, 77, 66–73. doi: <https://doi.org/10.20535/radap.2019.77.66-73>
- Trigranyan, R. A. (1988). *Stress i ego znachenie dlya organizma*. Moscow: Nauka, 175.
- Kokun, O. M., Ahaiev, N. A., Pishko, I. O., Lozinska, N. S. (2015). *Osnovy psikhologichnoi dopomohy viyskovosluzhbovtciam v umovakh boiovykh diy*. Kyiv: NDTs HP ZSU, 170. Available at: [https://lib.iitta.gov.ua/11222/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA\\_2015.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/11222/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_2015.pdf)
- Wawrzyniak, A. J., Dilsizian, V., Krantz, D. S., Harris, K. M., Smith, M. F., Shankovich, A. et. al. (2015). High Concordance Between Mental Stress-Induced and Adenosine-Induced Myocardial Ischemia Assessed Using SPECT in Heart Failure Patients: Hemodynamic and Biomarker Correlates. *Journal of Nuclear Medicine*, 56 (10), 1527–1533. doi: <https://doi.org/10.2967/jnumed.115.157990>
- Shevchenko, V. V., Osadchiiy, A. V., Esipenko, E. S. (2012). Spособ vydeleniya informativnyh parametrov fotopletizmosignala dlya opredeleniya sistemnyh reaktsiy na MLT. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*, 5. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/12640>
- Hvostivska, L. V. (2016). The human vascular pulse signal imitation model. *Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, 2, 94–100. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2016\\_2\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2016_2_18)
- Teng, Y., Ge, L., Chou, Y. (2018). A Novel Abnormal Segments Detection Method for Photoplethysmography Signal. *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*. doi: <https://doi.org/10.23919/chicc.2018.8483815>
- Takazawa, K., Tanaka, N., Fujita, M., Matsuoka, O., Saiki, T., Aikawa, M. et. al. (1998). Assessment of Vasoactive Agents and Vascular Aging by the Second Derivative of Photoplethysmogram Waveform. *Hypertension*, 32 (2), 365–370. doi: <https://doi.org/10.1161/01.hyp.32.2.365>
- Askarian, B., Jung, K., Chong, J. W. (2019). Monitoring of Heart Rate from Photoplethysmographic Signals Using a Samsung Galaxy Note8 in Underwater Environments. *Sensors*, 19 (13), 2846. doi: <https://doi.org/10.3390/s19132846>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230042

**INFORMATION PROCESSING PSYCHODIAGNOSTIC SYSTEM: DESIGNING AND IMPLEMENTATION**  
(p. 45–54)

**Valentine Lazurik**V. N. Karazin Kharkiv National University,  
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8319-0764>**Nicolay Styervoyedov**V. N. Karazin Kharkiv National University,  
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0136-6437>**Natalia Varlamova**V. N. Karazin Kharkiv National University,  
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5117-7293>

The reasons for the creation of a modern psychodiagnostic system are considered. The design and implementation of an information processing system using the structure of the reference model of the Internet of Things is proposed. The existing psychodiagnostic tools and a number of disadvantages are described. In the process of developing the system design, requirements were formed: three-dimensional representation of signals, remote control of the diagnostic process, data collection, transmission and storage on a remote server, processing of results, expert assessment. The main two tasks of the study are formed. The structure of an information processing system

containing four blocks interacting with each other is presented. The principle of operation of the system provides for the transfer of data for testing and saving the results on a cloud server using WiFi or GPRS connection. The Thingspeak cloud service used provides guaranteed access to research data “anytime and from anywhere in the world.” Data exchange occurs every 15 seconds when using the free version and with a cycle of up to 1 second when using the cloud on a commercial basis. The models of LED-cube, LED-ball, LED panels diagnosed using addressable digital RGB LEDs with built-in WS2812B microcontrollers (PRC) have been developed. A method for assessing the influence of various types of load on the functional state of a person is proposed. Scenarios of data processing for the formation of a subject’s profile in the case of unclear classes are considered. The importance of developing such a system lies in the possibility of using various types of communication for data transmission and the ability to adapt it to non-standard research requirements.

**Keywords:** Internet of Things, microcontroller, WiFi module, GSM module, information processing system, psychodiagnostic research, fuzzy sets.

### References

- Balin, V. D., Gayda, V. K., Gerbachevskiy, V. K. et. al. (2003). *Praktikum po obschey, eksperimental'noy i prikladnoy psikhologii*. Sankt-Peterburg: Piter, 560.
- Kalnysh, V. V., Yena, A. I. (2001). *Pryntsyipy profesiynoho psikhofiziologichnogo vidboru*. *Hihiena pratsi*, 32, 131–144.
- Hussein, A. H. (2019). Internet of Things (IOT): Research Challenges and Future Applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (6). doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2019.0100611>
- Wortmann, F., Flüchter, K. (2015). Internet of Things. *Business & Information Systems Engineering*, 57 (3), 221–224. doi: <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>
- Remesh, A., Muralidharan, D., Raj, N., Gopika, J., Binu, P. K. (2020). Intrusion Detection System for IoT Devices. 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC). doi: <https://doi.org/10.1109/icesc48915.2020.9155999>
- Liu, H., Ning, H., Mu, Q., Zheng, Y., Zeng, J., Yang, L. T. et. al. (2019). A review of the smart world. *Future Generation Computer Systems*, 96, 678–691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.09.010>
- Podder, A. K., Bukhari, A. A., Islam, S., Mia, S., Mohammed, M. A., Kumar, N. M. et. al. (2021). IoT based smart agrotech system for verification of Urban farming parameters. *Microprocessors and Microsystems*, 82, 104025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104025>
- Rozhkovskiy, H. V. (2013). Pat. No. 90435 UA. Systema dlia psikhokorektsiyi. No. u201315401; declared: 30.12.2013; published: 26.05.2014, Bul. No. 10. Available at: <https://uapatents.com/12-90435-sistema-dlya-psikhokorekci.html>
- Apparatno-programmnyi psihodiagnosticheskiy kompleks MULTIPSIHOMETR. Nauchno-proizvodstvenniy tsentr «DIP». Available at: <http://www.multipsihometr.ru/izdel/mpm/>
- Karpenko, M. P., Karpenko, D. S., Burdakov, M. V. (2000). Pat. No. 2163731 RU. Abstract of invention. No. 2000120464/28; declared: 04.08.2000; published: 27.02.2001. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/2c/21/35/421ede05b9527a/RU2163731C1.pdf>
- Rozhkovskiy, H. V. (2013). Pat. No. 109206 UA. Systema psikhokorektsiyi. No. a201315398; declared: 30.12.2013; published: 27.07.2015, Bul. No. 14. Available at: <https://uapatents.com/11-109206-sistema-psikhokorekci.html>
- Malhazov, A. R., Harchenko, V. P. (2008). Diagnosticheskiy issledovatel'skiy kompleks dlya provedeniya professional'nogo otbora kadrov IK 01.0. *Vynakhidnyk i ratsionalizator*, 5 (78), 6–11. Available at: <https://vir.uan.ua/archives/2008/2008-5s.pdf>
- Ustroystvo psihofiziologicheskogo testirovaniya UPFT-1/30 «Psihofiziolog». *Meditinskoe oborudovanie dlya diagnostiki, neurofiziologii i reabilitatsii*. Available at: <http://medicom-mtd.com/html/Products/psychophysiolog.html>
- Zlepko, S. M., Pavlov, S. V., Tymchuk, S. V., Navrotska, K. S. (2014). Pat. No. 99286 UA. Avtomatyzovana informatsiyna systema dlia doslidzhennia kohnityvnykh funktsiy liudyny. No. u201413764; declared: 22.12.2014; published: 25.05.2015, Bul. No. 10. Available at: <https://uapatents.com/5-99286-avtomatizovana-informacijna-sistema-dlya-doslidzhennya-kognitivnykh-funkcij-lyudini.html>
- Recommendation Y.4000/Y.2060 (06/12). Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>
- Varlamova, N., Lazurik, V., Styervoyedov, N. (2019). Model and hardware-software implementation of information processing system for psychophysical and psychophysiological researches. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modeling. Information Technology. Automated Control Systems»*, 44, 16–22. doi: <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2019-44-02>
- Lazurik, V. T., Styervoyedov, M. G., Varlamova, N. V. (2020). Information Processing System for Psychophysical Research with Two- and Three-dimensional Presentation of Test Signals. *Control Systems and Computers*, 4 (288), 66–75. doi: <https://doi.org/10.15407/csc.2020.04.066>
- Muthmainnah binti Mohd Noor, N., Afiq Afifi bin Mohd Zafie, M. (2021). Smart Gate Using Android Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 1755 (1), 012003. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1755/1/012003>
- STM32 32-bit ARM Cortex MCUs. Tools & Software. Available at: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>
- Bousselmi, S., Saoud, S., Cherif, A. (2020). Real-Time Implementation of an Optimized Speech Compression System in STM32F4 Discovery Board. *Proceedings of the 8th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT'18)*, 37–48. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-21009-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21009-0_4)
- Marciniak, T., Podbucki, K., Suder, J., Dąbrowski, A. (2020). Analysis of Digital Filtering with the Use of STM32 Family Microcontrollers. *Advanced, Contemporary Control*, 287–295. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50936-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50936-1_25)
- Singh, K., Kumar, R. (2021). Design of a Low-Cost Sensor-Based IOT System for Smart Irrigation. *Applications in Ubiquitous Computing*, 59–79. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35280-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35280-6_4)
- Prayogo, S. S., Mukhlis, Y., Yakti, B. K. (2019). The Use and Performance of MQTT and CoAP as Internet of Things Application Protocol using NodeMCU ESP8266. 2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC). doi: <https://doi.org/10.1109/icic47613.2019.8985850>
- Singh, U., Ansari, M. A. (2019). Smart Home Automation System Using Internet of Things. 2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC). doi: <https://doi.org/10.1109/peeic47157.2019.8976842>
- Liang, Y., Lu, W., Guo, P., Zhou, Z., Zhang, T. (2018). Remote Wi-Fi Smart Switch Based on Cloud Platform. *Proceedings of the International Symposium on Big Data and Artificial Intelligence*. doi: <https://doi.org/10.1145/3305275.3305325>

26. Lita, I., Visan, D. A., Mazare, A. G., Ionescu, L. M., Lita, A. I. (2020). Automation Module for Precision Irrigation Systems. 2020 IEEE 26th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME). doi: <https://doi.org/10.1109/siitme50350.2020.9292300>
27. Munawir, Ihsan, A., Mutia, E. (2019). Wi-Fi and GSM Based Motion Detection in Smart Home Security System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 536, 012143. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/536/1/012143>
28. ThingSpeak. Available at: <https://thingspeak.com/>
29. Viegas, V., Pereira, J. M. D., Girão, P., Postolache, O. (2021). Study of latencies in ThingSpeak. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, 6 (1), 342–348. doi: <https://doi.org/10.25046/aj060139>
30. Penchalaiah, N., Nelson Emmanuel, J., Suraj Kamal, S., Lakshmi Narayana, C. V. (2020). IoT Based Smart Farming Using Thingspeak and MATLAB. ICCCE 2020, 1273–1295. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7961-5\\_117](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7961-5_117)
31. Li, M. (2019). Design of Multi-network Data Acquisition System Based on Cloud Platform. 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS). doi: <https://doi.org/10.1109/icvr.2019.00033>
32. Nguyen-Ly, T. T., Tran, L., Huynh, T. V. (2019). Low-cost, high-efficiency hardware implementation of smart traffic light system. 2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE). doi: <https://doi.org/10.1109/isee2.2019.8921146>
33. Saikivska, L. (2015). Development and use of information technology for evaluating an operator's visual profile functional state. Technology audit and production reserves, 4 (2 (24)), 45–49. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.47914>
34. Chernyavskaya, E. V. (2011). Fuzzy logic to assess schoolchildren professional suitability. Vestnik NGU. Seriya: Pedagogika, 12 (2), 66–71. Available at: <https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/3136/06.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
35. Burilich, I. N., Uvarova, A. G., Filist, S. A. (2006). Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki shizofrenii na osnove nechetkoy logiki prinyatiya resheniy. Vestnik novyh meditsinskih tekhnologiy, 13 (2), 46-49. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizirovannaya-sistema-diagnostiki-shizofrenii-na-osnove-nechetkoy-logiki-prinyatiya-resheniy>
36. D'yakonov, V. P. (2011). MATLAB i SIMULINK dlya radioinzhenerov. Moscow: «DMK-Press», 976.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229237

**NAVIGATION SAFETY CONTROL SYSTEM  
DEVELOPMENT THROUGH NAVIGATOR ACTION  
PREDICTION BY DATA MINING MEANS (p. 55–68)**

**Pavlo Nosov**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5067-9766>

**Serhii Zinchenko**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5012-5029>

**Andrii Ben**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9029-3489>

**Yurii Prokopchuk**

Institute of Technical Mechanics of National Academy of Sciences  
of Ukraine, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8544-1838>

**Pavlo Mamenko**

Mediterranean Shipping Company (Cyprus) Ltd.,  
Strovolos, Cyprus  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7358-9299>

**Ihor Popovych**

Kherson State University, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1663-111X>

**Vladyslav Moiseienko**

Adnoc Logistics & Services, Abu Dhabi,  
United Arab Emirates

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1635-3375>

**Dmytro Kruglyk**

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0236-3449>

Taking into account current trends in the development of ergatic maritime transport systems, the factors of the navigator's influence on vessel control processes were determined. Within the framework of the research hypothesis, to improve navigation safety, it is necessary to apply predictive data mining models and automated vessel control.

The paper proposes a diagram of the ergatic vessel control system and a model for identifying the influence of the navigator "human factor" during navigation. Within the framework of the model based on the principles of navigator decision trees, prediction by data mining means is applied, taking into account the identifiers of the occurrence of a critical situation. Based on the prediction results, a method for optimal vessel control in critical situations was developed, which is triggered at the nodes of the navigator decision tree, which reduces the likelihood of a critical impact on vessel control.

The proposed approaches were tested in the research laboratory "Development of decision support systems, ergatic and automated vessel control systems". The use of the Navi Trainer 5,000 navigation simulator (Wärtsilä Corporation, Finland) and simulation of the navigation safety control system for critical situations have confirmed its effectiveness. As a result of testing, it was determined that the activation of the system allowed reducing the likelihood of critical situations by 18–54 %. In 11 % of cases, the system switched the vessel control processes to automatic mode and, as a result, reduced the risk of emergencies.

The use of automated data mining tools made it possible to neutralize the negative influence of the "human factor" of the navigator and to reduce the average maneuvering time during vessel navigation to 23 %.

**Keywords:** vessel control, ergatic system, navigation safety, navigator behavior, accident prediction.

**References**

1. Andersson, P., Ivehammar, P. (2016). Cost Benefit Analysis of Dynamic Route Planning at Sea. Transportation Research Procedia, 14, 193–202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.055>
2. Benyon, D. (2006). Information Space. Encyclopedia of Human Computer Interaction, 344–347. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-562-7.ch053>
3. Chen, L., Xu, X., Zhang, P., Zhang, X. (2018). Analysis on Port and Maritime Transport System Researches. Journal of Advanced Transportation, 2018, 1–20. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/6471625>
4. Romero, C., Mejia, M. (Eds.) (2020). Maritime Transportation and Ocean Policies. WMU. doi: <https://doi.org/10.21677/srca201909>



5. Pleskacz, K., Uriasz, J. (2012). Understanding of Navigational Information Systems. *Annual of Navigation*, 19 (1), 121–132. doi: <https://doi.org/10.2478/v10367-012-0010-z>
6. Valdez Banda, O. A., Kujala, P., Hirdaris, S. (2021). Virtual special Issue: Autonomous vessels safety. *Safety Science*, 136, 105144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105144>
7. Pinakpani, P., Polisetty, A., Bhaskar, G., Sunil, H., Mohan, B., Deepthi, D., Sidhireddy, A. (2020). An Algorithmic Approach for Maritime Transportation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11 (2). doi: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110296>
8. Bazaras, D., Palšaitis, R., Petraška, A., Zvaigzne, A. (2017). Criteria System of Emergency Situations Risks Assessment in the Baltic Sea Ports. *Transport and Telecommunication Journal*, 18 (4), 275–281. doi: <https://doi.org/10.1515/ttj-2017-0024>
9. Smolarek, L. (2010). Dimensioning the Navigational Safety in Maritime Transport. *Journal of Konbin*, 14-15 (2010), 271–280. doi: <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0184-6>
10. Hareide, O. S., Ostnes, R. (2017). Scan Pattern for the Maritime Navigator. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11 (1), 39–47. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.11.01.03>
11. Devlin, K. (2006). Situation theory and situation semantics. *Handbook of the History of Logic*, 601–664. doi: [https://doi.org/10.1016/s1874-5857\(06\)80034-8](https://doi.org/10.1016/s1874-5857(06)80034-8)
12. Smirnova, O. (2018). Situation Awareness for Navigation Safety Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12 (2), 383–388. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.12.02.20>
13. Cherniavskiy, V., Popova, H., Sherman, M., Voloshynov, S., Yurzhenko, A. (2020). Mixed reality technologies as a tool to form professional competency of sea transport professionals. *CEUR Workshop Proceedings*, 2740, 217–231. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2740/20200217.pdf>
14. Zhou, X. Y., Liu, Z. J., Wu, Z. L., Wang, F. W. (2019). Quantitative Processing of Situation Awareness for Autonomous Ships Navigation. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 13 (1), 25–31. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.13.01.01>
15. Benz, T. M. (2019). Multi-modal user interfaces in teleoperation. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. doi: <http://dx.doi.org/10.18154/RWTH-2019-03285>
16. Psarros, G. A. (2015). Bayesian Perspective on the Deck Officer's Situation Awareness to Navigation Accidents. *Procedia Manufacturing*, 3, 2341–2348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.381>
17. Popovych, I., Blynova, O., Kuzikova, S., Shcherbak, T., Lappo, V., Bilous, R. (2021). Empirical research of vitality of representatives of parachuting and yoga practice: a comparative analysis. *Journal of Physical Education and Sport*, 21 (1), 218–226. doi: <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01029>
18. Popova, H., Yurzhenko, A. (2019). Competency framework as an instrument to assess professional competency of future seafarers. *CEUR Workshop Proceedings*, 2387, 409–413. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190409.pdf>
19. Popovych, I., Blynova, O., Nosov, P., Zinchenko, S., Kononenko, O. (2021). Psychological factors of competitiveness of the women's youth handball team. *Journal of Physical Education and Sport*, 21 (1), 227–235. doi: <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.01030>
20. Torskiy, V., Topalov, V. P., Chesnokova, M. (2016). Conceptual Grounds of Navigation Safety. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10 (1), 79–82. doi: <https://doi.org/10.12716/1001.10.01.08>
21. Kim, D.-Y., Jo, D.-W., Yi, M.-R., Park, G.-K. (2010). Intelligent Navigation Safety Information System based on Information-Fusion Technology. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 20 (2), 226–233. doi: <https://doi.org/10.5391/jkiis.2010.20.2.226>
22. Gartenberg, D., Breslow, L., McCurry, J. M., Trafton, J. G. (2013). Situation Awareness Recovery. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56 (4), 710–727. doi: <https://doi.org/10.1177/0018720813506223>
23. Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I., Kobets, V., Abramov, G. (2020). Mathematical support of the vessel information and risk control systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 2805, 335–354. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>
24. Nosov, P., Zinchenko, S., Popovych, I. S., Safonov, M., Palamarchuk, I., Blakh, V. (2020). Decision support during the vessel control at the time of negative manifestation of human factor. *CEUR Workshop Proceedings*, 2608, 12–26. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper2.pdf>
25. Solovey, O., Ben, A., Dudchenko, S., Nosov, P. (2020). Development of control model for loading operations on heavy lift vessels based on inverse algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (107)), 48–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214856>
26. Volkov, Y. (2019). A study of decomposition of a group of ships for preliminary forecasting of dangerous approaching. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3 (99)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.165684>
27. Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H. (2020). Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 823–838. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200823.pdf>
28. Prokopcuk, Y. A. (2017). Sketch of the Formal Theory of Creativity. Dnepr: PSACEA Press, 452. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/319331415\\_Sketch\\_of\\_the\\_formal\\_theory\\_of\\_creativity](https://www.researchgate.net/publication/319331415_Sketch_of_the_formal_theory_of_creativity)
29. Marasanov, V., Sharko, A., Sharko, A., Stepanchikov, D. (2019). Modeling of Energy Spectrum of Acoustic-emission Signals in Dynamic Deformation Processes of Medium with Microstructure. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783809>
30. Babichev, S., Sharko, O., Sharko, A., Mikhalyov, O. (2019). Soft Filtering of Acoustic Emission Signals Based on the Complex Use of Huang Transform and Wavelet Analysis. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*, 3–19. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_1)
31. Khrennikov, A. Yu., Nilson, M. (2004). Theory of P-Adic Valued Probability. *P-adic Deterministic and Random Dynamics*, 229–254. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2660-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2660-7_13)
32. Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Wadsworth, Belmont, CA.
33. Babichev, S., Durnyak, B., Sharko, O., Sharko, A. (2020). Technique of Metals Strength Properties Diagnostics Based on the Complex Use of Fuzzy Inference System and Hybrid Neural Network. *Data Stream Mining & Processing*, 114–126. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_7)
34. Popovych, I., Blynova, O., Halian, I., Savchuk, O. (2020). Self-efficacy of future athletes with different levels of psychological safety.

Journal of Physical Education and Sport, 20 (5), 2718–2724. doi: <https://doi.org/10.7752/jpes.2020.05370>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228853**

**MODELING OF A SYSTEM OF QUALITY ASSESSMENT INDICATORS OF MEASURING INSTRUMENTS (p. 69–78)**

**Oleh Velychko**

State Enterprise “All-Ukrainian State Scientific and Production Centre for Standardization, Metrology, Certification and Protection of Consumer” (SE “Ukrmetrteststandard”), Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6564-4144>

**Oleh Hrabovskyi**

State University of Intellectual Technologies and Communications, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7134-3682>

**Tetyana Gordiyenko**

State University of Intellectual Technologies and Communications, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0324-9672>

**Serhii Volkov**

State University of Intellectual Technologies and Communications, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6559-5290>

Modern measuring instruments (MI) are of great importance for providing measurements in all areas of the national economy. Their main purpose is to conduct accurate and reliable measurements in order to obtain complete and reliable measurement information. To perform this important function, MI must be of appropriate quality, which must be reliably assessed.

In the traditional definition, MI is a technical means that is used in measurements and has standardized characteristics. For technical means, there is a traditional system of quality indicators. In addition to these quality indicators, additional specific indicators should be established for MI, which should objectively assess the metrological characteristics.

The expediency of creating and using a special system of quality indicators for all stages of the MI life cycle is proved. Building such a system requires maximum use of quantitative characteristics that express certain quality indicators. Important indicators of this system are a number of MI indicators related to metrological characteristics. For MI, it is also advisable to use a common system of quality indicators for technical facilities.

The proposed multiple models of MI quality indicators and evaluation of MI quality indicators allow studying the influence of MI quality indicators and performing their evaluation at all stages of the MI life cycle. Understanding and managing the system for evaluating MI quality indicators helps to increase efficiency in achieving planned results. For effective implementation of these models, it is necessary to use regulated requirements of some international and regional standards and recommendations.

**Keywords:** quality indicators, measuring instrument, metrological characteristics, metrological reliability, life cycle, multiple model.

**References**

- ISO 9000:2015. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary (2015). ISO, 51.
- Fashkhev, Kh. A. (2015). Innovative mechanisms of providing competitiveness of goods when developing. *Innovatsii*, 3 (197), 77–88.
- Kutuzova, K. Yu. (2015). Ponyatie kachestva produktsii i etapy ego evolyutsii. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya*, 1 (6), 106–111.
- Tsvetkov, V. Y. (2017). Evolution of the quality management. *Educational resources and technology*, 1 (18), 64–71. doi: <https://doi.org/10.21777/2312-5500-2017-1-64-71>
- Lisyutina, A. I. (2020). Product quality: concept and characteristics of quality. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki*, 3, 282–285.
- ISO 9001:2015. Quality management systems. Requirements (2015). ISO, 29.
- ISO 10012:2003. Measurement management systems. Requirements for measurement processes and measuring equipment (2003). ISO, 19.
- ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (2017). ISO/IEC, 30.
- ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM) (2007). ISO/IEC, 92.
- ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (2008). ISO/IEC, 120.
- Sokolovskyi, S. A., Pavlov, S. P., Cherkashyna, M. V., Naumenko, M. O., Hrabovskyi, Ye. M. (2015). *Upravlinnia yakistiu vyrobnytstva ta obluhovuvannia*. Kharkiv: NANHU, 264.
- Biletskyi, E. V., Yanushkevych, D. A., Shaikhislamov, Z. R. (2015). *Upravlinnia yakistiu produktsiyi ta posluh*. Kharkiv: KhTEI, 222.
- Yan, S., Yan, X. (2020). Joint monitoring of multiple quality-related indicators in nonlinear processes based on multi-task learning. *Measurement*, 165, 108158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108158>
- Ravber, M., Mernik, M., Črepinšek, M. (2017). The impact of Quality Indicators on the rating of Multi-objective Evolutionary Algorithms. *Applied Soft Computing*, 55, 265–275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.01.038>
- Skopa, A., Volkov, S., Grabowski, O. (2013). Quality indicators and life cycles of protected information-measuring systems. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 15 (1), 192–198.
- Grabowski, O., Nakonechna, T., Volkov, S. (2012). Quality indicators and life cycles of information-measuring systems. *Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1 (1), 17–23. doi: <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2012-1-1-17-23>
- Velychko, O., Gordiyenko, T., Hrabovskyi, O. (2018). Testing of measurement instrument software on the national level. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 13–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125994>
- Velychko, O., Gaman, V., Gordiyenko, T., Hrabovskyi, O. (2019). Testing of measurement instrument software with the purpose of conformity assessment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (97)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154352>
- Mykyichuk, M. (2013). Alhorytm otsiniuvannia indyvidualnoi metrolohichnoi nadiynosti zasobiv vymiriuvalnoi tekhniky. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiya*, 74, 98–103. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/metrolog\\_2013\\_74\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/metrolog_2013_74_23)
- Mykyichuk, M., Lazarenko, N., Lazarenko, S., Riznyk, A. (2019). Development of system of providing metrological reliability of measuring instruments. *Measuring Equipment and Metrology*, 80 (3), 53–57. doi: <https://doi.org/10.23939/istcm2019.03.053>
- Bondarenko, S., Leus, A. (2017). Evaluation of quality of products at the enterprise. *Efektivna ekonomika*, 4.

22. Sakovich, L. M., Krichovetsky, G. Ya., Nebesna, Ya. E. (2018). Evaluation of metrological reliability of measuring instruments for the duration of maintenance of communication special. *Control, Navigation and Communication Systems*, 2 (48), 164–166. doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.2.164>
23. Vasilevskyi, O., Didych, V. (2018). Estimating inter-verification intervals of measuring devices. *International Scientific-technical journal «Measuring and Computing Devices in Technological Processes»*, 2, 23–29.
24. Yeremenko, V., Mokiychuk, V., Redko, O. (2017). Method for the Determination of Calibration Intervals of Measuring Instruments of the Testing Laboratory, 5-1 (67), 68–77.
25. ILAC-G24/OIML D10:2007. Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. ILAC/OIML, 11.
26. RMG 74-2004. State system ensuring the uniformity of measurements. Methods for determining the intervals of verification and calibration of measuring instruments (2006). Moscow. Available at: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293853/4293853594.htm>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230176**

**SYNTHESIS OF AN OPTIMAL DIGITAL FILTER OF A COMPENSATION RADIOMETER FOR RADIOMETRIC CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (p. 79–86)**

**Nataliia Yeromina**

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0463-2342>

**Serhii Petrov**

Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8933-9649>

**Maksym Volk**

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4229-9904>

**Olena Daki**

Danube Institute of Water Transport, Izmail, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>

**Volodymyr Cherednyk**

State University of Infrastructure and Technology, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2165-5394>

**Iryna Zinchenko**

Military Institute of Telecommunications and Information  
Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6516-9558>

**Ihor Chernykh**

National Defence University of Ukraine Named After Ivan  
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5144-6921>

**Oleksiy Alekseienco**

National Defence University of Ukraine Named After Ivan  
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2707-0514>

**Serhii Mykus**

Institute of the Troops (Forces) Support and Information  
Technologies

National Defence University of Ukraine Named After Ivan  
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7103-4166>

**Volodymyr Furdyk**

National Defence University of Ukraine Named After Ivan  
Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8811-0711>

The expediency of using a compensation radiometer (CR) with periodic absolute calibration as a sensor for preprocessing the information of correlation-extreme navigation systems (CENS) of unmanned aerial vehicles (UAV) was shown. This is determined by the possibility of obtaining and using the estimates of gain fluctuations obtained in previous frames which will provide an increase in the radiometer sensitivity. In addition, due to the accumulation of information, an increase in accuracy of measurement of the elements of the current image formed by the CENS will be provided.

The algorithm of processing the obtained calibration estimates during linear processing corresponds to a certain digital filter (DF). By defining a set of the DF weight coefficients, it is possible to improve the CR fluctuation sensitivity by reducing the gain fluctuations. Up to 1.8-time gain in sensitivity can be reached for typical frequency and time parameters of the compensation radiometer of UAV CENS.

The problem of synthesis of a digital filter was set. A solution to the problem of synthesizing an optimal digital filter was proposed. Its use in a CR will improve the fluctuation sensitivity. In its turn, this will make it possible to improve the quality of a current image generated by the system when siting by means of sighting surfaces with low-contrast objects taking into account fluctuations in radio-brightness temperature.

It was found that the gain in sensitivity when using the optimal digital filter increases with an increase in the operating period of the radiometer and an increase in the digital filter order.

Improvement of fluctuation sensitivity of the CENS data preprocessing system is important for UAV location in low-contrast areas.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, correlation-extreme navigation systems, digital filter, weight coefficients.

## References

1. Sotnikov, O., Kartashov, V. G., Tymochko, O., Sergiyenko, O., Tyrsa, V., Mercorelli, P., Flores-Fuentes, W. (2019). Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. *Machine Vision and Navigation*, 537–577. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2_16)
2. Sotnikov, A., Tarshyn, V., Yeromina, N., Petrov, S., Antonenko, N. (2017). A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (87)), 68–74. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101920>
3. Fursov, V. A., Bibikov, S. A., Yakimov, P. Yu. (2013). Localization of objects contours with different scales in images using Hough transform. *Computer Optics*, 37 (4), 496–502. doi: <https://doi.org/10.18287/0134-2452-2013-37-4-496-502>
4. Potapov, A. A. (2013). Fractal paradigm and fractal-scaling methods in fundamentally new dynamic fractal signal detectors. 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves. doi: <https://doi.org/10.1109/msmw.2013.6622151>
5. Vasilyeva, I. K., Popov, A. V. (2017). Selection of recognition objects' outer contours on multichannel images. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 2 (82), 17–23.

6. Gnilitkii, V. V., Insarov, V. V., Chernyavskii, A. S. (2010). Decision making algorithms in the problem of object selection in images of ground scenes. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 49 (6), 972–980. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064230710060158>
7. Mukhina, M. P., Seden, I. V. (2014). Analysis of modern correlation extreme navigation systems. *Electronics and Control Systems*, 1 (39). doi: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.39.7343>
8. Muñoz, X., Freixenet, J., Cufí, X., Martí, J. (2003). Strategies for image segmentation combining region and boundary information. *Pattern Recognition Letters*, 24 (1-3), 375–392. doi: [https://doi.org/10.1016/s0167-8655\(02\)00262-3](https://doi.org/10.1016/s0167-8655(02)00262-3)
9. Acevo-Herrera, R., Aguasca, A., Bosch-Lluis, X., Camps, A., Martínez-Fernández, J., Sánchez-Martín, N., Pérez-Gutiérrez, C. (2010). Design and First Results of an UAV-Borne L-Band Radiometer for Multiple Monitoring Purposes. *Remote Sensing*, 2 (7), 1662–1679. doi: <https://doi.org/10.3390/rs2071662>
10. Hruska, R., Mitchell, J., Anderson, M., Glenn, N. F. (2012). Radiometric and Geometric Analysis of Hyperspectral Imagery Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle. *Remote Sensing*, 4 (9), 2736–2752. doi: <https://doi.org/10.3390/rs4092736>
11. Tarshyn, V. A., Sotnikov, A. M., Sydorenko, R. G., Megelbey, V. V. (2015). Preparation of reference patterns for high-fidelity correlation-extreme navigation systems on basis of forming of paul fractal dimensions. *Systems of Arms and Military Equipment*, 2 (42), 142–144.
12. Tarshyn, V. A., Sotnykov, A. M., Sydorenko, R. H. (2015). Preparation of reference patterns for high-fidelity cross-correlation-extreme systems of navigation on basis of the use direct cross-correlation analysis. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, 2 (19), 69–73.
13. Tarshyn, V. A., Sotnykov, A. M., Sydorenko, R. H. (2014). There are formation principles of complex images reference for precision correlation-extreme navigation systems. *Information Processing Systems*, 6 (122), 86–89.
14. Fernandes, L. A. E., Oliveira, M. M. (2008). Real-time line detection through an improved Hough transform voting scheme. *Pattern Recognition*, 41 (1), 299–314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2007.04.003>
15. Yeromina, N., Petrov, S., Tantsiura, A., Iasechko, M., Larin, V. (2018). Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (94)), 27–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139723>
16. Minenko, D. E., Abdirasul, U. T., Ubaychin, A. V. (2018). Effektivnost' primeneniya mikrovolnovykh radiometrov razlichnykh tipov v sostave bortovykh issledovatel'skikh sistem malogabaritnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov. *Sbornik izbrannykh statey nauchnoy sessii TUSUR*, 1-1, 35–40. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36415317>
17. Pavlykov, V. V. (2013). Improvement of primary radiometric images quality in scanning radiometers of compensation type. *Information Processing Systems*, 4 (111), 27–32.
18. Zhila, S. S. (2014). Optimal'niy algoritm obrabotki signalov v SVCh radiometre s nestabil'nym koeffitsientom usileniya priemnika. *Radiotekhnika*, 177, 77–85.
19. Hersman, M. S., Poe, G. A. (1981). Sensitivity of the Total Power Radiometer with Periodic Absolute Calibration. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 29 (1), 32–40. doi: <https://doi.org/10.1109/tmmt.1981.1130283>
20. Gol'denberg, L. M., Levchuk, Yu. P., Polyak, M. N. (1974). *Tsifrovye fil'try*. Moscow: Svyaz', 160.
21. Gol'denberg, L. I., Matyushkin, B. D., Polyak, M. N. (1985). *Tsifrovaya obrabotka signalov*. Moscow: Radio i svyaz', 312.
22. Vereshkin, A. E., Katkovnik, V. Ya. (1973). *Lineynye tsifrovye fil'try i metody ih realizatsii*. Moscow: Sovetskoe radio, 152.
23. Hurgin, Ya. I., Yakovlev, V. P. (1962). *Metody teorii tselykh funktsiy v radiofizike, teorii svyazi i optike*. Moscow: GIFML, 220.
24. Gradshcheyn, I. S., Ryzhik, I. M. (1962). *Tablitsy integralov, summ, ryadov i proizvedeniy*. Moscow: GIFML, 1100.
25. Alekseev, V. M., Tihomirov, V. M., Fomin, S. V. (1979). *Optimal'noe upravlenie*. Moscow: Nauka, 432.

АНОТАЦІЇ  
INFORMATION AND CONTROLLING SYSTEM

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229221**

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ДОПЛЕРА ПАЧКИ З ВРАХУВАННЯМ ФЛУКТУАЦІЙ ПОЧАТКОВИХ ФАЗ ЇЇ РАДІОІМПУЛЬСІВ (с. 6–15)**

**С. П. Євсєєв, О. Л. Кузнєцов, С. В. Герасимов, С. А. Горєлишев, А. Д. Карлов, І. І. Ковальов, О. В. Коломійцев, О. В. Лукашук, О. В. Мілов, В. Ю. Панченко**

Обґрунтовано необхідність оцінювання ступеня зниження точності вимірювання інформативних параметрів радіолокаційного сигналу в реальних умовах його поширення та відбиття. Результати оцінювання дозволять визначити вимоги для оптимізації такого вимірювання для забезпечення необхідної ефективності. Викладено чисельний аналіз зниження точності вимірювання частоти Доплера когерентної пачки залежно від статистичних характеристик флукутацій початкових фаз її радіоімпульсів. Наведено вирази для розрахунку флукутаційної складової похибки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів для різних коефіцієнтів міжімпульсної кореляції фазових флукутацій. Проведено оцінювання можливості підвищення точності вимірювання частоти Доплера, що може бути забезпечено шляхом статистичної оптимізації алгоритму часо-частотної обробки даного радіолокаційного сигналу за рахунок врахування його фазових флукутацій. Обґрунтовано умови мультиплікативного впливу фазових флукутацій радіоімпульсів прийнятої пачки, які визначають ефективність оптимізації вимірювання її частоти Доплера.

За результатами дослідження запропоновано метод оптимізації вимірювання частоти Доплера пачки з врахуванням флукутацій початкових фаз її радіоімпульсів. Оцінено точність вимірювання частоти Доплера за наявності впливу як внутрішнього шуму приймального пристрою радіолокатора так й корельованих фазових флукутацій її радіоімпульсів. Оцінено ефективність оптимізації вимірювання частоти Доплера пачки з врахуванням флукутацій початкових фаз її радіоімпульсів шляхом комп'ютерного моделювання. Доведено, що при впливі фазових флукутацій підвищення точності вимірювання частоти Доплера за рахунок проведеної оптимізації може складати від 1.86 до 6.29 разів. Це відкриває шлях до удосконалення існуючих алгоритмів вимірювання вищих похідних дальності за часом для підвищення якості супроводження складних аеродинамічних об'єктів, що маневрують. Цим зумовлена важливість та корисність роботи для теорії радіолокації.

**Ключові слова:** аеродинамічний об'єкт, когерентна пачка радіоімпульсів, радіолокатор, середньоквадратична похибка, частота Доплера.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228133**

**РОЗРОБКА КОМПЕНСАТОРУ ПРЯМОГО ПРОНИКАЮЧОГО СИГНАЛУ В КАНАЛІ РОЗНЕСЕНОГО ПРИЙОМУ ОГЛЯДОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ (с. 16–26)**

**Г. В. Худов, С. П. Ярош, О. М. Дробан, О. О. Лаврут, Ю. С. Гулак, І. М. Порохня, С. В. Яровий, О. В. Рогуля, І. Ю. Юзова, Р. Г. Худов**

Розроблена загальна побудова компенсатору прямого проникаючого сигналу в каналі рознесеного прийому. В якості допоміжної антени та допоміжного каналу доцільно використовувати антену та приймач додаткового каналу рознесеного прийому. Для забезпечення можливості придушувати проникаючий сигнал в смузі приймального пристрою оглядової РЛС відстань між антенами повинна бути до 6 м. В загальному вигляді компенсатор проникаючого сигналу повинен містити суматор, в якому сигнал, що прийнятий основним каналом, складається із сигналом, що прийнятий допоміжним каналом і пропущений через підсилювач з відповідним комплексним коефіцієнтом передачі. Особливістю компенсатору прямого проникаючого сигналу є обов'язкова умова регулювання значення комплексного коефіцієнту передачі підсилювача сигналу допоміжного каналу.

Компенсатор прямого проникаючого сигналу є цифровим з використанням прямого методу формування вагових коефіцієнтів без використання зворотного зв'язку. Для зменшення часу формування вагових коефіцієнтів при використанні прямих методів обчислення кореляційної матриці використовується технологія паралельних обчислювальних процесів.

Проведено оцінювання якості роботи системи придушення прямого проникаючого сигналу в каналі рознесеного прийому. Встановлено, що без застосування придушення прямого проникаючого сигналу його потужний відгук на виході узгодженого фільтру маскує слабкий ехо-сигнал. При застосуванні в основному каналі компенсатора прямого проникаючого сигналу його відгук на виході узгодженого фільтру значно зменшується. Це дає можливість спостерігати слабкі ехо-сигнали на фоні потужного проникаючого сигналу. Використання розробленого компенсатору прямого проникаючого сигналу забезпечує придушення прямого проникаючого сигналу від 57 дБ до 70 дБ.

**Ключові слова:** повітряний об'єкт, придушення, прямий проникаючий сигнал, стороннє джерело випромінювання, радіолокаційна станція.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227984**

**КОМП'ЮТЕРНІ КОМПОНЕНТИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЛОГАРИФМІЧНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПО РОЗШИРЕННЮ ДІАПАЗОНУ ВИСОКОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ (с. 27–36)**

**В. Ю. Щербань, Г. О. Корогод, О. З. Колиско, М. І. Колиско, Ю. Ю. Щербань, Г. В. Щуцька**

Проведеними дослідженнями впливу нормованих за значеннями потоків випромінювання на результат вимірювання було виявлено найбільш впливовий. Доведено, що більший вплив на відносну похибку вимірювання справляє величина нормованого потоку

$\Phi_0$  ніж  $\Delta\Phi_0$ . Завдяки цьому стає можливим дослідити співвідношення між контрольованим  $\Phi_x$  та нормованим потоком  $\Phi_0$ . Експериментальними дослідженнями підтверджено, що за рахунок збільшення в тричі нормованого за значенням потоку  $\Phi_0$  відносно контрольованого потоку  $\Phi_x$ , стає можливим підвищити точність вимірювання в широкому діапазоні. Зокрема встановлено, що при значенні потоку  $\Phi_0=1,06 \cdot 10^{-3}$  Вт стає можливим вимірювання з відносною похибкою, що складає тисячні відсотка, контрольований потік в ширшому діапазоні  $\Phi_x=(0,16 \cdot 10^{-3}+0,97 \cdot 10^{-3})$  Вт. Показано вплив похибки відтворення на результат вимірювання при умові збільшення в тричі нормованого за значенням потоку  $\Phi_0$  відносно контрольованого потоку  $\Phi_x$ . Встановлено, що збільшення похибки відтворення нормованих потоків випромінювання на 1 порядок призводить до звуження діапазону, в якому значення відносною похибки прямує до нуля. Показано, що при відсутності збільшення в тричі нормованого потоку  $\Phi_0$ , збільшення похибки відтворення нормованих потоків на 1 порядок призводить до поодиноких випадків зменшення відносною похибки до величин малого порядку. Останнє, до речі, стосується випадків, коли виконується умова співвідношення між нормованим потоком  $\Phi_0$  і контрольованим  $\Phi_x$ , як 3 до 1. Показано, що похибка відтворення темного потоку не чинить вплив на результат вимірювання.

Таким чином, є підстави стверджувати про можливість розширення діапазону вимірювання, при якому значення відносною похибки складає тисячні відсотка, навіть за 1 цикл вимірювання.

**Ключові слова:** надлишкові методи, рівняння вимірювань, підвищення точності, нормовані за значенням величини, похибки відтворення величин.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227001**

### **РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ПРИ ПСИХОЕМОЦІЙНОМУ СТРЕСІ (с. 36–45)**

**Є. Б. Яворська, О. І. Стрембіцька, М. О. Стрембіцький, І. М. Паньків**

Розроблено імітаційну модель фотоплетизмографічного сигналу при психоемоційному стресі із врахуванням природи сигналів біологічного походження та стадій перебігу стрес-реакції. Основою методу побудови імітаційної моделі є відтворення форми та кодуєючих точок сигналу із врахуванням кривої перебігу стрес-реакції шляхом використання гармонічних функцій на характерних часових інтервалах. Застосування імітаційної моделі фотоплетизмографічного сигналу при психоемоційному стресі із наперед відомими параметрами дає змогу здійснювати валідацію методів та алгоритмів опрацювання таких даних. Встановлено, що в процесі імітаційного моделювання потрібно враховувати періодичність сигналу, наявність випадкової складової та криву перебігу стрес-реакції при психоемоційному стресі. Це призводить до ускладнення алгоритму моделювання сигналу. Проте використання імітаційної моделі із змінними вхідними параметрами, дозволяє відтворювати сигнал із акцентом на етапи перебігу стрес-реакції. Однією із особливостей запропонованої імітаційної моделі є можливість відтворення сигналу за кодуєючими точками по амплітуді та часових інтервалах із використанням гармонічних функцій. Відносна похибка для розкиду амплітуди такої моделі та експериментальних даних складає 3,97 %, а для періоду – 3,41 %. Розрахунок t-критерію Стьюдента показав, що різниця є статистично незначущою:  $p=0,296$  – для амплітуди та  $p=0,275$  – для періоду. Це свідчить, що імітаційна модель враховує основні характеристики фотоплетизмографічного сигналу при психоемоційному стресі: періодичність, випадкову складову та криву перебігу стрес-реакції. Використання запропонованої імітаційної моделі є адекватним способом оцінки методів та алгоритмів аналізу стану серцево-судинної системи при психоемоційному стресі.

**Ключові слова:** гармонічна функція, імітаційна модель, періодичний сигнал, психоемоційний стрес, фотоплетизмографічний сигнал.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230042**

### **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ПСИХОДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ (с. 45–54)**

**В. Т. Лазурик, М. Г. Стервоєдов, Н. В. Варламова**

Розглянуті причини створення сучасної психодіагностичної системи. Запропоновано проектування і реалізація інформаційно-вимірювальної системи, використовуючи структуру еталонної моделі Інтернету речей. Описано існуючі психодіагностичні засоби та ряд їх недоліків. В процесі розробки проекту системи були сформовані вимоги: тривимірне представлення сигналів, віддалене керування процесом діагностування, збір даних, їх передача та збереження на віддаленому сервері, обробка результатів, експертна оцінка. Сформовані основні дві задачі дослідження. Представлена структура інформаційно-вимірювальної системи, що містить чотири блоки, які взаємодіють між собою. Принцип роботи системи передбачає передачу даних для проведення тестування та збереження результатів на хмарному сервері за допомогою WiFi або GPRS-з'єднання. Хмарний сервіс Thingspeak, що використовується, забезпечує гарантований доступ до даних дослідження «в будь-який час і з будь-якої точки світу». Обмін даними відбувається кожні 15 секунд при використанні безкоштовної версії і з циклом до 1 с при користуванні хмарою на комерційній основі. Розроблено макети діагностуючих пристроїв у вигляді LED-кубу, LED-кулі, світлодіодних панелей із використанням адресних цифрових RGB світлодіодів з вбудованими мікроконтролерами WS2812B (KHP). Запропоновано метод оцінки впливу різного типу навантаження на функціональний стан людини. Розглянуто сценарії обробки даних для формування профілю випробуваного у разі нечіткості класів. Важливість розробки такої системи полягає у можливості її використання різних типів зв'язку для передачі даних та здатності її адаптування до нестандартних вимог досліджень.

**Ключові слова:** інтернет речей, мікроконтролер, інформаційно-вимірювальна система, психодіагностичні дослідження, нечіткі множини.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229237

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ СУДНОВОДІННЯ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУ ДІЙ НАВІГАТОРА ЗАСОБАМИ DATA MINING (с. 55–68)**

П. С. Носов, С. М. Зінченко, А. П. Бень, Ю. О. Прокопчук, П. П. Маменко, І. С. Попович, В. С. Мойсеєнко, Д. Г. Круглий

Враховуючи сучасні тенденції розвитку ергатичних систем морського транспорту було визначено фактори впливу навігатора на процеси управління судном. В рамках гіпотези дослідження для підвищення безпеки судноводіння необхідно застосувати прогностичні моделі Data mining та автоматизацію управління рухом судна.

Запропоновано схему ергатичної системи управління судном та модель ідентифікації впливу «людського фактору» навігатора під час судноводіння. У рамках моделі, що побудована на принципах дерев прийняття рішень навігатором, застосовано прогноз засобами Data mining з урахуванням ідентифікаторів виникнення критичної ситуації. За результатами прогнозу розроблено метод оптимального керування рухом судна у критичних ситуаціях що спрацьовує на вузлах дерева прийняття рішень навігатором та знижує імовірність критичного впливу на управління судном.

Запропоновані підходи було апробовано у науково-дослідній лабораторії «Розробки систем підтримки прийняття рішень, ергатичних та автоматизованих систем управління рухом судна». Застосовування тренажеру Navi Trainer 5000 navigation simulator (Wärtsilä Corporation, Фінляндія) та імітаційне моделювання роботи системи управління безпекою судноводіння у критичних ситуаціях дозволила підтвердити її результативність. В результаті апробації було визначено, що активізація системи дозволила зменшити імовірність виникнення критичних ситуацій на 18–54 %. У 11 % випадків система переводила процеси керування рухом судна в автоматичний режим та, як наслідок, знизити рівень ризику виникнення аварійних ситуацій.

Використання автоматизованих засобів Data mining дозволило нівелювати негативний прояв «людського фактору» навігатора та зменшити середній час на виконання маневрів при куруванні судном до 23 %.

**Ключові слова:** управління судном, ергатична система, безпека мореплавства, поведінка навігатора, прогнозування аварій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228853

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ (с. 69–78)**

О. М. Величко, О. В. Грабовський, Т. Б. Гордієнко, С. Л. Волков

Сучасні засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) мають велике значення для забезпечення вимірюваннями всіх сфер національної економіки. Основним їх призначенням є проведення точних і достовірних вимірювань з метою отримання повної та достовірної вимірювальної інформації. Для виконання цієї важливої функції ЗВТ повинні бути належної якості, яка повинна бути достовірно оцінена.

У традиційному визначенні ЗВТ є технічним засобом, який застосовується під час вимірювань і має нормовані характеристики. Для технічних засобів існує традиційна система показників якості. Окрім цих показників якості для ЗВТ мають бути встановлені додаткові специфічні показники, які повинні об'єктивно оцінювати метрологічні характеристики.

Доведена доцільність створення і використання спеціальної системи показників якості для всіх стадій життєвого циклу (ЖЦ) ЗВТ. Для побудови такої системи необхідне максимальне застосування кількісних характеристик, що виражають ті чи інші показники якості. Важливими показниками цієї системи є низка показників ЗВТ, пов'язана з метрологічними характеристиками. Для ЗВТ доцільне також одночасне використання загальної системи показників якості для технічних об'єктів.

Запропоновані множинні моделі показників якості ЗВТ і оцінювання показників якості ЗВТ дозволяють здійснювати дослідження впливовості показників якості ЗВТ і виконувати їх оцінювання на всіх стадіях ЖЦ ЗВТ. Розуміння і управління системою оцінювання показників якості ЗВТ сприяє підвищенню ефективності у досягненні запланованих результатів. Для ефективної реалізації цих моделей необхідно використовувати регламентовані вимоги деяких міжнародних і регіональних стандартів та рекомендацій.

**Ключові слова:** показники якості, засіб вимірювальної техніки, метрологічна характеристика, метрологічна надійність, життєвий цикл, множинна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230176

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ФІЛЬТРУ КОМПЕНСАЦІЙНОГО РАДІОМЕТРА ДЛЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (с. 79–86)**

Н. С. Єрьоміна, С. В. Петров, М. О. Волк, О. А. Дакі, В. М. Чередник, І. А. Зінченко, І. В. Черних, О. В. Алексеєнко, С. А. Микусь, В. Д. Фурдик

Показана доцільність застосування компенсаційного радіометра з періодичним абсолютним калібруванням в якості датчика первинної обробки інформації кореляційно-екстремальних систем навігації (КЕСН) безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Це обумовлено можливістю одержання та використання оцінок флуктуацій коефіцієнта підсилення, отриманих на попередніх кадрах, що забезпечить підвищення чутливості радіометра. Крім того, за рахунок накопичення інформації буде забезпечено підвищення точності вимірювання елементів поточного зображення, що формується КЕСН.

Алгоритм обробки отриманих калібрувальних оцінок при лінійній обробці відповідає деякому цифрового фільтру (ЦФ). Шляхом визначення набору вагових коефіцієнтів цифрового фільтру можна за рахунок зменшення флуктуацій коефіцієнта посилення забезпечити підвищення флуктуаційної чутливості компенсаційного радіометра. Для типових частотних та часових параметрів компенсаційного радіометра КЕСН БПЛА величина виграшу в чутливості може досягати до 1,8 разів.

Здійснено постановку задачі синтезу цифрового фільтру. Запропоновано рішення задачі синтезу оптимального цифрового фільтру, застосування якого в компенсаційному радіометрі забезпечить підвищення флуктуаційної чутливості. Це, в свою чергу, дасть можливість підвищити якість поточного зображення, що формується системою при прив'язці з використанням поверхонь візування зі слабоконтрастними об'єктами з урахуванням флуктуацій радіоскравісної температури.

Встановлено, що виграш в чутливості при використанні оптимального цифрового фільтру зростає зі збільшенням періоду роботи радіометра і збільшенням порядку цифрового фільтра.

Підвищення флуктуаційної чутливості системи первинної обробки інформації КЕСН є важливим для здійснення місцевизначення БПЛА на ділянках місцевості з низьким контрастом.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, кореляційно-екстремальні системи навігації, цифровий фільтр, вагові коефіцієнти.