

## ABSTRACT AND REFERENCES

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268621

**IMPROVING THE METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF DECISION-MAKING BASED ON BIO-INSPIRED ALGORITHMS (p. 6–13)****Mykhailo Koval**The National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2130-2548>**Oleg Sova**Military Institute of Telecommunications, and Information  
Technologies named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7200-8955>**Andrii Shyshatskyi**Research Center for Trophy and Perspective  
Weapons and Military Equipment, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>**Yurii Artabaiev**Research Center for Trophy and Perspective  
Weapons and Military Equipment, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9446-3011>**Nataliia Garashchuk**Scientific-Research Institute of Military Intelligence, Kyiv, Ukraine  
Defence Intelligence of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4868-1912>**Yurii Yivzhenko**State Scientific Institution «Institute of  
Education Content Modernization», Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5879-0226>**Yuriy Luscschay**National Transport University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7632-7400>**Liudmyla Dovhopoliuk**National Transport University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3401-8466>**Oles Haidenko**Kyiv Electromechanical  
Professional Pre-Higher College, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8308-3910>**Mykola Dorofeev**Military Unit A3444, Chernihiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8607-2483>

The problem that is solved in the research is to increase the efficiency of assessing the state of the monitoring object while ensuring the given reliability, regardless of the hierarchy of the monitoring object. The object of research is decision support systems. The subject of the research is the process of evaluating the monitoring object using bio-inspired algorithms. The hypothesis of the research is the need to increase the efficiency of the assessment of the state of the monitoring object with the given reliability. In the course of the research, an improved method of increasing the efficiency of decision-making based on bio-inspired algorithms was proposed. General provisions of artificial intelligence theory were used to solve the problem of analyzing the object state in intelligent decision support systems.

The essence of improvement is to use the following procedures:

– taking into account the type of uncertainty about the state of the monitoring object (full uncertainty, partial uncertainty and full awareness);

– taking into account the degree of noise in the data on the state of the monitoring object. Noise refers to the degree of information distortion created by the enemy's means of electronic and cyber warfare;

– using the ant colony optimization algorithm and the genetic algorithm to find the path metric while assessing the state of the monitoring object;

– deep learning of synthesized ants using evolving artificial neural networks.

An example of using the proposed method in assessing the state of the operational situation of a group of troops (forces) is presented. The specified example showed a 15–22 % increase in the efficiency of data processing using additional improved procedures.

**Keywords:** uncertainty, monitoring object, data noise, assessment efficiency, reliability of decisions.

**References**

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Rozvytok intehrovanykh system zviazku ta peredachi danykh dlia potreb Zbroinykh Syl. *Ozbroiennia ta viyskova tekhnika*, 1 (5), 35–40. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2015\\_1\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7)
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskyi, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskyi, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskyi, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskyi, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>
6. Shyshatskyi, A. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>
7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O., Kosenko, V. et al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)
8. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti*. Vinnytsa: «UNIVERSUM», 320.
9. Alpeeva, E. A., Volkova, I. I. (2019). The use of fuzzy cognitive maps in the development of an experimental model of automation of production accounting of material flows. *Russian Journal of Industrial Economics*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>

10. Zagranovskaya, A. V., Eissner, Y. N. (2017). Simulation scenarios of the economic situation based on fuzzy cognitive maps. *Modern economics: problems and solutions*, 10, 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>
11. Simankov, V. S., Putyato, M. M. (2013). Issledovanie metodov kognitivnogo analiza. *Sistemniy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*, 13, 31–35.
12. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>
13. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>
14. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>
15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>
16. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>
17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Vánca, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
21. Gorelova, G. V. (2013). Kognitivnyj podhod k imitacionnomu modelirovaniyu slozhnyh sistem. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 3, 239–250.
22. Emel'yanov, V. V., Kurejchik, V. V., Kurejchik, V. M., Emel'yanov, V. V. (2003). *Teoriya i praktika evolyucionnogo modelirovaniya*. Moscow: Fizmatlit, 432.
23. Gorokhovatsky, V., Stiahlyk, N., Tsarevska, V. (2021). Combination method of accelerated metric data search in image classification problems. *Advanced Information Systems*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
24. Lyashenko, V., Liashenko, O., Kuchuk, H. (2020). Building Decision Support Systems based on Fuzzy Data. *Advanced Information Systems*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
25. Meleshko, Y., Driev, O., Drieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
26. Kuchuk, N., Merlak, V., Skorodelov, V. (2020). A method of reducing access time to poorly structured data. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
27. Shyshatskyi, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>
28. Raskin, L., Sira, O. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 23–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292>
29. Lytvyn, V., Vysotska, V., Pukach, P., Brodyak, O., Ugryn, D. (2017). Development of a method for determining the keywords in the slavic language texts based on the technology of web mining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (86)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98750>
30. Stepanenko, A., Oliinyk, A., Deineha, L., Zaiko, T. (2018). Development of the method for decomposition of superpositions of unknown pulsed signals using the secondorder adaptive spectral analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126578>
31. Gorbenko, I., Ponomar, V. (2017). Examining a possibility to use and the benefits of post-quantum algorithms dependent on the conditions of their application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 21–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96321>
32. Lovska, A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. Available at: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_1/10%20Lovska.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_1/10%20Lovska.pdf)
33. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
34. Mahdi, Q. A., Shyshatskyi, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
35. Lovska, A., Fomin, O. (2020). A new fastener to ensure the reliability of a passenger car body on a train ferry. *Acta Polytechnica*, 60 (6). doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0478>
36. Koval, M., Sova, O., Orlov, O., Shyshatskyi, A., Artabaiev, Y., Shknaï, O. et al. (2022). Improvement of complex resource management of special-purpose communication systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (119)), 34–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266009>

DOI: [10.15587/1729-4061.2022.268908](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268908)

**AUTOMATIC CONSTRUCTION OF A FUZZY SYSTEM WITH A MATRIX REPRESENTATION OF RULES AND A CORRECT KNOWLEDGE BASE (p. 14–22)**

**Danylo Yehoshkin**

Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0937-4733>

**Natalia Guk**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7937-1039>

The object of this study is the process of automatic formation of fuzzy production rules on the basis of a training sample for solving

the classification problem. The problem of automatically creating and then checking the correctness of a fuzzy inference model for a classification task is solved. The result is an automatically constructed correct database of rules for solving the classification problem. Analysis of the correctness of the knowledge base is carried out using the criteria of completeness, minimality, coherence, and consistency. To prove the completeness of the rule base, Hoare logic and the resolution method are used. The quality of the classification is assessed using such metrics as accuracy, precision, recall, f1-score. The dependence of the classification result on the size of the training sample is considered.

The expert system has the following features: the ability to learn from data; high level of accuracy; the correct knowledge base. The knowledge base is formed using the objects of the training sample on the basis of linguistic variables and term sets. A production model of knowledge representation is applied, combining the Mamdani and Takagi-Sugeno-Kang models. It is assumed that the left parts of the production rules describe combinations of the features of objects, and the right parts correspond to classes. The matrix representation of the antecedents of the rules is used. Consequents are represented as a column vector. For the automatic construction of the matrix of antecedents, it is proposed to use the Cartesian product. The formation of the consequent vector is carried out automatically using domain data and a training procedure.

The resulting expert system can be used to solve the problems of classification, clustering, data mining, and big data analysis.

**Keywords:** expert system, fuzzy logic, fuzzy classification, Hoare logic, resolution method.

#### References

- Zadeh, L. A., Abbasov, A. M., Yager, R. R., Shahbazova, S. N., Reformat, M. Z. (Eds.) (2014). Recent Developments and New Directions in Soft Computing. Studies in Fuzziness and Soft Computing. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06323-2>
- Ternovoi, M. Yu., Shtohryna, E. S. (2015). Formalnaia spetsyfykatsiia svoistv baz nechetkykh znanyi Mamdani na osnove metahrafa. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya: Matematychni modeliuvannia. Informatsiyni tekhnolohi. Avtomatyzovani systemy upravlinnia, 27, 157–171. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhIMAM\\_2015\\_27\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhIMAM_2015_27_17)
- Krivulya, G. F., Shkil', A. S., Kucherenko, D. E. (2013). Analiz korrektnosti produktsionnykh pravil v sistemah nechetkogo logicheskogo vyvoda s ispol'zovaniem kvantovykh modelej. ASU i pribory avtomatiki, 165, 42–53. Available at: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/eeb5b66f-7eb9-4db4-b045-0e774308ee6d/content>
- Darwiche, A., Marquis, P. (2002). A Knowledge Compilation Map. Journal of Artificial Intelligence Research, 17, 229–264. doi: <https://doi.org/10.1613/jair.989>
- Sugiura, A., Riesenhuber, M., Koseki, Y. (1993). Comprehensibility Improvement of Tabular Knowledge Bases. AAAI-93 Proceedings, 716–721. Available at: <https://www.aaai.org/Papers/AAAI/1993/AAAI93-107.pdf>
- Sugiura, A., Koseki, Y. (1995). Comprehensibility Improvement of Tabular Knowledge Bases. Journal of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 10 (4), 628–635. doi: [https://doi.org/10.11517/jjsai.10.4\\_628](https://doi.org/10.11517/jjsai.10.4_628)
- Kondratenko, Y. P., Kozlov, A. V. (2019). Generation of Rule Bases of Fuzzy Systems Based on Modified Ant Colony Algorithms. Journal of Automation and Information Sciences, 51 (3), 4–25. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v51.i3.20>
- Zheldak, T. A., Koriashkina, L. S. (2020). Nechitki mnozhyny v systemakh upravlinnia ta pryiniattia rishen. Dnipro: NTU «DP», 222–227.
- Hoare, C. A. R. (1969). An axiomatic basis for computer programming. Communications of the ACM, 12 (10), 576–580. doi: <https://doi.org/10.1145/363235.363259>
- Gries, D. (1981). The Predicate Transformer wp. The Science of Programming, 108–113. doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5983-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5983-1_8)
- Dijkstra, E. W. (1975). Guarded commands, nondeterminacy and formal derivation of programs. Communications of the ACM, 18 (8), 453–457. doi: <https://doi.org/10.1145/360933.360975>
- Simplify. ESC/Java2 Summary. Available at: <https://www.kindssoftware.com/products/opensource/escjava2>
- Khizha, A. L., Vysokopoyasnyj, I. G. (2017). Avtomaticheskaya proverka semanticheskoy pravil'nosti resheniy zadach po programmirovaniyu. Pytannia prykladnoi matematyky i matematychnoho modeliuvannia, 17, 234–246. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppmmm\\_2017\\_17\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppmmm_2017_17_29)
- Gorman, K. B., Williams, T. D., Fraser, W. R. (2014). Ecological Sexual Dimorphism and Environmental Variability within a Community of Antarctic Penguins (Genus *Pygoscelis*). PLoS ONE, 9 (3), e90081. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090081>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.264904

### PROFILE MONITORING OF RESIDUALS CONTROL CHARTS UNDER GAMMA REGRESSION MODEL (p. 23–31)

**Salah M. Mohamed**

Cairo University, Orman, Giza, Egypt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4982-3895>

**Engy S. Abozaid**

Cairo University, Orman, Giza, Egypt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6283-2978>

**Shereen H. Abdel Latif**

Cairo University, Orman, Giza, Egypt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6740-5019>

The statistical control chart is considered one of the superlative tools in quality control. Currently, control charts are being widely used in various areas, one of them being manufacturing processes. They are essential instruments that can impart crucial insights to quality controllers for maintaining productivity. The quality of a product or process can be characterized by a relationship between two or more variables, which is typically referred to as a profile. Also, public health surveillance is considered another important area that widely used control charts. In this regard, they are very useful and reliable tools for detecting outbreaks of infectious diseases. On the other hand, the gamma regression model (GRM) is a popular model considered in medical and other fields. It is applied when the response variable is continuous and positively skewed and well fitted to the gamma distribution. This paper presents a scheme for monitoring the profile. Based upon the generalized linear model (GLM) in the case of two link functions: identity and log link function. Exponentially weighted moving average control charts (EWMA) are proposed using deviance residuals and Pearson residuals for detecting any disturbance in the control variable of the gamma regression model. A detailed simulation study is designed to scrutinize and evaluate the performance of the control charts in phase I analysis and in phase II under parametric maximum likelihood estimation (MLE) using the average run length (ARL) measure. It turns out that using deviance residuals under the identity link function seems more suitable than Pearson residuals. Also, with increasing the sample size, the percentages of out-of-control (OC) samples increased which is theoretically acceptable.

**Keywords:** ARL, Control Charts, EWMA, GLM, Gamma Regression, Residuals.

### References

- Mahmoud, M. A. (2011). Simple Linear Profiles. *Statistical Analysis of Profile Monitoring*, 21–92. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118071984.ch2>
- Mahmoud, M. A. (2012). The Performance of Phase II Simple Linear Profile Approaches when Parameters Are Estimated. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 41 (10), 1816–1833. doi: <https://doi.org/10.1080/03610918.2011.621570>
- Amiri, A., Koosha, M., Azhdari, A., Wang, G. (2014). Phase I monitoring of generalized linear model-based regression profiles. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 85 (14), 2839–2859. doi: <https://doi.org/10.1080/00949655.2014.942864>
- Noorossana, R., Eyvazian, M., Vaghefi, A. (2010). Phase II monitoring of multivariate simple linear profiles. *Computers & Industrial Engineering*, 58 (4), 563–570. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.12.003>
- Mahmoud, M. A., Saad, A. E. N., El Shaer, R. (2014). Phase II Multiple Linear Regression Profile with Small Sample Sizes. *Quality and Reliability Engineering International*, 31 (5), 851–861. doi: <https://doi.org/10.1002/qre.1644>
- Roberts, S. W. (1959). Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. *Technometrics*, 1 (3), 239–250. doi: <https://doi.org/10.1080/00401706.1959.10489860>
- Crowder, S. V. (1987). A Program for the Computation of ARL for Combined Individual Measurement and Moving Range Charts. *Journal of Quality Technology*, 19 (2), 103–106. doi: <https://doi.org/10.1080/00224065.1987.11979046>
- Lucas, J. M., Saccucci, M. S. (1990). Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements. *Technometrics*, 32 (1), 1–12. doi: <https://doi.org/10.1080/00401706.1990.10484583>
- Woodall, W. H., Spitzner, D. J., Montgomery, D. C., Gupta, S. (2004). Using Control Charts to Monitor Process and Product Quality Profiles. *Journal of Quality Technology*, 36 (3), 309–320. doi: <https://doi.org/10.1080/00224065.2004.11980276>
- Knoth, S. (2007). Accurate ARL Calculation for EWMA Control Charts Monitoring Normal Mean and Variance Simultaneously. *Sequential Analysis*, 26 (3), 251–263. doi: <https://doi.org/10.1080/07474940701404823>
- Maravelakis, P. E., Castagliola, P., Khoo, M. B. C. (2017). Run length properties of run rules EWMA chart using integral equations. *Quality Technology & Quantitative Management*, 16 (2), 129–139. doi: <https://doi.org/10.1080/16843703.2017.1372853>
- Khan, N., Yasmin, T., Aslam, M., Jun, C.-H. (2018). On the performance of modified EWMA charts using resampling schemes. *Operations Research and Decisions*, 3, 29–43. doi: <https://doi.org/10.5277/ord180303>
- Akram, M. N., Amin, M., Qasim, M. (2021). A new biased estimator for the gamma regression model: Some applications in medical sciences. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 50 (23), 1–21. doi: <https://doi.org/10.1080/03610926.2021.1977958>
- Krishnamoorthy, K. (2006). *Handbook of statistical distributions with applications*. Chapman and Hall/CRC, 376. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420011371>
- Jearkpaporn, D., Montgomery, D. C., Runger, G. C., Borrór, C. M. (2003). Process monitoring for correlated gamma-distributed data using generalized-linear-model-based control charts. *Quality and Reliability Engineering International*, 19 (6), 477–491. doi: <https://doi.org/10.1002/qre.521>
- Braimah, O. J., Osanaiye, P. A., Omaku, P. E., Saheed, Y. K., Es-himokhai, S. A. (2014). On the Use of Exponentially Weighted Moving Average (Ewma) Control Chart in Monitoring Road Traffic Crashes. *International Journal of Mathematics and Statistics Invention (IJMSI)*, 2 (5), 01–09. Available at: <https://ijmsi.org/Papers/Volume.2.Issue.5/A0250109.pdf>
- Cepeda-Cuervo, E., Corrales, M., Cifuentes, V., Zarate, H. (2016). On Gamma Regression Residuals. *Journal of The Iranian Statistical Society*, 15 (1), 29–44. Available at: [http://jirss.irstat.ir/browse.php?a\\_code=A-11-304-2&slc\\_lang=en&sid=1](http://jirss.irstat.ir/browse.php?a_code=A-11-304-2&slc_lang=en&sid=1)
- Lu, C.-W., Reynolds, M. R. (1999). EWMA Control Charts for Monitoring the Mean of Autocorrelated Processes. *Journal of Quality Technology*, 31 (2), 166–188. doi: <https://doi.org/10.1080/00224065.1999.11979913>
- Wang, H. (2016). Application of Residual-Based EWMA Control Charts for Detecting Faults in Variable-Air-Volume Air Handling Unit System. *Journal of Control Science and Engineering*, 2016, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1467823>
- Kang, L., Albin, S. L. (2000). On-Line Monitoring When the Process Yields a Linear Profile. *Journal of Quality Technology*, 32 (4), 418–426. doi: <https://doi.org/10.1080/00224065.2000.11980027>
- Messaoud, A., Theis, W., Hering, F., Weihs, C. (2008). Monitoring a Drilling Process Using Residual Control Charts. *Quality Engineering*, 21 (1), 1–9. doi: <https://doi.org/10.1080/08982110802355869>
- Arepong, Y. (2013). A comparison of performance of residual control charts for trend stationary AR(p) processes. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 85 (3). doi: <https://doi.org/10.12732/ijpam.v85i3.13>
- García-Bustos, S., Cárdenas-Escobar, N., Debón, A., Pincay, C. (2021). A control chart based on Pearson residuals for a negative binomial regression: application to infant mortality data. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 39 (10), 2378–2399. doi: <https://doi.org/10.1108/ijqrm-03-2021-0062>
- Jamal, A., Mahmood, T., Riaz, M., Al-Ahmadi, H. M. (2021). GLM-Based Flexible Monitoring Methods: An Application to Real-Time Highway Safety Surveillance. *Symmetry*, 13 (2), 362. doi: <https://doi.org/10.3390/sym13020362>
- Kinat, S., Amin, M., Mahmood, T. (2019). GLM-based control charts for the inverse Gaussian distributed response variable. *Quality and Reliability Engineering International*, 36 (2), 765–783. doi: <https://doi.org/10.1002/qre.2603>
- Nelder, J. A., Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 135 (3), 370. doi: <https://doi.org/10.2307/2344614>
- McCullagh, P., Nelder, J. A. (1989). *Generalized Linear Models*. Chapman and Hall/CRC. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3242-6>
- Bossio, M. C., Cuervo, E. C. (2015). Gamma regression models with the Gammareg R package. *Comunicaciones En Estadística*, 8 (2), 211. doi: <https://doi.org/10.15332/s2027-3355.2015.0002.05>
- Cuervo, E. C. (2001). *Modelagem da Variabilidade em Modelos Lineares Generalizados*. Instituto de Matemáticas, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Gipe, G. W. (1976). Using residual analysis to search for specification errors. *Decision Sciences*, 7 (1), 40–56. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1976.tb00656.x>
- Shao, Y. E., Lin, Y. (2013). Applying Residual Control Charts to Identify the False Alarms in a TFT-LCD Manufacturing Process. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7 (4), 1459–1464. doi: <https://doi.org/10.12785/amis/070426>
- Pregibon, D. (1981). Logistic Regression Diagnostics. *The Annals of Statistics*, 9 (4). <https://doi.org/10.1214/aos/1176345513>
- Cordeiro, G. M., Simas, A. B. (2009). The distribution of Pearson residuals in generalized linear models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 53 (9), 3397–3411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csda.2009.02.025>

34. Pierce, D. A., Schafer, D. W. (1986). Residuals in Generalized Linear Models. *Journal of the American Statistical Association*, 81 (396), 977–986. doi: <https://doi.org/10.1080/01621459.1986.10478361>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267033

### DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SIMULATION DURATION BY THE DISCRETE ELEMENT METHOD AND THE COMPUTER SYSTEM TECHNICAL CHARACTERISTICS (p. 32–39)

**Volodymyr Statsenko**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>

**Oleksandr Burmistenkov**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>

**Tetiana Bila**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8937-5244>

**Dmytro Statsenko**

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3064-3109>

The object of this study is the relationship between the technical characteristics of a computing system and the duration of modeling the motion of particles of granular materials by the discrete element method. The scheme of the calculation algorithm is presented; its main stages are analyzed. A 3D model of a belt feeder and a mathematical model of particle motion were developed for calculations by the discrete element method in the EDEM 2017 environment. The physical and mechanical properties of bulk material are defined; the structural and technological parameters of equipment are determined. The parameters of the algorithm and computing system are analyzed. Those parameters are defined, the change of which does not affect the accuracy of calculations but can change the volume of computing resources used. These include the number of particles of loose material, the «grid» step, and the number of processor cores. The influence of these parameters on the duration of simulation was determined using a complete factor experiment.

Experimental studies have shown that for the duration of the simulation, the determining parameters are the number of particles and the number of processor cores. It was established that there is a linear relationship between the duration of the simulation and the number of particles. The regression equation is built, which makes it possible to predict the simulation time. It was also established that the software does not fully use all available computing resources; the maximum load on the processor when utilizing all available cores is 57 %. The use of RAM and disk subsystem almost did not change during simulation.

The results reported here make it possible to plan the use of computing resources for research using the discrete element method and to predict the simulation time.

**Keywords:** discrete element method, computational system, algorithm, simulation time, computational resources.

#### References

- Yeom, S. B., Ha, E.-S., Kim, M.-S., Jeong, S. H., Hwang, S.-J., Choi, D. H. (2019). Application of the Discrete Element Method for Manufacturing Process Simulation in the Pharmaceutical Industry. *Pharmaceutics*, 11(8), 414. doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11080414>
- Johansson, M., Quist, J., Evertsson, M., Hulthén, E. (2017). Cone crusher performance evaluation using DEM simulations and laboratory experiments for model validation. *Minerals Engineering*, 103-104, 93–101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.09.015>
- Kryszak, D., Bartoszewicz, A., Szufa, S., Piersa, P., Obraniak, A., Olejnik, T. P. (2020). Modeling of Transport of Loose Products with the Use of the Non-Grid Method of Discrete Elements (DEM). *Processes*, 8 (11), 1489. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8111489>
- Statsenko, V. V., Burmistenkov, O. P., Bila, T. Ya. (2017). *Avtomatyzovani komplekсы bezperernovnoho pryhotuvannia kompozytsiy sypkykh materialiv*. Kyiv: KNUVD, 219.
- Munjiza, A. (2004). *The Combined Finite-Discrete Element Method*. Wiley, 352. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/The+Combined+Finite+Discrete+Element+Method-p-9780470020173>
- Balevicius, R., Kacianauskas, R. (2008). DEM analysis of effect of the particle size during the material flow in wedge-shaped hopper. The 25<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008. doi: <https://doi.org/10.3846/isarc.20080626.272>
- Lommen, S., Schott, D., Lodewijks, G. (2014). DEM speedup: Stiffness effects on behavior of bulk material. *Particuology*, 12, 107–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2013.03.006>
- Osypenko, V., Zlotenko, B., Kulik, T., Demishonkova, S., Synyuk, O., Onofriichuk, V., Smutko, S. (2021). Improved algorithm for matched-pairs selection of informative features in the problems of recognition of complex system states. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (110)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229756>
- Yan, B., Regueiro, R. A. (2018). Superlinear speedup phenomenon in parallel 3D Discrete Element Method (DEM) simulations of complex-shaped particles. *Parallel Computing*, 75, 61–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.parco.2018.03.007>
- Yan, B., Regueiro, R. A. (2018). A comprehensive study of MPI parallelism in three-dimensional discrete element method (DEM) simulation of complex-shaped granular particles. *Computational Particle Mechanics*, 5 (4), 553–577. doi: <https://doi.org/10.1007/s40571-018-0190-y>
- Amritkar, A., Deb, S., Tafti, D. (2014). Efficient parallel CFD-DEM simulations using OpenMP. *Journal of Computational Physics*, 256, 501–519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2013.09.007>
- He, Y., Muller, F., Hassanpour, A., Bayly, A. E. (2020). A CPU-GPU cross-platform coupled CFD-DEM approach for complex particle-fluid flows. *Chemical Engineering Science*, 223, 115712. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115712>
- Tamrakar, A., Karkala, S., Schankel, D., Ramachandran, R. (2016). Implementation of hybrid DEM-PBM approach to reduce the computational cost of powder mixing modeling. 26th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 1267–1273. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63428-3.50216-2>
- Duriez, J., Bonelli, S. (2021). Precision and computational costs of Level Set-Discrete Element Method (LS-DEM) with respect to DEM. *Computers and Geotechnics*, 134, 104033. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104033>
- Gopalakrishnan, P., Tafti, D. (2013). Development of parallel DEM for the open source code MFIX. *Powder Technology*, 235, 33–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.09.006>
- Maknickas, A., Kačeniauskas, A., Kačianauskas, R., Balevičius, R., Džiugys, A. (2006). Parallel DEM Software for Simulation of Granular Media. *Informatika*, 17 (2), 207–224. doi: <https://doi.org/10.15388/informatika.2006.134>
- Kafui, D. K., Johnson, S., Thornton, C., Seville, J. P. K. (2011). Parallelization of a Lagrangian-Eulerian DEM/CFD code for application to fluidized beds. *Powder Technology*, 207 (1-3), 270–278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.11.008>
- Mindlin, R. D., Deresiewicz, H. (1953). Elastic Spheres in Contact Under Varying Oblique Forces. *Journal of Applied Mechanics*, 20 (3), 327–344. doi: <https://doi.org/10.1115/1.4010702>
- Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Demishonkova, S. (2021). Determining the loose medium movement parameters in a centrifugal continuous mixer using a discrete element method. *Eastern-*

- European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (111)), 59–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232636>
20. Yan, Z., Wilkinson, S. K., Stitt, E. H., Marigo, M. (2015). Discrete element modelling (DEM) input parameters: understanding their impact on model predictions using statistical analysis. *Computational Particle Mechanics*, 2(3), 283–299. doi: <https://doi.org/10.1007/s40571-015-0056-5>
  21. Discrete Element Modeling – DEM Software | Altair EDEM. Available at: <https://www.altair.com/edem>
  22. Python programming language. Available at: <https://www.python.org/>
  23. Project Jupyter. Available at: <https://jupyter.org/>
  24. Numpy. The fundamental package for scientific computing with Python. Available at: <https://numpy.org/>
  25. Statsenko, V., Burmistenkov, O., Bila, T., Statsenko, D. (2019). Determining the motion character of loose materials in the system of continuous action «hopper – reciprocating plate feeder». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (98)), 21–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163545>
  26. Beloshenko, V., Voznyak, Y., Voznyak, A., Savchenko, B. (2017). New approach to production of fiber reinforced polymer hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 112, 22–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.030>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269128**

**DEVISING A PROCEDURE FOR DEFINING THE GENERAL CRITERIA OF ABNORMAL BEHAVIOR OF A COMPUTER SYSTEM BASED ON THE IMPROVED CRITERION OF UNIFORMITY OF INPUT DATA SAMPLES (p. 40–49)**

**Serhii Semenov**

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4472-9234>

**Oleksandr Mozhaiev**

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1412-2696>

**Nina Kuchuk**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0784-1465>

**Mykhailo Mozhaiev**

Scientific Research Centre for Forensic on Intellectual Property of the Ministry of Justice of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1566-9260>

**Serhii Tuliieniev**

Scientific Research Centre for Forensic on Intellectual Property of the Ministry of Justice of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9685-1536>

**Yurii Gnušov**

Kharkiv National University of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9017-9635>

**Dmytro Yevstrat**

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8393-6063>

**Yuliia Chyrva**

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2043-7782>

**Heorhii Kuchuk**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2862-438X>

The object of this study was the process of detecting anomalies in computer systems. The task to timely detect anomalies in computer systems was solved, based on a mathematical model underlying which is the criteria for uniformity of samples of input data. The necessity and possibility to devise a universal and at the same time scientifically based approach to tracking the states of the system were determined. Therefore, the purpose of this work was to develop a methodology for determining the general criterion of anomaly in the behavior of a computer system depending on the input data. This will increase the reliability of identifying the anomaly in the behavior of the system, which, in turn, should increase its safety. To solve the problem, a mathematical model for detecting anomalies in the behavior of a computer system has been built. The mathematical model differs from the well-known ones in the possibility of isolating a series of observations, the results of which show the anomaly in the behavior of the computer system. This made it possible to ensure the necessary level of reliability of the results of monitoring and research. In the process of modeling, the criteria for uniformity of samples of input data have been investigated and improved. The expediency of using the improved criterion of uniformity of samples of input data in the case of a significantly unequal distribution of values from the sensors of computer systems has been proved. An algorithm for the functioning of the software test tool has been developed. The results of the study showed that the confidence probability that the value of the statistical values of the shift in a certain criterion does not deviate from the mathematical expectation by more than 0.05 is approximately equal to 0.94. The scope of the obtained results is systems for detecting anomalies of computer systems. A necessary condition for the use of the proposed results is the presence of a series of observations of the state of the computer system.

**Keywords:** computer system, network activity, anomaly criterion, vector statistics, homogeneous sample.

**References**

1. BasuMallick, C. (2022). 10 Network Behavior Anomaly Detection Tools in 2022. Available at: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/network-behavior-anomaly-detection-tools/>
2. Wang, C., Zhou, H., Hao, Z., Hu, S., Li, J., Zhang, X. et al. (2022). Network traffic analysis over clustering-based collective anomaly detection. *Computer Networks*, 205, 108760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108760>
3. Ayensa-Jiménez, J., Pérez-Aliacar, M., Randelovic, T., Oliván, S., Fernández, L., Sanz-Herrera, J. A. et al. (2020). Mathematical formulation and parametric analysis of in vitro cell models in microfluidic devices: application to different stages of glioblastoma evolution. *Scientific Reports*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78215-3>
4. Meleshko, Y., Drieiev, O., Yakymenko, M., Lysytsia, D. (2020). Developing a model of the dynamics of states of a recommendation system under conditions of profile injection attacks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (106)), 14–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209047>
5. Bannai, E., Bannai, E., Ito, T., Rie, T. (2021). 6 P- and Q-polynomial schemes. *Algebraic Combinatorics*, Berlin, Boston: De Gruyter, 241–398. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110630251-006>
6. Semenov, S., Davydov, V., Lipchanska, O., Lipchanskiy, M. (2020). Development of unified mathematical model of programming modules obfuscation process based on graphic evaluation and review method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (105)), 6–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206232>
7. Meleshko, Y., Raskin, L., Semenov, S., Sira, O. (2019). Methodology of probabilistic analysis of state dynamics of multidimensional semi-Markov dynamic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184637>

8. Kovalenko, A., Kuchuk, H. (2022). Methods to Manage Data in Self-healing Systems. *Studies in Systems, Decision and Control*. Cham: Springer, 113–171. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96546-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96546-4_3)
9. Rempala, G., Wesołowski, J. (2023). Poisson limit theorems for the Cressie-Read statistics. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 223, 15–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2022.07.004>
10. Escalante, J. M., Skipetrov, S. E. (2018). Level spacing statistics for light in two-dimensional disordered photonic crystals. *Scientific Reports*, 8 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29996-1>
11. Tung, D. D., Rao Jammalamadaka, S. (2012). U-Statistics based on spacings. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 142 (3), 673–684. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2011.09.007>
12. Raskin, L., Sukhomlyn, L., Sagaidachny, D., Korsun, R. (2021). Analysis of multi-threaded markov systems. *Advanced Information Systems*, 5 (4), 70–78. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.11>
13. Oleksenko, O., Khudov, H., Petrenko, K., Horobets, Y., Kolianda, V., Kuchuk, N. et al. (2021). The Development of the Method of Radar Observation System Construction of the Airspace on the Basis of Genetic Algorithm. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (8), 23–30. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0821\\_04](https://doi.org/10.46338/ijetae0821_04)
14. Semenov, S., Sira, O., Gavrylenko, S., Kuchuk, N. (2019). Identification of the state of an object under conditions of fuzzy input data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (97)), 22–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157085>
15. Kovalenko, A., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Kostolny, J. (2021). Horizontal scaling method for a hyperconverged network. 2021 International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), 331–336. doi: <https://doi.org/10.1109/idt52577.2021.9497534>
16. Yaloveha, V., Hlavcheva, D., Podorozhniak, A., Kuchuk, H. (2019). Fire Hazard Research of Forest Areas based on the use of Convolutional and Capsule Neural Networks. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon.2019.8879867>
17. Al-Anzi, F. S., Lababidi, H. M. S., Al-Sharrah, G., Al-Radwan, S. A., Seo, H. J. (2022). Plant health index as an anomaly detection tool for oil refinery processes. *Scientific Reports*, 12 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18824-2>
18. Sohn, H., Czarnecki, J. A., Farrar, C. R. (2000). Structural Health Monitoring Using Statistical Process Control. *Journal of Structural Engineering*, 126 (11), 1356–1363. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2000\)126:11\(1356\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2000)126:11(1356))
19. Lu, Y., Wang, T., Liu, T. (2020). Bayesian Network-Based Risk Analysis of Chemical Plant Explosion Accidents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (15). doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph17155364>
20. An, S. H., Heo, G., Chang, S. H. (2011). Detection of process anomalies using an improved statistical learning framework. *Expert Systems with Applications*, 38 (3), 1356–1363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.031>
21. Pratama, A., Rafrastara, F. A. (2012). Computer Worm Classification. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 10, 21–24. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/299580232\\_Computer\\_Worm\\_Classification](https://www.researchgate.net/publication/299580232_Computer_Worm_Classification)
22. Raskin, L., Ivanchikhin, Y., Sukhomlyn, L., Sviatkin, I., Korsun, R. (2022). Evaluation model of the recovery processes of non-markovian systems, considering the elements unreliability under arbitrary distribution laws. *Advanced Information Systems*, 6 (3), 28–35. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.3.04>
23. Joseph, U. M., Jacob, M. (2022). Real time detection of Phishing attacks in edge devices using LSTM networks. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0103355>
24. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenko, M. (2017). Multiservice network security metric. 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 133–136. doi: <https://doi.org/10.1109/aiact.2017.8020083>
25. Guevara López, P., Delgado Reyes, G., Audelo González, J., Valdez Martínez, J., Perez Meana, H. (2015). Basic definitions for discrete modeling of computer worms epidemics. *Ingeniería e Investigación*, 35 (1), 79–85. doi: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v35n1.44323>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268621

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ БІОІНСПІРОВАНИХ АЛГОРИТМІВ (с. 6–13)****М. В. Коваль, О. Я. Сова, А. В. Шишацький, Ю. З. Артабаєв, Н. П. Гаращук, Ю. В. Ївченко, Ю. В. Луцай, Л. О. Довгополюк, О. С. Гайденко, М. В. Дорофєєв**

Проблема, яка вирішується в дослідженні, полягає у підвищенні оперативності оцінювання стану об'єкту моніторингу при забезпеченні заданої достовірності незалежно від ієрархічності об'єкту моніторингу. Об'єктом дослідження є системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження є процес оцінювання об'єкту моніторингу за допомогою біоінспірованих алгоритмів. Гіпотезою дослідження є необхідність підвищення оперативності оцінювання стану об'єкту моніторингу при заданій достовірності оцінювання. В ході дослідження запропоновано удосконалену методику підвищення оперативності прийняття рішень на основі біоінспірованих алгоритмів. В ході проведеного дослідження використовувалися загальні положення теорії штучного інтелекту – для вирішення задачі аналізу стану об'єктів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Сутність удосконалення полягає у використанні наступних процедур:

- врахування типу невизначеності про стан об'єкту моніторингу (повна невизначеність, часткова невизначеність та повна обізнаність);
- врахування ступеню зашумленості даних про стан об'єкту моніторингу. Під зашумленістю мається на увазі ступінь викривлення інформації, що створюється засобами радіоелектронної боротьби та кіберборотьби противника;
- використання мурашиного алгоритму та генетичного алгоритму для пошуку метрики шляху при оцінюванні стану об'єкту моніторингу;
- глибокого навчання синтезованих мурах за допомогою штучних нейронних мереж, що еволюціонують.

Приведений приклад використання запропонованої методики на прикладі оцінки стану оперативної обстановки угруповання військ (сил). Зазначений приклад показав підвищення оперативності обробки даних на рівні 15–22 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

**Ключові слова:** невизначеність, об'єкт моніторингу, зашумленість даних, оперативність оцінювання, достовірність рішень.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268908

**АВТОМАТИЧНА ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ З МАТРИЧНИМ ПРЕДСТАВЛЕННЯМ ПРАВИЛ ТА КОРЕКТНОЮ БАЗОЮ ЗНАНЬ (с. 14–22)****Д. І. Єгошкін, Н. А. Гук**

Об'єктом дослідження є процес автоматичного формування нечітких продукційних правил з урахуванням навчальної вибірки для вирішення завдання класифікації. Вирішується проблема автоматичного створення та подальшої перевірки правильності нечіткої моделі логічного висновку для завдання класифікації. Результатом є автоматично побудована коректна база правил для вирішення завдання класифікації. Аналіз правильності бази знань на коректність здійснюється за допомогою критеріїв повноти, мінімальності, зв'язності та несуперечності. Для доказу повноти бази правил застосовується логіка Хоара та метод резолюцій. Проводиться оцінка якості класифікації за допомогою метрик: accuracy, precision, recall, f1-score. Розглянуто залежність результату класифікації від розміру навчальної вибірки.

Експертна система має такі особливості: здатність навчатися на даних; високий рівень точності; коректна база знань. База знань формується з використанням об'єктів навчальної вибірки на підставі лінгвістичних змінних та терм-множин. Застосовується продукційна модель представлення знань, що поєднує моделі Мамдані та Такагі-Сугено-Канг. Передбачається, що ліві частини продукційних правил описують поєднання ознак об'єктів, а праві частини відповідають класам. Використовується матричне уявлення антецедентів правил. Консеквенти представляються як вектор стовпця. Для автоматичної побудови матриці антецедентів пропонується використовувати декартовий добуток. Формування вектора консеквентів здійснюється автоматично з використанням даних про предметну область та процедури навчання.

Отримана експертна система може застосовуватися для вирішення завдань класифікації, кластеризації, глибинного аналізу даних, аналізу великих даних.

**Ключові слова:** експертна система, нечітка логіка, нечітка класифікація, логіка Хоара, метод резолюцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.264904

**ПРОФІЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ЗАЛИШКІВ ЗА МОДЕЛЮ ГАММА-РЕГРЕСІЇ (с. 23–31)****Salah M. Mohamed, Engy S. Abozaid, Shereen H. Abdel Latif**

Статистична контрольна карта вважається одним із найкращих інструментів контролю якості. Нині контрольні карти знаходять широке застосування у різних галузях, зокрема у виробничих процесах. Вони є важливими інструментами, які можуть дати контролерам якості важливу інформацію для підтримки продуктивності. Якість продукту чи процесу можна охарактеризувати взаємозв'язком між двома чи більше змінними, яку зазвичай називають профілем. Також ще одним важливим напрямком, у якому широко використовуються контрольні картки, вважається нагляд за здоров'ям населення. У зв'язку з цим вони є дуже корисними та надійними інструментами для виявлення спалахів інфекційних захворювань. З іншого боку, модель гамма-регресії (МГР) є популярною моделлю, яка використовується в медицині та інших галузях. Вона застосовується, коли змінна відгуку є безперервною, з позитивною асиметрією і добре відповідає гамма-розподілу. У цій роботі представлена схема моніторингу профілю. На основі узагальненої лінійної моделі (УЛМ) у разі двох функцій зв'язку: тотожної та логарифмічної функції зв'язку. Пропонуються контрольні карти

експоненційно зваженого ковзного середнього (ЕЗКС) з використанням залишків відхилення та залишків Пірсона для виявлення будь-якого порушення контрольної змінної моделі гамма-регресії. Детальне дослідження моделювання призначене для ретельного вивчення та оцінки ефективності контрольних карт на етапі аналізу I та на етапі II при параметричній оцінці максимальної правдоподібності (ОМП) з використанням показника середньої довжини циклу (СДЦ). Виявляється, використання залишків відхилення функції зв'язку тотожності здається більш придатним, ніж залишки Пірсона. Крім того, зі збільшенням розміру вибірки відсоток неконтрольованих зразків збільшувався, що теоретично прийнятно.

**Ключові слова:** СДЦ, контрольні карти, ЕЗКС, УЛМ, гамма-регресія, залишки.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267033**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ТРИВАЛІСТЮ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ (с. 32–39)**

**В. В. Стаценко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, Д. В. Стаценко**

Об'єктом дослідження є взаємозв'язок між технічними характеристиками обчислювальної системи та тривалістю моделювання руху частинок сипких матеріалів методом дискретних елементів. Представлено схему алгоритму обчислень та проаналізовано його основні етапи. Розроблено 3D модель стрічкового живильника та математичну модель руху частинок для проведення обчислень методом дискретних елементів в середовищі EDEM 2017. Визначено фізико-механічні властивості сипкого матеріалу, конструктивні та технологічні параметри обладнання. Проаналізовано параметри алгоритму та обчислювальної системи. Визначено ті параметри, зміна яких не впливає на точність розрахунків, але може змінювати кількість обчислювальних ресурсів, що використовуються. До них відносяться: кількість частинок сипкого матеріалу, крок «сітки» та кількість ядер процесора. Визначення впливу цих параметрів на тривалість моделювання здійснювалось з використання повного факторного експерименту.

Експериментальні дослідження показали, що для тривалості моделювання визначальними параметрами є кількість частинок та кількість ядер процесора. Встановлено, що між тривалістю моделювання та кількістю частинок існує лінійна залежність. Отримано рівняння регресії, яке дозволяє прогнозувати час моделювання. Також встановлено, що програмне забезпечення не повністю використовує всі наявні обчислювальні ресурси, максимальне навантаження на процесор при використанні всіх доступних ядер становить 57 %. Використання оперативної пам'яті та дискової підсистеми практично не змінювалось при проведенні моделювання.

Отримані результати дозволяють планувати використання обчислювальних ресурсів на проведення досліджень методом дискретних елементів та прогнозувати час моделювання.

**Ключові слова:** метод дискретних елементів, обчислювальна система, алгоритм, час моделювання, обчислювальні ресурси.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269128**

### **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ АНОМАЛЬНОСТІ ПОВЕДІНКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВДОСКОНАЛЕНОГО КРИТЕРІЮ ОДНОРІДНОСТІ ВИБІРОК ВХІДНИХ ДАНИХ (с. 40–49)**

**С. Г. Семенов, О. О. Можасв, Н. Г. Кучук, М. О. Можасв, С. А. Тюленев, Ю. В. Гнусов, Д. І. Євстрат, Ю. Є. Чирва, Г. А. Кучук**

Об'єктом дослідження був процес виявлення аномалій в комп'ютерних системах. Вирішувалася проблема своєчасного виявлення аномалій в комп'ютерних системах на основі математичної моделі, яка базується на критерії однорідності вибірок вхідних даних. Визначено необхідність і можливість створення універсального і водночас науково обгрунтованого підходу відстеження станів системи. Тому метою даної роботи була розробка методики визначення загального критерію аномальності поведінки комп'ютерної системи в залежності від вхідних даних. Це дозволить підвищити достовірність виявлення аномальності поведінки системи, що в свою чергу має підвищити її безпеку. Для вирішення проблеми розроблено математичну модель виявлення аномалій поведінки комп'ютерної системи. Математична модель відрізняється від відомих можливістю виділення серій спостережень, результати яких показують на аномальність поведінки комп'ютерної системи. Це дозволило забезпечити необхідний рівень достовірності результатів моніторингу та досліджень. В процесі моделювання досліджено та вдосконалено критерій однорідності вибірок вхідних даних. Доказано доцільність використання вдосконаленого критерію однорідності вибірок вхідних даних в разі істотно нерівномірного розподілу значень з сенсорів комп'ютерних систем. Розроблено алгоритм функціонування програмного засобу тестування. Результати дослідження показали, що довірча ймовірність того, що значення статистичних величин зсуву визначеного критерію не відхиляється від математичного сподівання більше, ніж на 0,05, приблизно дорівнює 0,94. Сфера використання отриманих результатів: системи виявлення аномалій комп'ютерних систем. Необхідною умовою використання запропонованих результатів є наявність серій спостережень за станом комп'ютерної системи.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, мережна активність, критерій аномальності, векторна статистика, однорідна вибірка.