

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252743

**SOLUTION OF ONE OPTIMUM CONTROL PROBLEM REGARDING THE DEPLETION OF GAS RESERVOIR (p. 6–13)****Kamil Mamtiyev**Azerbaijan State Economic  
University (UNEC), Baku, AzerbaijanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-6085>**Tarana Aliyeva**Azerbaijan State Economic  
University (UNEC), Baku, AzerbaijanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9954-8153>**Ulviyye Rzayeva**Azerbaijan State Economic  
University (UNEC), Baku, AzerbaijanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5881-6633>

Using the methods of the optimal control theory, the problem of determining the optimal technological mode of gas deposits' exploitation under the condition of their depletion by a given point in time is solved. This task is of particular interest for the exploitation of offshore fields, the activity of which is limited by the service life of the field equipment. The considered problem is also of certain mathematical interest as an objective of optimal control of nonlinear systems with distributed parameters. The usefulness and importance of solving such problems are determined by the richness of the class of major tasks that have a practical result. As an optimality criterion, a quadratic functional characterizing the conditions of reservoir depletion is considered. By introducing an auxiliary boundary value problem, and taking into account the stationarity conditions for the Lagrange functions at the optimal point, a formula for the gradient of the minimized functional is obtained.

To obtain a solution to this specific optimization problem, which control function is sought in the class of a piecewise continuous and bounded function with discontinuities of the first kind, the Pontryagin's maximum principle is subjected. The calculation of the gradient of the functional for the original and adjoint problems with partial differential equations is carried out by the method of straight lines.

The numerical solution of the problem was carried out by two methods – the method of gradient projection with a special choice of step and the method of successive approximations.

Despite the incorrectness of optimal control problems with a quadratic functional, the gradient projection method did not show a tendency to «dispersion» and gave a convergent sequence of controls.

**Keywords:** control problem, gas filtration process, gradient projection method, numerical experiment.

**References**

1. Kalugin, Yu. I., Yakovlev, V. V., Kalugin, A. Yu. (2015). Optimizatsiya razrabotki gazokondensatnyh mestorozhdeniy. *Prykladna hidromekhanika*, 17 (1), 37–52. Available at: [http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-17-1\(37-52\).pdf](http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-17-1(37-52).pdf)
2. Mamtiyev, K., Aliyeva, T., Rzayeva, U. (2020). Solution of One Problem on Optimum Gas Well Operation Control. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 54 (4), 249–264. doi: <https://doi.org/10.24818/18423264/54.4.20.16>

Research, 54 (4), 249–264. doi: <https://doi.org/10.24818/18423264/54.4.20.16>

3. Mamtiyev, K., Aliyeva, T., Rzayeva, U. (2021). Analysis of one class of optimal control problems for distributed-parameter systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(4 (113)), 26–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241232>
4. Ravshanov, N., Nazirova, E. Sh., Nematov, A. (2020). Mathematical model and numerical algorithm for solving gas filtration problems in two-plasted porous media with a weakly permeable jumper. *Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki*, 3 (27), 20–39. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46162803>
5. Zhakbarov, O. O. (2020). Models and optimal control algorithms for filtering systems. *Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya*, 3 (86), 6–12. Available at: [https://kpfu.ru/portal/docs/F649543575/\\_SETS\\_3\\_86\\_2020.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F649543575/_SETS_3_86_2020.pdf)
6. Kushnera, A. G., Lychagin, V. V., Roopa, M. D. (2020). Contact geometry in optimal control of thermodynamic processes for gases. *Doklady rossiysskoy akademii nauk. Matematika, informatika, protsessy upravleniya*, 493 (1), 99–103. Available at: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=danmiup&year=2020&vol=493&iss=1&file=DANMIUP-2004010Kushner.pdf>
7. Akhmetzianov, A. V., Kushner, A. G., Lychagin, V. V. (2018). Optimal Management of Oil Field Development in the Buckley–Leverett Model. *Automation and Remote Control*, 79 (4), 641–654. doi: <https://doi.org/10.1134/s0005117918040069>
8. Lutsenko, I., Fomovskaya, O., Konokh, I., Oksanych, I. (2017). Development of a method for the accelerated two-stage search for an optimal control trajectory in periodical processes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (87)), 47–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103731>
9. Demin, D. (2017). Synthesis of optimal control of technological processes based on a multialternative parametric description of the final state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (87)), 51–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.105294>
10. Vasil'ev, F. P. (2002). *Metody optimizatsii*. Moscow: Faktorial Press, 824.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252014

**OPTIMIZATION ALGORITHM BASED ON THE EULER METHOD FOR SOLVING FUZZY NONLINEAR EQUATIONS (p. 13–19)****Kais I. Ibraheem**

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2776-6263>**Hisham M. Khudhur**

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7572-9283>

In a variety of engineering, scientific challenges, mathematics, chemistry, physics, biology, machine learning, deep

learning, regression classification, computer science, programming, artificial intelligence, in the military, medical and engineering industries, robotics and smart cars, fuzzy nonlinear equations play a critical role. As a result, in this paper, an Optimization Algorithm based on the Euler Method approach for solving fuzzy nonlinear equations is proposed. In mathematics and computer science, the Euler approach (sometimes called the forward Euler method) is a first-order numerical strategy for solving ordinary differential equations (ODEs) with a specified initial value. The local error is proportional to the square of the step size, while the general error is proportional to the step size, according to the Euler technique. The Euler method is frequently used to create more complicated algorithms. The Optimization Algorithm Based on the Euler Method (OBE) uses the logic of slope differences, which is computed by the Euler approach for global optimizations as a search mechanism for promising logic. Furthermore, the mechanism of the proposed work takes advantage of two active phases: exploration and exploitation to find the most important promising areas within the distinct space and the best solutions globally based on a positive movement towards it. In order to avoid the solution of local optimal and increase the rate of convergence, we use the ESQ mechanism. The optimization algorithm based on the Euler method (OBE) is very efficient in solving fuzzy nonlinear equations and approaches the global minimum and avoids the local minimum. In comparison with the GWO algorithm, we notice a clear superiority of the OBE algorithm in reaching the solution with higher accuracy. We note from the numerical results that the new algorithm is 50 % superior to the GWO algorithm in Example 1, 51 % in Example 2 and 55 % in Example 3.

**Keywords:** algorithms, approach, fuzzy, global, Euler method, intelligent techniques, nonlinear equations, numerical optimization, swarms.

## References

- Chang, S. S. L., Zadeh, L. A. (1972). On Fuzzy Mapping and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-2 (1), 30–34. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1972.5408553>
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III. *Information Sciences*, 9 (1), 43–80. doi: [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90017-1)
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. doi: [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
- Mizumoto, M., Tanaka, K. (1976). The four operations of arithmetic on fuzzy numbers. *Systems Computers Controls*, 7 (5), 73–81. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0037807009&origin=inward&txGid=0c07e4e7651f74da4a7b98c984340897>
- Dubois, D., Prade, H. (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of Systems Science*, 9 (6), 613–626. doi: <https://doi.org/10.1080/00207727808941724>
- Abbasbandy, S., Asady, B. (2004). Newton's method for solving fuzzy nonlinear equations. *Applied Mathematics and Computation*, 159 (2), 349–356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2003.10.048>
- Buckley, J. J., Qu, Y. (1991). Solving fuzzy equations: A new solution concept. *Fuzzy Sets and Systems*, 39 (3), 291–301. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(91\)90099-c](https://doi.org/10.1016/0165-0114(91)90099-c)
- Buckley, J. J., Qu, Y. (1990). Solving linear and quadratic fuzzy equations. *Fuzzy Sets and Systems*, 38 (1), 43–59. doi: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(90\)90099-r](https://doi.org/10.1016/0165-0114(90)90099-r)
- Muzzioli, S., Reynaerts, H. (2006). Fuzzy linear systems of the form  $A1x+b1=A2x+b2$ . *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (7), 939–951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2005.09.005>
- Atkinson, K. E. (1989). *An introduction to numerical analysis*. John Wiley & Sons.
- Abbasbandy, S., Jafarian, A. (2006). Steepest descent method for solving fuzzy nonlinear equations. *Applied Mathematics and Computation*, 174 (1), 669–675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.amc.2005.04.092>
- Shokri, J. (2008). Numerical method for solving fuzzy nonlinear equations. *Applied Mathematical Sciences*, 2 (24), 1191–1203. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.524.4419&rep=rep1&type=pdf>
- Garg, A., Singh, S. R. (2010). Solving Fuzzy Nonlinear Equations by a General Iterative Method. *Journal of Uncertain Systems*, 4 (3), 206–215. Available at: <http://www.worldacademicunion.com/journal/jus/jusVol04No3paper06.pdf>
- Ramli, A., Abdullah, M. L., Mamat, M. (2010). Broyden's method for solving fuzzy nonlinear equations. *Advances in Fuzzy Systems*, 2010, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2010/763270>
- Khorasani, S. M., Aghchehghloo, M. H. D. (2011). Solving fuzzy nonlinear equation with second method. *International Journal of Algebra*, 5 (6), 295–299. Available at: <http://www.m-hikari.com/ija/ija-2011/ija-5-8-2011/lotfiIJA5-8-2011.pdf>
- Senthilkumar, L. S., Ganesan, K. (2016). Bisection method for fuzzy nonlinear equations. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12 (1), 271–276. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/298072410\\_Bisection\\_method\\_for\\_fuzzy\\_nonlinear\\_equations](https://www.researchgate.net/publication/298072410_Bisection_method_for_fuzzy_nonlinear_equations)
- Ahmad, M. Z., Jamaluddin, N. A., Sakib, E., Wan Daud, W. S., Abdul Rahman, N. A. (2016). Fuzzy false position method for solving fuzzy nonlinear equations. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (16), 9737–9745. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Norazrizal-Aswad-Abdul-Rahman/publication/309121938\\_Fuzzy\\_false\\_position\\_method\\_for\\_solving\\_fuzzy\\_nonlinear\\_equations/links/5b50fdc545851507a7b1f1b2/Fuzzy-false-position-method-for-solving-fuzzy-nonlinear-equations.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Norazrizal-Aswad-Abdul-Rahman/publication/309121938_Fuzzy_false_position_method_for_solving_fuzzy_nonlinear_equations/links/5b50fdc545851507a7b1f1b2/Fuzzy-false-position-method-for-solving-fuzzy-nonlinear-equations.pdf)
- Ali, M. Y., Chowdhury, K. R., Sultana, A., Khan, A. (2016). Solution of Fuzzy Non-linear Equations over Triangular Fuzzy Number using Modified Secant Algorithm. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, 12 (1), 41–47. Available at: <http://www.researchmathsci.org/apamart/apam-v12n1-6.pdf>
- Sulaiman, I. M., Waziri, M. Y., Olowo, E. S., Talat, A. N. (2018). Solving Fuzzy Nonlinear Equations with a New Class of Conjugate Gradient Method. *Malaysian Journal of Computing and Applied Mathematics*, 1 (1), 11–19. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/326960708\\_Solving\\_Fuzzy\\_Nonlinear\\_Equations\\_with\\_a\\_New\\_Class\\_of\\_Conjugate\\_Gradient\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/326960708_Solving_Fuzzy_Nonlinear_Equations_with_a_New_Class_of_Conjugate_Gradient_Method)
- Mohammed Sulaiman, I., Mamat, M., Yusuf Waziri, M., Shamsidah Amzeh, N. (2018). Barzilai-Borwein gradient method for solving fuzzy nonlinear equations. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.28), 80. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.28.20972>
- Sulaiman, I. M., Mamat, M., Waziri, M. Y., Umar, A. O. (2018). Numerical Method for Solution of Fuzzy Nonlinear

- Equations. *Journal of Advanced Research in Modelling and Simulations*, 1, 13–18. Available at: [https://www.akademia-baru.com/doc/ARMASV1\\_N1\\_P13\\_18.pdf](https://www.akademia-baru.com/doc/ARMASV1_N1_P13_18.pdf)
22. Omesa, A. U., Mamat, M., Sulaiman, I. M., Waziri, M. Y., Mohamed, M. A. (2018). Solving Fuzzy Nonlinear Equations Via Stirling's-Like Method. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.28), 335–338. Available at: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/27380>
  23. Usman Moyi, A. (2019). Chord Newton's Method for Solving Fuzzy Nonlinear Equations. *International Journal of Advanced Mathematical Sciences*, 7 (1), 16. doi: <https://doi.org/10.14419/ijams.v7i1.30098>
  24. Mamat, M., Sulaiman, I. M., Ghazali, P. L. (2020). An accelerated scheme for solving parameterized fuzzy nonlinear equations. *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, 29 (5), 248–255.
  25. Omesa, U. A., Mamat, M., Sulaiman, I. M., Sukono, S. (2020). On quasi newton method for solving fuzzy nonlinear equations. *International Journal of Quantitative Research and Modeling*, 1 (1), 1–10. doi: <https://doi.org/10.46336/ijqrm.v1i1.1>
  26. Jafari, R., Yu, W., Razvarz, S., Gegov, A. (2021). Numerical methods for solving fuzzy equations: A survey. *Fuzzy Sets and Systems*, 404, 1–22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fss.2019.11.003>
  27. Rasheed, M., Shihab, S., Rashid, A., Rashid, T., Hamed, S. H. A., AL-Kinani, M. H. J. (2021). A Special Iterative Algorithm for Solving Nonlinear Equations. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 13 (2), 105–113. Available at: <https://qu.edu.iq/journalcm/index.php/journalcm/article/view/804/608>
  28. Omesa, A. U., Sulaiman, I. M., Mamat, M., Waziri, M. Y., Shadi, A., Zaini, M. A. et. al. (2021). Derivative Free Levenberg-Marquardt Method for Solving Fuzzy Nonlinear Equation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1115 (1), 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1115/1/012002>
  29. Ibrahim, S. M., Mamat, M., Ghazali, P. L. (2020). Shaman-skii Method for Solving Parameterized Fuzzy Nonlinear Equations. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)*, 11 (1), 24–29. doi: <https://doi.org/10.11121/ijocta.01.2021.00843>
  30. Abed, M. M., Öztürk, U., Khudhur, H. (2022). Spectral CG Algorithm for Solving Fuzzy Non-linear Equations. *Iraqi Journal for Computer Science and Mathematics*, 3 (1), 1–10. doi: <https://doi.org/10.52866/ijcsm.2022.01.01.001>
  31. Ahmadianfar, I., Heidari, A. A., Gandomi, A. H., Chu, X., Chen, H. (2021). RUN beyond the metaphor: An efficient optimization algorithm based on Runge Kutta method. *Expert Systems with Applications*, 181, 115079. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115079>
  32. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
  33. Sadiqbatcha, S., Jafarzadeh, S., Ampatzidis, Y. (2017). Particle swarm optimization for solving a class of type-1 and type-2 fuzzy nonlinear equations. *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/fuzz-ieee.2017.8015474>
  34. Jafari, R., Razvarz, S., Gegov, A. (2019). Neural Network Approach to Solving Fuzzy Nonlinear Equations using Z-Numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28 (7), 1230–1241. doi: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2019.2940919>

DOI: [10.15587/1729-4061.2022.252267](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252267)

**OPTIMIZATION OF RESOURCE-INTENSIVE DYNAMIC SYSTEMS WITH A CONTINUOUS SUPPLY OF RAW MATERIALS ACCORDING TO THE CRITERION OF MINIMUM USE OF RESERVES (p. 20–28)**

**Igor Lutsenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi  
National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1959-4684>

**Svetlana Koval**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi  
National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-1332>

**Iryna Oksanych**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi  
National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4570-711X>

**Igor Shevchenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi  
National University, Kremenchuk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3009-8611>

Optimization of production processes has always been one of the cornerstones for industrial enterprises seeking to improve productivity while minimizing the costs involved. A particularly difficult situation is when it is necessary to manage the process of the entire production chain with a continuous supply of raw materials. It is necessary to keep under control the actual production data, current production requirements, and adhere to the international strategy of energy saving.

This paper reports a devised optimal dynamic system with a continuous supply of raw materials, which automatically changes the control trajectory in order to reduce the amount of resources used. The theoretical scientific component is represented in the form of an interface model of the system, and the research results are represented in the form of time diagrams that show the verification of the proposed model.

The model provides for the interconnection of the chain of such developed dynamical systems, in which the continuity of the process is ensured by buffering systems, and the optimality of operation is enabled by adaptation mechanisms.

The time diagrams can demonstrate the interaction of systems and mechanisms that generate information signals through the port sections. At each subsequent control action, the process parameter changes were made within a set range. As a result of a targeted search for permissible controls, the system, driven by the adaptation mechanism, enabled a gradual reduction in the consumption of the energy product and stabilized the intensity of the target product being processed, which made it possible to subsequently avoid shutdowns and restarts of the production line and reduce overall production costs.

**Keywords:** continuous production, product consumption, overall operation costs, modeling, structural-parametric optimization.

**References**

1. Silva, T. C., Eppink, M., Ottens, M. (2021). Automation and miniaturization: enabling tools for fast, high-throughput

- process development in integrated continuous biomanufacturing. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.6792>
2. Popereshnyak, S., Vecherkovskaya, A. (2021). Modeling and Design of the Industrial Production Process Mathematical Model. 2021 IEEE XVIIth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: <https://doi.org/10.1109/mems-tech53091.2021.9467916>
  3. Trunina, I., Khovrak, I., Bilyk, M. (2020). Academic Entrepreneurship in Ukraine: Determinants of Development and Performance Indicators. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240891>
  4. Benedetti, M., Cesarotti, V., Introna, V., Serranti, J. (2016). Energy consumption control automation using Artificial Neural Networks and adaptive algorithms: Proposal of a new methodology and case study. *Applied Energy*, 165, 60–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.066>
  5. Weigler, F., Scaar, H., Franke, G., Mellmann, J. (2017). Optimization of mixed flow dryers to increase energy efficiency. *Drying Technology*, 35 (8), 985–993. doi: <https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1230627>
  6. Feudjio Letchindjio, C., Zamudio Lara, J., Dewasme, L., Hernández Escoto, H., Vande Wouwer, A. (2021). Dual-Input Slope Seeking Control of Continuous Micro-Algae Cultures with Experimental Validation. *Applied Sciences*, 11 (16), 7451. doi: <https://doi.org/10.3390/app11167451>
  7. Zagirnyak, M., Aliksieieva, I., Konoh, I., Korenkova, T. (2019). Extreme control system for pump complex by the criterion of maximum efficiency. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2019 (1), 79–84. doi: <https://doi.org/10.15407/tech2019.01.079>
  8. Fera, M., Greco, A., Caterino, M., Gerbino, S., Caputo, F., Macchiaroli, R., D'Amato, E. (2019). Towards Digital Twin Implementation for Assessing Production Line Performance and Balancing. *Sensors*, 20 (1), 97. doi: <https://doi.org/10.3390/s200110097>
  9. Lutsenko, I., Koval, S., Oksanych, I., Serdiuk, O., Kolomits, H. (2018). Development of structural-parametric optimization method in systems with continuous feeding of technological products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (94)), 55–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.136609>
  10. Lutsenko, I., Koval, S., Tytiuk, V. (2021). Developing interactive interaction of dual buffering systems and conversion class systems with continuous supply of technological products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (113)), 20–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.240163>
  11. 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>
  12. Lutsenko, I. (2021). Cybernetic estimation of reserve utilization efficiency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (114)), 28–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245017>
  13. Lutsenko, I. (2014). Systems engineering of optimal control. Synthesis of the structure of the technological products conversion system (Part 1). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (72)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.28724>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252076

**MODIFYING THE METHOD FOR FORECASTING HAZARDOUS PROCESSES WITH UNKNOWN DYNAMICS IN THE PRESENCE OF NOISE (p. 29–36)**

**Boris Pospelov**

Scientific-Methodical Center of Educational Institutions  
in the Sphere of Civil Defence, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0957-3839>

**Vladimir Andronov**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7486-482X>

**Olekcii Krainiukov**

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

**Kostiantyn Karpets**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6388-7647>

**Yuliia Bezuhla**

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

**Kostiantyn Fisun**

National Academy of the National Guard  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8363-0416>

**Svyatoslav Manzhura**

National Academy of the National Guard  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9258-9320>

**Svitlana Hryshko**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical  
University, Melitopol, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5054-3893>

**Olga Mukhina**

H. S. Skovoroda Kharkiv National  
Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1815-1988>

**Valentyna Ivanova**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State  
Pedagogical University, Melitopol, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6121-6978>

This paper has substantiated a modified method that, within the framework of the adaptive zero-order Brown's model, provides for increased accuracy in predicting processes with unknown dynamics masked by the noise of various levels. The forecasting method modification essentially involves an adaptive technique for determining the weight of the correction of the previous forecast, taking into consideration the recurrent state of the predicted process in time. To investigate the accuracy of the forecasting method, a test model of the process dynamics was determined in the form of a rectangular pulse with unit amplitude. In addition,

a model of additive masking noise was defined in the form of a discrete Gaussian process with a zero mean and a variable value of the mean square deviation. Based on determining the exponentially smoothed values of current absolute forecasting errors, the dynamics of forecast accuracy were examined for the modified and self-adjusting methods. It was found that for the mean quadratic deviation of the masking noise equal to 0.9, the smoothed absolute prediction error for the modified method does not exceed 23 %; for the self-adjusting method – 42 %. This means that the prediction accuracy for the modified method is about twice as high. In the case of an average square deviation of masking noise of 0.1, the smoothed absolute prediction error for the modified and self-adjusting methods is approximately the same and does not exceed 10 %. That means that at a low level of masking noise, both prediction methods provide approximately the same accuracy. However, with an increase in the level of masking noise, the self-adjusting method significantly loses the accuracy of the forecast to the proposed modified method.

**Keywords:** modified forecasting method, unknown dynamics, masking noise, Brown's model, forecasting errors.

### References

- Vambol, S., Vambol, V., Bogdanov, I., Suchikova, Y., Rashkevich, N. (2017). Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118213>
- Tan, P., Steinbach, M., Kumar, V. (2005). *Introduction to Data Mining*. Addison Wesley, 864.
- Semko, A. N., Beskrovnaya, M. V., Vinogradov, S. A., Hritsina, I. N., Yagudina, N. I. (2014). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 52 (3), 655–664. Available at: <http://jtam.pl/The-usage-of-high-speed-impulse-liquid-jets-for-putting-out-gas-blowouts-,102145,0,2.html>
- Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
- Migalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727>
- Vambol, S., Vambol, V., Sobyna, V., Koloskov, V., Poberezhna, L. (2019). Investigation of the energy efficiency of waste utilization technology, with considering the use of low-temperature separation of the resulting gas mixtures. *Energetika*, 64 (4), 186–195. doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i4.3893>
- Dubinina, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finely dispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127865>
- Kovalov, A., Otrosh, Y., Ostroverkh, O., Hrushovinchuk, O., Savchenko, O. (2018). Fire resistance evaluation of reinforced concrete floors with fire-retardant coating by calculation and experimental method. *E3S Web of Conferences*, 60, 00003. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000003>
- Otrosh, Y., Semkiv, O., Rybka, E., Kovalov, A. (2019). About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1), 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>
- Dadashov, I., Loboichenko, V., Kireev, A. (2018). Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*, 37 (1), 63–77. Available at: [http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10\\_proof.pdf](http://29yjmo6.257.cz/bitstream/123456789/9380/1/Poll%20Res-10_proof.pdf)
- Kustov, M. V., Kalugin, V. D., Tutunik, V. V., Tarakhno, E. V. (2019). Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 1, 92–99. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99>
- Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et. al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). *Fire resistance of reinforced concrete and steel structures*. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
- Lebedinskiy, A. A., Dozortsev, V. M., Kneller, D. V. (2004). *Usovershenstvovannyye ASUTP na osnove Profit@Controller razrabotki korporatsii Honeywell*. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 6, 39–41. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/282705449\\_Usovershenstvovannyye\\_ASUTP\\_na\\_osnove\\_ProfitRController\\_razrabotki\\_korporatsii\\_Honeywell](https://www.researchgate.net/publication/282705449_Usovershenstvovannyye_ASUTP_na_osnove_ProfitRController_razrabotki_korporatsii_Honeywell)
- Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Maksymenko, N., Meleshchenko, R. et. al. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
- Doyle, J. (1996). Robust and Optimal Control. *Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control*, 1595–1598. doi: <https://doi.org/10.1109/cdc.1996.572756>
- Makshanov, A. V., Musaev, A. A. (2019). *Intellectual'nyi analiz dannyh*. Sankt-Peterburg: SPbGTI(TU), 188.
- Yusupov, R. M., Musaev, A. A. (2017). Efficiency of information systems and technologies: features of estimation. *SPIIRAS Proceedings*, 2 (51), 5–34. Available at: <http://proceedings.spiiras.nw.ru/index.php/sp/article/view/3477/2027>
- Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Yashchenko, O., Bezuhla, Y., Bielai, S. et. al. (2021). Short-term forecast of fire in the premises based on modification of the Brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (112)), 52–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238555>
- Lukashin, Yu. P. (2003). *Adaptivnyye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov*. Moscow: Finansy i statistika, 416.
- Brown, R. G. (2004). *Smoothing, forecasting and prediction of discrete time series*. Courier Corporation, 468.
- Svetun'kov, S. G., Butuhanov, A. V., Svetun'kov, I. S. (2006). *Zapredel'nye sluchai metoda Brauna v ekonomicheskom prognozirovanii*. Sankt-Peterburg: SPbGUEF, 71.
- Gambarov, G. M., Zhuravel', N. M., Korolev, Yu. G. (1990). *Statisticheskoe modelirovanie i prognozirovanie*. Moscow: Finansy i statistika, 383.

23. Lugachev, M. I., Lyapunov, Yu. P. (1999). *Metody sotsial'no-ekonomicheskogo prognozirovaniya*. Moscow: TIIS, 160.
24. Svetun'kov, S. G. (2002). O rasshirenii granits primeneniya metoda Brauna. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov*, 3, 94–107.
25. Hyndman, R. J., Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast Package for R. *Journal of statistical software*, 27 (3), 1–22. doi: <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
26. Vartanyan, V. M., Romanenkov, Yu. A., Kononenko, A. V. (2005). Parametricheskii sintez prognoznoy modeli eksponentsial'nogo sglazhivaniya. *Vestnik NTU «KhPI»*, 59, 9–16. Available at: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/28135/1/vestnik\\_KhPI\\_2005\\_59\\_Vartanyan\\_Parametricheskii.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/28135/1/vestnik_KhPI_2005_59_Vartanyan_Parametricheskii.pdf)
27. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Karpets, K., Pirohov, O. et. al. (2019). Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>
28. Tebueva, F. B., Streblyanskaya, N. V. (2016). Adaptivnyi metod prognozirovaniya dlya korotkikh vremennykh ryadov prirodnykh protsessov. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki*, 6 (20), 83–87.
29. Svetun'kov, I. S. (2010). Samoobuchayushchaya model' kratkosrochnogo prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskoy dinamiki. *Modeli otsenki, analiza i prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem*. Kharkiv: INZhEK, 11–32. Available at: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/q1zrwhrj6z/84096936.pdf>
30. Webber, C. L., Ioana, C., Marwan, N. (Eds.) (2016). *Recurrence Plots and Their Quantifications: Expanding Horizons*. Springer Proceedings in Physics. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29922-8>
31. Sadkovyi, V., Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Rud, A. et. al. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>
32. Pospelov, B., Rybka, E., Togobytska, V., Meleshchenko, R., Danchenko, Y., Butenko, T. et. al. (2019). Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 22–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176579>
33. Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2010). *Random data: analysis and measurement procedures*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
34. Singh, P. (2016). *Time-frequency analysis via the fourier representation*. HAL. 2016. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330/document>
35. Stankovic, L., Dakovic, M., Thayaparan, T. (2014). *Time-frequency signal analysis with Applications*. Kindle edition, 655.
36. Giv, H. H. (2013). Directional short-time Fourier transform. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 399 (1), 100–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2012.09.053>
37. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequencytemporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125926>
38. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilo, M., Krainiukov, O., Biryukov, I. et. al. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>
39. Sinaga, H., Irawati, N. (2020). A Medical Disposable Supply Demand Forecasting By Moving Average And Exponential Smoothing Method. *Proceedings of the Proceedings of the 2nd Workshop on Multidisciplinary and Applications (WMA) 2018, 24-25 January 2018, Padang, Indonesia*. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.24-1-2018.2292378>
40. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T. et. al. (2021). Short-term fire forecast based on air state gain recurrence and zero-order brown model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233606>
41. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155027>
42. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Harbuz, S., Bezuhla, Y. et. al. (2020). Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (104)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200140>
43. Pospelov, B., Rybka, E., Samoilo, M., Krainiukov, O., Kulbakhko, Y., Bezuhla, Y. et. al. (2021). Investigating errors when forecasting processes with uncertain dynamics and observation noise by the self-adjusting brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (114)), 47–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244623>
44. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Romin, A. (2018). Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122419>

DOI: [10.15587/1729-4061.2022.251913](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251913)

**DEVELOPMENT OF PIPELINED POLYNOMIAL MULTIPLIER MODULO IRREDUCIBLE POLYNOMIALS FOR CRYPTOSYSTEMS (p. 37–43)**

**Sakhybay Tynymbayev**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunication, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9326-9476>

**Margulan Ibraimov**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8049-3911>

**Timur Namazbayev**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
 Research Center «KazAlfaTech LTD», Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2389-2262>

**Sergiy Gnatyuk**

Yessenov University, Aktau, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4992-0564>

In this paper, we consider a schematic solution of the pipeline multiplier modulo, where multiplication begins with the analysis of the lowest order of the polynomial multiplier, which can serve as an operating unit for high-speed encryption and decryption of data by hardware implementation of cryptosystems based on a non-positional polynomial notation. The functional diagram of the pipeline and the structure of its logical blocks, as well as an example of performing the operation of multiplying polynomials modulo, are given. The correct functioning of the developed circuit was checked by modeling in the Vivado Design Suite computer-aided design for the implementation of the multiplication device on the development/evaluation kit Artix-7 based on the Spartan 6 field-programmable gate array series by Xilinx. The effectiveness of the proposed hardware pipeline multiplier in modulo is confirmed by the Verilog Testbench timing diagram implemented for the evaluation kit Artix-7 field-programmable gate array. In addition, the developed pipelined modulo multiplier takes no more than 0.02 % of the resources of the used field-programmable gate array for a given length of input data. Compared to the matrix multiplication method, a pipelined modulo multiplier can handle a large data stream without waiting for the result of the previous multiplication step. The modulo pipelined multiplier depth depends on the bit width of the input data. The developed pipeline device can be used in digital computing devices operating in a polynomial system of residue classes, as well as for high-speed data encryption in blocks of cipher processors operating on the basis of a non-positional polynomial number system.

**Keywords:** cryptography, polynomial system of residue classes, pipeline multiplier modulo, FPGA.

## References

- Li, L., Li, S. (2016). High-Performance Pipelined Architecture of Elliptic Curve Scalar Multiplication Over GF(2m). *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 24 (4), 1223–1232. doi: <https://doi.org/10.1109/tvlsi.2015.2453360>
- Mohaghegh, S., Yemiscioglu, G., Muhtaroglu, A. (2020). Low-Power and Area-Efficient Finite Field Multiplier Architecture Based on Irreducible All-One Polynomials. 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). doi: <https://doi.org/10.1109/iscas45731.2020.9181179>
- Nejatollahi, H., Gupta, S., Imani, M., Rosing, T. S., Cammarota, R., Dutt, N. (2020). CryptoPIM: In-memory Acceleration for Lattice-based Cryptographic Hardware. 2020 57th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC). doi: <https://doi.org/10.1109/dac18072.2020.9218730>
- Singh, J., Kumar, S. (2021). A new class of irreducible polynomials. *Communications in Algebra*, 49 (6), 2722–2727. doi: <https://doi.org/10.1080/00927872.2021.1881789>
- Devi, S., Mahajan, R., Bagai, D. (2021). A low complexity bit parallel polynomial basis systolic multiplier for general irreducible polynomials and trinomials. *Microelectronics Journal*, 115, 105163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2021.105163>
- Svoboda, A. Valach, M. (1955). *Operatorove obvody*. *Stroje Na Zpracovani Informaci*, 3, 247–296.
- Akushkiy, I. Ya., Yuditskiy, D. I. (1968). *Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassakh*. Moscow: Sovetskoe radio, 440.
- Sinha Roy, S., Basso, A. (2020). High-speed Instruction-set Coprocessor for Lattice-based Key Encapsulation Mechanism: Saber in Hardware. *IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems*, 443–466. doi: <https://doi.org/10.46586/tches.v2020.i4.443-466>
- Cenk, M., Özbudak, F. (2011). Multiplication of polynomials modulo xn. *Theoretical Computer Science*, 412 (29) 3451–3462. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2011.02.031>
- Biyashev, R. G., Nyssanbayeva, S. E. (2012). Algorithm for creating a digital signature with error detection and correction. *Cybernetics and Systems Analysis*, 48 (4), 489–497. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-012-9428-5>
- Nysanbaev, R. K. (1999). Kriptograficheskiy metod na osnove polinomial'nykh bazisov. *Vestnik Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya i Natsional'noy akademii nauk Respubliki Kazakhstan*, 5, 63–65.
- Yenlik, B., Olga, U., Rustem, B., Saule, N. (2020). Development of an automated system model of information protection in the cross-border exchange. *Cogent Engineering*, 7 (1), 1724597. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1724597>
- Kapalova, N., Khompysh, A., Arici, M., Algazy, K. (2020). A block encryption algorithm based on exponentiation transform. *Cogent Engineering*, 7 (1), 1788292. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1788292>
- Kalimoldayev, M., Tynymbayev, S., Magzom, M., Ibraimov, M., Khokhlov, S., Abisheva, A., Sydorenko, V. (2019). Polynomials multiplier under irreducible polynomial module for high-performance cryptographic hardware tools. *CEUR Workshop Proceedings*, 2393, 729–737. Available at: [http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper\\_363.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2393/paper_363.pdf)
- Kalimoldayev, M., Tynymbayev, S., Gnatyuk, S., Khokhlov, S. et. al. (2019). Matrix multiplier of polynomials modulo analysis starting with the lower order digits of the multiplier. *NEWS of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 4 (436), 181–187. doi: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.113>
- Jankowski, K., Laurent, P., O'Mahony, A. (2012). Intel Polynomial Multiplication Instruction and its Usage for Elliptic Curve Cryptography. White Paper, 17. Available at: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/polynomial-multiplication-instructions-paper.pdf>
- Xilinx. Available at: <https://www.xilinx.com/products/boards-and-kits.html>
- IEEE Standard 1364-2005. IEEE Standard for Verilog Hardware Description Language. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2006.99495>
- Kalimoldayev M., Tynymbayev S., Ibraimov M., Magzom M., Kozhagulov Y., Namazbayev T. (2020). Pipeline multiplier of polynomials modulo with analysis of high-order bits of the multiplier. *Bulletin of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 4 (386), 13–20. doi: <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.98>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251545**

**CONSTRUCTION OF ALGORITHMS FOR SOLVING THE INVERSE PROBLEM WHEN USING INDICATORS IN SEVERAL CALCULATION FUNCTIONS (p. 44–50)**

**Ekaterina Gribanova**

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russian Federation  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6499-5893>

This paper reports a solution to the inverse problem when using indicators in several calculation functions. Such problems arise during the formation of a multi-level scorecard; solving them makes it possible to determine the value of arguments in order to achieve the specified value of the resulting indicator of each level. Thus, the characteristics of an economic object can be defined in order to achieve the specified indicators of its functioning. Optimization models are given in the presence of various types of conditions for achieving the result. In contrast to existing methods, the approach based on building nonlinear programming models makes it possible to solve the inverse problem for the case where several indicators are used in different calculation functions. Algorithms for solving the inverse problem have been constructed, involving the transformation of constraints and the use of an iterative procedure based on inverse calculations. For the case of using coefficients of relative importance, two techniques of solving the problem have been considered: the formation of a single model for subtasks and the adjustment of the solution to subtasks while minimizing the sum of squares of argument changes. In comparison with the existing method, the proposed algorithms have made it possible to derive a solution with a greater correspondence of the changes in the arguments to the coefficients of relative importance. A solution to the inverse problem has been considered related to the formation of marginal profit of an enterprise in the presence of two points of sale and three types of products, as well as the joint formation of revenue and cost. The results of this study could prove useful to specialists in the field of decision-making in the economy and to developers of software decision support systems that include functions for solving inverse and optimization problems.

**Keywords:** inverse problem, economic analysis, inverse calculations, optimization problem, iterative algorithm.

## References

- Klyuchinskiy, D. V., Novikov, N. S., Shishlenin, M. A. (2021). CPU-time and RAM memory optimization for solving dynamic inverse problems using gradient-based approach. *Journal of Computational Physics*, 439, 110374. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110374>
- Bai, Y., Chen, W., Chen, J., Guo, W. (2020). Deep learning methods for solving linear inverse problems: Research directions and paradigms. *Signal Processing*, 177, 107729. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2020.107729>
- Shananin, A. A. (2018). Inverse Problems in Economic Measurements. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 58 (2), 170–179. doi: <https://doi.org/10.1134/s0965542518020161>
- Zhang, W., Wang, S., Hou, L., Jiao, R. J. (2021). Operating data-driven inverse design optimization for product usage personalization with an application to wheel loaders. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100212>
- Silkina, G. Yu., Pereverzeva, A. A. (2016). Integration of the balanced scorecard and the method of reverse calculation as an analytical tool for company effectiveness management. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 3 (245), 258–267. doi: <https://doi.org/10.5862/je.245.24>
- Vatul'yan, A. O. (2007). *Obratnye zadachi v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela*. Moscow: Fizmatlit, 224.
- Zheng, G.-H., Zhang, Q.-G. (2018). Solving the backward problem for space-fractional diffusion equation by a fractional Tikhonov regularization method. *Mathematics and Computers in Simulation*, 148, 37–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2017.12.005>
- Odintsov, B. E. (2004). *Obratnye vychisleniya v formirovani ekonomicheskikh resheniy*. Moscow: Finansy i statistika, 192.
- Demin, D. (2017). Synthesis of optimal control of technological processes based on a multialternative parametric description of the final state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (87)), 51–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.105294>
- Yang, X.-J., Wang, L. (2015). A modified Tikhonov regularization method. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 288, 180–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.04.011>
- Park, Y., Reichel, L., Rodriguez, G., Yu, X. (2018). Parameter determination for Tikhonov regularization problems in general form. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 343, 12–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2018.04.049>
- Gao, G., Han, B., Tong, S. (2022). A fast two-point gradient algorithm based on sequential subspace optimization method for nonlinear ill-posed problems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 192, 221–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2021.09.004>
- Tsvetkov, M. A. (2007). «Vozvratno-setevoy» metod sovershenstvovaniya struktury kreditno-depozitnoy bazy kommercheskikh bankov. *Ekonomika i upravlenie*, 1, 139–141.
- Gribanova, E. (2020). Development of iterative algorithms for solving the inverse problem using inverse calculations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (105)), 27–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205048>
- Ye, N., Roosta-Khorasani, F., Cui, T. (2019). Optimization Methods for Inverse Problems. *MATRIX Book Series*, 121–140. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04161-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04161-8_9)
- Trunov, A. N. (2015). Modernization of means for analyses and solution of nonlinear programming problems. *Quantitative Methods in Economics*, 16 (2), 133–141. Available at: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.desklight-cba3a7e2-4c09-42c0-a6f5-a80839ba1e95/content/partContents/599a21a3-da58-3b64-9f0b-e7de96363cb2>
- Gribanova, E. (2020). Algorithm for solving the inverse problems of economic analysis in the presence of limitations. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 70–78. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001102>
- Gribanova, E. (2021). An Iterative algorithm for solving inverse problems of economic analysis using weighting factors. *Advances in Engineering Research*. Vol. 43. New York: Nova Science Publishers, 49–79.
- Gribanova, E. (2019). Development of a price optimization algorithm using inverse calculations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (101)), 18–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180993>
- Shen, B., Shen, Y., Ji, W. (2019). Profit optimization in service-oriented data market: A Stackelberg game approach. *Future Generation Computer Systems*, 95, 17–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.072>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251225

**RANKING OF TECHNOLOGICALLY SIGNIFICANT FACTORS DETERMINING THE QUALITY OF REPRODUCTION OF AUGMENTED REALITY ELEMENTS (p. 51–65)**

**Daryna Baranova**

Educational and Scientific Institute for Publishing and Printing of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6335-6026>



**Vasyl Skyba**

Educational and Scientific Institute for Publishing and Printing of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4534-1960>

**Tetiana Rozum**

Educational and Scientific Institute for Publishing and Printing of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1837-1080>

**Kateryna Zolotukhina**

Educational and Scientific Institute for Publishing and Printing of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6915-0651>

The work is devoted to the study of factors influencing the reproduction of augmented reality elements.

The object of the study is technologically significant parameters of the influence on the process of reproduction of AR elements when pointing a phone or tablet camera at a special marker image. The main problem of the study is the lack of information regarding the technological process of creating AR products and a large number of parameters that should be taken into account when choosing a particular technological operation, since changes in these factors greatly affect the correct reproduction of AR elements and further use of such products.

The study determined that in recent years, research has shifted from the field of science to printing and entertainment. This is due to the capabilities of the technology, namely wow effect, content expression, ease of creation, etc., development of digital technologies and competition with digital products.

Also, a low level of research was revealed in the area of products with unstable usage conditions such as clothing, packaging, etc. This can be explained by the development of printing technologies and opportunities in this area only recently, the increase in the popularity of such products only in recent years and, as a result, insufficient knowledge in this area. However, such products are much more popular in the market, which is emphasized by a significant drop in the production of books, magazines, etc.

The results of studying the significance of factors in the marker reproduction processes made it possible to identify the most significant ones (marker parameters, material characteristics, usage conditions, etc.). A systematic and integrated approach to the influence factors of this study allows the development of methods for normalizing the process of creating AR products with unstable usage conditions, which makes it possible to produce workable and reliable products in any conditions.

**Keywords:** augmented reality, augmented reality marker, marker reproduction.

**References**

- Azuma, R. T. (1995). Predictive Tracking for Augmented Reality. TR95-007. UNC-Chapel Hill. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.294.9259&rep=rep1&type=pdf>
- Martindale, J. (2019). What is augmented reality? Available at: <https://www.digitaltrends.com/virtual-reality/what-is-augmented-reality/>
- Yakovlev, B. S., Pustov, S. I. (2013). Klassifikatsiya i perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya tekhnologii dopolnennoy real'nosti. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-perspektivnye-napravleniya-ispolzovaniya-tehnologii-dopolnennoy-realnosti>
- Yavuz, M., Çorbacıoğlu, E., Başoğlu, A. N., Daim, T. U., Shaygan, A. (2021). Augmented reality technology adoption: Case of a mobile application in Turkey. *Technology in Society*, 66, 101598. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101598>
- Verkhova, G., Akimov, S., Kotelnikov, M. (2019). Markerless augmented reality technology in modern education. *Problems of Information Technology*, 10 (2), 29–35. doi: <https://doi.org/10.25045/jpit.v10.i2.05>
- Hu, X., Goh, Y. M., Lin, A. (2021). Educational impact of an Augmented Reality (AR) application for teaching structural systems to non-engineering students. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101436. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101436>
- Zelinska, S. O. (2018). Abilities of the use of technologies of augmented reality in informational and educational environment of higher educational establishment. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University Series «Pedagogy and Psychology»*, 1 (7), 97–99. doi: [https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1\(7\)-97-99](https://doi.org/10.31339/2413-3329-2018-1(7)-97-99)
- Smith, C., Friel, C. J. (2021). Development and use of augmented reality models to teach medicinal chemistry. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 13 (8), 1010–1017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2021.06.008>
- Hincapie, M., Diaz, C., Valencia, A., Contero, M., Güemes-Castorena, D. (2021). Educational applications of augmented reality: A bibliometric study. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107289. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107289>
- Theodoropoulos, A., Lepouras, G. (2021). Augmented Reality and programming education: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 30, 100335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100335>
- Scaravetti, D., Doroszewski, D. (2019). Augmented Reality experiment in higher education, for complex system appropriation in mechanical design. *Procedia CIRP*, 84, 197–202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.284>
- Wedel, M., Bigné, E., Zhang, J. (2020). Virtual and augmented reality: Advancing research in consumer marketing. *International Journal of Research in Marketing*, 37 (3), 443–465. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2020.04.004>
- Jung, T., tom Dieck, M. C. (Eds.) (2018). *Augmented reality and virtual reality: Empowering human, place and business*. Springer, 384. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3>
- Prasad Mohanty, B., Goswami, L. (2021). Advancements in augmented reality. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.696>
- Catalán, A., Gidlöf, F. (2018). Exploring the Use of Augmented Reality in the Experience Industry. Uppsala. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1223688/FULLTEXT01.pdf>
- The 6 Biggest Challenges Facing Augmented Reality. Available at: <https://medium.com/the-mission/the-6-biggest-challenges-facing-augmented-reality-8d48c470286d>
- Zhmyhov, Y. Y., Shabliy, I. V., Ohirko, I. V. (2020). Use of graph theory in printing technologies. *Book Qualilogy*, 1 (37), 79–83. doi: <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2020-1-37-79-83>

18. Kudriashova, A. V., Sosnovskiy, I. Y., Nadybska, N. M., Seraphym, O. V. (2020). Research of quality factors of software testing. *Scientific Papers*, 2 (61), 11–18. doi: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2020-2-61-11-18>
19. Senkivskiy, V. M., Senkivska, N. Y., Kudriashova, A. V. (2019). Optimization of the factor priority model on the quality of designing postprinting processes. *Scientific Papers*, 2 (59), 22–29. doi: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2019-2-59-22-29>
20. Repeta, V. B., Hurhal, N. S., Senkivskiy, V. M., Shybanov, V. V. (2012). The model of hierarchy factors UV-flexographic printing process. *Polihrafiya i vydavnycha sprava*, 4, 76–81. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs\\_2012\\_4\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pivs_2012_4_15)
21. Busacker, G. R., Saaty, T. L. (1965). *Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications*. McGraw-Hill, 294.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252917

**THE DEVELOPMENT OF FIREFLY ALGORITHM WITH FUZZY LOGIC INTEGRATION FOR PRIORITY SEARCH SIMULATION OF FLOOD EVACUATION ROUTES (p. 66–76)**

**T. Brenda Chandrawati**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8971-7395>

**Anak Agung Putri Ratna**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8971-7395>

**Riri Fitri Sari**

Universitas Indonesia, Kota Depok, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8841-8078>

Heavy rain in a particular area can cause flooding in both the primary area and the surrounding area. A flood is an event where water is inundated in an area due to increased water volume. Due to high level of water and other hazards arising from flooding, flood victims need to move to a location prepared for evacuation. To get to that location prepared, the victims must get through a safe route. Searching for safe evacuation routes is important to save flood victims and bring them to the evacuation centre safely. Search for evacuation routes related to obstacles on the road to get through. Slippery roads, high puddles of water on the roads, rivers that are located close to the roads that flood victims will have to get through, drainage of waterways and the vulnerability of victims are taken into consideration in choosing a route to get to the evacuation location. There are several problems in choosing a safe route: (1) how to take into account the obstacles on the road to be passed (2) how to choose the priority of the route to be passed with the obstacles encountered. The proposed solution to deal with the problems encountered are (1) to take into account road obstacles by giving the obstacle weights. Fuzzy logic is used to calculate the value of obstacle weights (2) the problem of selecting route priorities will be solved using the firefly algorithm. The firefly algorithm is an algorithm inspired by the social life of fireflies. The priority route for evacuation of flood victims is sought using the method proposed in this study which is the optimal route. The optimal route referred to in this study is the route that has the smallest obstacle weight value. The simulation results show that the fuzzy logic integrated into the firefly algo-

rithm (FuFA) provides a safe route priority, indicated by the smallest obstacle weight value.

**Keywords:** flood, evacuation routes, weight, obstacle, fuzzy logic, Firefly algorithm, priority route, optimal route, safe route, FuFA.

**References**

1. Gomes, R., Straub, J. (2017). Genetic algorithm for flood detection and evacuation route planning. *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXIII*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2266474>
2. Bernardini, G., Santarelli, S., Quagliarini, E., D’Orazio, M. (2017). Dynamic guidance tool for a safer earthquake pedestrian evacuation in urban systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 150–161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.07.001>
3. Forcael, E., González, V., Orozco, F., Vargas, S., Pantoja, A., Moscoso, P. (2014). Ant Colony Optimization Model for Tsunamis Evacuation Routes. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29 (10), 723–737. doi: <https://doi.org/10.1111/mice.12113>
4. Khalilpourazari, S., Pasandideh, S. H. R. (2021). Designing emergency flood evacuation plans using robust optimization and artificial intelligence. *Journal of Combinatorial Optimization*, 41 (3), 640–677. doi: <https://doi.org/10.1007/s10878-021-00699-0>
5. Tamakloe, R., Hong, J., Tak, J., Park, D. (2021). Finding evacuation routes using traffic and network structure information. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102853>
6. Hidalgo-Paniagua, A., Vega-Rodríguez, M. A., Ferruz, J., Pavón, N. (2015). Solving the multi-objective path planning problem in mobile robotics with a firefly-based approach. *Soft Computing*, 21 (4), 949–964. doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-015-1825-z>
7. Brand, M., Yu, X.-H. (2013). Autonomous robot path optimization using firefly algorithm. *2013 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. doi: <https://doi.org/10.1109/icmlc.2013.6890747>
8. Sutantyo, D., Levi, P. (2015). Decentralized underwater multi-robot communication using bio-inspired approaches. *Artificial Life and Robotics*, 20 (2), 152–158. doi: <https://doi.org/10.1007/s10015-015-0201-5>
9. Wang, G. et. al. (2012). A modified firefly algorithm for UCAV path planning. *International Journal of Hybrid Information Technology*, 5 (3), 123–144. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?sessionid=CAD0E8B60657571D44BEBA8E78A4299F?doi=10.1.1.643.3618&rep=rep1&type=pdf>
10. Patle, B. K., Parhi, D. R., Jagadeesh, A., Kashyap, S. K. (2017). On firefly algorithm: optimization and application in mobile robot navigation. *World Journal of Engineering*, 14 (1), 65–76. doi: <https://doi.org/10.1108/wje-11-2016-0133>
11. Tighzert, L., Fonlupt, C., Mendil, B. (2018). A set of new compact firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 40, 92–115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2017.12.006>
12. Patle, B. K., Pandey, A., Jagadeesh, A., Parhi, D. R. (2018). Path planning in uncertain environment by using firefly algorithm. *Defence Technology*, 14 (6), 691–701. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.06.004>
13. Trachanatzis, D., Rigakis, M., Marinaki, M., Marinakis, Y. (2020). A firefly algorithm for the environmental prize-col-

lecting vehicle routing problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 57, 100712. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100712>

14. Feng, K., Wang, X., Han, J., Liu, S. (2019). Local Path Planning Method of Unmanned Ship Based on Improved Firefly Algorithm. *International Journal of Engineering and Advanced Research Technology (IJEART)*, 5 (11). Available at: [https://www.ijeart.com/download\\_data/IJEART0511002.pdf](https://www.ijeart.com/download_data/IJEART0511002.pdf)
15. Yang, X.-S. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver Press.
16. Fister, I., Fister, I., Yang, X.-S., Brest, J. (2013). A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, 34–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2013.06.001>
17. Yang, X.-S. (2009). *Firefly Algorithms for Multimodal Optimization*. *Lecture Notes in Computer Science*, 169–178. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14)
18. Chandrawati, T. B., Ratna, A. A. P., Sari, R. F. (2020). Path Selection using Fuzzy Weight Aggregated Sum Product Assessment. *International Journal of Computers Communications & Control*, 15 (5). doi: <https://doi.org/10.15837/ijccc.2020.5.3978>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252997**

**DEVELOPMENT OF A SYSTEMS APPROACH TO ASSESSMENT OF INVESTMENT PROJECT RISKS: RISKS OF UNACCEPTABLY LOW PROJECT PROFITABILITY (p. 77–86)**

**Alexander Vasiliev**

Odessa I. I. Mechnikov National University, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3826-4883>

**Nataliia Vasilieva**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0211-7141>

**Natalia Tupko**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0625-3271>

A new systems approach to quantitative estimation of financial risks of investment projects was proposed: an integral risk of the project as a whole for all its parameters at once and the risks for each of its parameters separately. At the same time, the very concept of the project risk has been generalized: instead of the conventional risk of unprofitability, a new, more general concept of the risk of unacceptably low project profitability has been introduced. Two levels of the project profitability were considered: a level acceptable to the investor and a realistically achievable level. Corresponding values of design parameters and indices of financial efficiency of the project were found for these levels. Based on the found values, relative margins of investment acceptability and risks of unacceptably low profitability of the project were calculated. A procedure of comprehensive assessment of the risk of unacceptably low profitability of the project for cases of high certainty and partial uncertainty has been developed. Explicit formulas for quantitative risk assessment of unacceptably low profitability of the project have been derived, ranges of values of all risks under consideration have been determined and appropriate recommendations have been given. Explicit formulas for calculating the values of project risks and dynamic points of project acceptability are convenient and useful for software

implementation (for example, within the Monte Carlo method). For the Monte Carlo method and the method of scenarios, another alternative approach to assessing the integral risk of unacceptably low project profitability was proposed by the authors based on the direct calculation of unacceptable scenario values of any criterion of the project financial efficiency. A new index of financial efficiency of the project has also been introduced: a discounted period of acceptable return (discounted payback period of the project is its special case).

**Keywords:** explicit formula, calculation, project risk, situation, high certainty, partial uncertainty.

**References**

1. Keršytė, A. (2012). Investment risk analysis: theoretical aspects. *Economics and management*, 17 (3). doi: <https://doi.org/10.5755/j01.em.17.3.2099>
2. Hopkinson, M. (2017). *Net Present Value and Risk Modelling for Projects*. Routledge, 180. doi: <https://doi.org/10.4324/9781315248172>
3. Gotze, U., Northcott, D., Schuster, P. (2015). *Investment Appraisal. Methods and Models*. Springer, 363. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45851-8>
4. Carmichael, D. G. (2016). Adjustments within discount rates to cater for uncertainty – Guidelines. *The Engineering Economist*, 62 (4), 322–335. doi: <https://doi.org/10.1080/0013791x.2016.1245376>
5. Zholonko, T., Grebinchuk, O., Bielikova, M., Kulynych, Y., Oviechkinina, O. (2021). Methodological Tools for Investment Risk Assessment for the Companies of Real Economy Sector. *Journal of Risk and Financial Management*, 14 (2), 78. doi: <https://doi.org/10.3390/jrfm14020078>
6. Smolyak, S. A. (2012). Investment Project Evaluation under Risk and Uncertainty Investment Project Evaluation under Risk and Uncertainty (Expected Effect Theory). Moscow, 158. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.2097349>
7. Aven, T. (2015). *Risk Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, 197. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119057819>
8. Tarzia, D. A. (2016). Properties of the Financial Break-Even Point in a Simple Investment Project As a Function of the Discount Rate. *Journal of Economic & Financial Studies*, 4 (02), 31–45. doi: <https://doi.org/10.18533/jefs.v4i02.226>
9. Vasil'ev, A., Vasil'eva, N., Tupko, N. (2017). Development of combined method for analysis of financial risks of investment project. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (4 (36)), 43–49. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.108527>
10. Vasyliiev, O., Vasyliieva, N., Tupko, N. (2021). Reserves of investment acceptability of the project based on values of its parameters and efficiency criteria. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Economic Sciences*, 43, 81–85. doi: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2021-43-12>
11. Firescu, V., Branza, D. (2016). Cost volume profit, a managerial accounting technique. *Scientific Bulletin – Economic Sciences*, 15 (3), 25–34. URL: [http://economic.upit.ro/repec/pdf/2016\\_3\\_3.pdf](http://economic.upit.ro/repec/pdf/2016_3_3.pdf)
12. Hazen, G., Magni, C. A. (2021). Average internal rate of return for risky projects. *The Engineering Economist*, 66 (2), 90–120. doi: <https://doi.org/10.1080/0013791x.2021.1894284>
13. Mahmoud, H., Ahmed, V., Beheiry, S. (2021). Construction Cash Flow Risk Index. *Journal of Risk and Financial Management*, 14 (6), 269. doi: <https://doi.org/10.3390/jrfm14060269>
14. Nykamp, S., Bakker, V., Molderink, A., Hurink, J. L., Smit, G. J. M. (2013). Break-even analysis for the storage

- of PV in power distribution grids. *International Journal of Energy Research*, 38 (9), 1112–1128. doi: <https://doi.org/10.1002/er.3106>
15. Blaset Kastro, A. N., Kulakov, N. Y. (2020). Risk-adjusted discount rates and the present value of risky nonconventional projects. *The Engineering Economist*, 66 (1), 71–88. doi: <https://doi.org/10.1080/0013791x.2020.1815918>
  16. Brzakovic, T., Brzakovic, A., Petrovic, J. (2016). Application of scenario analysis in the investment projects evaluation. *Ekonomika Poljoprivrede*, 63 (2), 501–513. doi: <https://doi.org/10.5937/ekopolj1602501b>
  17. Prokopenko, T., Lavdanska, O., Povolotskyi, Y., Obodovskiy, B., Tarasenko, Y. (2021). Devising an integrated method for evaluating the efficiency of scrum-based projects in the field of information technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (3 (113)), 46–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242744>
  18. Vasiliev, O., Vasilieva, N., & Tupko, N. (2019). A new approach to formation of rating of parameters of investment project in terms of their risks. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Economic Sciences*, 34, 153–156. doi: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-33>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252743

**ВИРІШЕННЯ ОДНІЄЇ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИ ВИСНАЖЕННІ ГАЗОВОГО ПЛАСТА (с. 6–13)**

Kamil Mamtiyev, Tarana Aliyeva, Ulviyya Rzayeva

З використанням методів теорії оптимального управління вирішена задача визначення оптимального технологічного режиму експлуатації газових родовищ за умови їхнього виснаження до заданого моменту часу. Дана задача представляє особливий інтерес при експлуатації морських родовищ, робота яких обмежена терміном служби промислового обладнання. Розглянута задача також представляє певний математичний інтерес як задача оптимального управління нелінійними системами з розподіленими параметрами. Корисність та важливість вирішення таких задач визначаються багатством класу основних задач, що мають практичний результат. В якості критерію оптимальності розглядається квадратичний функціонал, що характеризує умови виснаження пласта. Шляхом введення допоміжної крайової задачі та врахування умов стаціонарності функцій Лагранжа в оптимальній точці отримана формула для градієнта мінімізованого функціоналу.

Для вирішення цієї конкретної задачі оптимізації, функція управління якої знаходиться в класі кусково-безперервної та обмеженої функції з розривами першого роду, застосовується принцип максимуму Понтрягіна. Розрахунок градієнта функціоналу для вихідної і сполученої задач з диференціальними рівняннями в приватних похідних здійснюється методом прямих.

Чисельне вирішення задачі здійснювалося двома методами – методом проекції градієнта з особливим вибором кроку та методом послідовних наближень.

Незважаючи на некоректність задач оптимального управління з квадратичним функціоналом, метод проекції градієнта не виявив схильності до «дисперсії» і давав збіжну послідовність управлінь.

**Ключові слова:** задача управління, процес фільтрації газу, метод проекції градієнта, чисельний експеримент.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252014

**АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ЕЙЛЕРА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ НЕЧІТКИХ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ (с. 13–19)**

Kais I. Ibraheem, Hisham M. Khudhur

Нечіткі нелінійні рівняння відіграють важливу роль у різних інженерних, наукових задачах, математиці, хімії, фізиці, біології, машинному навчанні, глибокому навчанні, регресії та класифікації, інформатиці, програмуванні, штучному інтелекті, у військовій, медичній та машинобудівній промисловості, робототехніці та розумних автомобілях. У даній роботі для вирішення нечітких нелінійних рівнянь пропонується алгоритм оптимізації, заснований на методі Ейлера. У математиці та інформатиці метод Ейлера (іноді званий прямим методом Ейлера) являє собою чисельну стратегію першого порядку для вирішення звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР) із заданим початковим значенням. Відповідно до методу Ейлера, локальна похибка пропорційна квадрату величини кроку, в той час як загальна похибка пропорційна величині кроку. Метод Ейлера часто використовується для створення більш складних алгоритмів. Алгоритм оптимізації, заснований на методі Ейлера (ОБЕ), використовує логіку кутового коефіцієнта прямої, яка обчислюється методом Ейлера для глобальних оптимізацій в якості механізму пошуку перспективної логіки. Крім того, у механізмі запропонованої роботи використовуються дві активні фази: розвідка та розробка для пошуку найбільш важливих перспективних областей в рамках окремого простору та найкращих рішень в глобальному масштабі, заснованих на позитивному русі до нього. Щоб уникнути рішення локального оптимуму і збільшити швидкість збіжності, в даній роботі використано механізм ESQ. Алгоритм оптимізації, заснований на методі Ейлера (ОБЕ), дуже ефективний при вирішенні нечітких нелінійних рівнянь і наближається до глобального мінімуму, уникаючи локального мінімуму. У порівнянні з алгоритмом GWO відзначено явну перевагу алгоритму ОБЕ в досягненні рішення з більш високою точністю. З чисельних результатів випливає, що новий алгоритм на 50 % перевершує алгоритм GWO у прикладі 1, на 51 % у прикладі 2 і на 55 % у прикладі 3.

**Ключові слова:** алгоритми, підхід, нечіткий, глобальний, метод Ейлера, інтелектуальні методи, нелінійні рівняння, чисельна оптимізація, рої.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252267

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕСУРСОМІСТКИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ З НЕПРЕРИВНИМ ПОДАВАННЯМ СИРОВИНИ ПО КРИТЕРІЮ МІНІМУМА ВИКОРИСТОВУВАНИХ ЗАПАСІВ (с. 20–28)**

І. А. Луценко, С. С. Коваль, І. Г. Оксанич, І. В. Шевченко

Оптимізація виробничих процесів завжди була одним з наріжних каменів для промислових підприємств, які прагнуть підвищення продуктивності при мінімізації пов'язаних з цим витрат. Особливо складною є ситуація, коли необхідно управляти процесом всього виробничого ланцюжка з безперервним подаванням сировинних продуктів. Доводиться контролювати реальні виробничі дані, поточні вимоги виробництва та дотримуватися міжнародної стратегії енергозбереження.

Показано розроблену оптимальну динамічну систему з безперервним подаванням сировинних продуктів, яка в автоматичному режимі змінює траєкторію управління з метою зменшення кількості використовуваних ресурсів. Теоретична наукова складова представлена у вигляді інтерфейсної моделі системи, а результати досліджень – у вигляді часових діаграм, що показують верифікацію запропонованої моделі.

У роботі моделі передбачено взаємозв'язок ланцюжка таких розроблених динамічних систем, у яких безперервність процесу забезпечують системи буферизації, а оптимальність роботи – механізми адаптації.

На часових діаграмах можна простежити за взаємодією систем та механізмів, що формують інформаційні сигнали через секції портів. На кожному наступному управлюючому впливі зміна параметрів процесу виконувалася у встановленому діапазоні. В результаті цілеспрямованого перебору допустимих управлінь система, під керівництвом механізму адаптації провела поступове зниження витрати енергетичного продукту та стабілізувала інтенсивність цільового продукту, що обробляється, яка дозволила в майбутньому уникнути зупинок і повторних запусків виробничої лінії та знизити комплексні витрати виробництва.

**Ключові слова:** безперервне виробництво, витрати продукту, комплексні витрати операції, моделювання, структурно-параметрична оптимізація.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252076

#### МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОЦЕСІВ З НЕВІДОМОЮ ДИНАМІКОЮ ПРИ НАЯВНОСТІ ШУМІВ (с. 29–36)

Б. Б. Поспєлов, В. А. Андронов, О. М. Крайноков, К. М. Карпець, Ю. С. Безугла, К. А. Фісун, С. В. Манжура, С. В. Гришко, О. Ю. Мухіна, В. М. Іванова

В рамках адаптивної моделі Брауна нульового порядку виконано обґрунтування модифікованого методу, що забезпечує підвищену точність прогнозування процесів з невідомою динамікою, що маскується шумами різного рівня. Суть модифікації методу прогнозування полягає у адаптивному способі визначення ваги корекції попереднього прогнозу з урахуванням рекурентності стану прогнозованого процесу в часі. Для дослідження точності методу прогнозування визначена тестова модель динаміки процесу у вигляді імпульсу прямокутної форми з одиначною амплітудою. Також визначена модель адитивного маскуючого шуму у вигляді дискретного процесу Гауса з нульовим середнім і значенням середнього квадратичного відхилення, що варіюється. На основі визначення експоненційно згладжених значень поточних абсолютних помилок прогнозування досліджено динаміку точності прогнозу для модифікованого та самоналаштованого методу. Встановлено, що для середнього квадратичного відхилення маскуючого шуму, що дорівнює 0,9, згладжена абсолютна помилка прогнозу для модифікованого методу виявляється не більше 23 %, а для самоналаштованого методу – 42 %. Це означає, що точність прогнозу для модифікованого методу виявляється приблизно вдвічі вищою. У разі середнього квадратичного відхилення маскуючого шуму, що дорівнює 0,1, згладжена абсолютна помилка прогнозу для модифікованого і самоналаштованого методу виявляється приблизно однаковою і становить величину, не більше 10 %. Це означає, що при малому рівні маскуючого шуму обидва методи прогнозування забезпечують приблизно однакову точність. Однак при збільшенні рівня маскуючих шумів метод, що самоналаштовується, істотно програє в точності прогнозу пропонованому модифікованому методу.

**Ключові слова:** модифікований метод прогнозування, невідома динаміка, маскуючий шум, модель Брауна, помилки прогнозування.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251913

#### РОЗРОБКА КОНВЕЄРНОГО ПОЛІНОМІАЛЬНОГО МНОЖНИКА ЗА МОДУЛЕМ НЕЗВІДНИХ ПОЛІНОМІВ ДЛЯ КРИПТОСИСТЕМ (с. 37–43)

Sakhybay Tynymbayev, Margulan Ibrahimov, Timur Namazbayev, Sergiy Gnatyuk

У даній роботі розглядається схематичне рішення конвеєрного множника за модулем, де множення починається з аналізу нижчого порядку поліноміального множника, який може служити функціональним блоком для високошвидкісного шифрування і дешифрування даних апаратною реалізацією криптосистем на основі непозиційної поліноміальної системи числення. Наведено функціональну схему конвеєра та структуру його логічних блоків, а також приклад виконання операції множення поліномів за модулем. Коректність функціонування розробленої схеми була перевірена шляхом моделювання в системі автоматизованого проектування Vivado Design Suite для реалізації множника на випробувальному комплекті Artix-7 на базі програмованої логічної інтегральної схеми серії Spartan 6 компанії Xilinx. Ефективність запропонованого апаратного конвеєрного множника за модулем підтверджується часовою діаграмою Verilog Testbench, реалізованою для програмованої логічної інтегральної схеми оціночного комплексу Artix-7. Крім того, розроблений конвеєрний множник за модулем займає не більше 0,02 % ресурсів використаної програмованої логічної інтегральної схеми при заданій довжині вхідних даних. У порівнянні з методом матричного множення конвеєрний множник за модулем може обробляти великий потік даних, не чекаючи результату попереднього етапу множення. Глибина конвеєрного множника за модулем залежить від розрядності вхідних даних. Розроблений конвеєрний пристрій може бути використаний в цифрових обчислювальних пристроях, що працюють в поліноміальній системі залишкових класів, а також для високошвидкісного шифрування даних в блоках процесорів шифрування, що працюють на базі непозиційної поліноміальної системи числення.

**Ключові слова:** криптографія, поліноміальна система залишкових класів, конвеєрний множник за модулем, ПЛІС.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251545

#### РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИРІШЕННЯ ЗВОРОТНОГО ЗАВДАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОКАЗНИКІВ У КІЛЬКОХ ФУНКЦІЯХ РОЗРАХУНКУ (с. 44–50)

К. Б. Грибанова

Розглядається вирішення зворотного завдання під час використання показників у кількох функціях розрахунку. Такі завдання виникають для формування багаторівневої системи показників та його вирішення дозволяє визначити величини аргументів задля досягнення заданого значення результуючого показника кожного рівня. Таким чином, можуть бути визначені характеристики економічного об'єкта для досягнення заданих показників його функціонування. Подано оптимізаційні моделі за наявності різних типів умов досягнення результату. На відміну від існуючих методів підхід на основі формування моделей нелінійного програмування дозволяє виконувати рішення оберненої задачі у разі, коли в різних функціях розрахунку використовуються кілька показників. Розроблено алгоритми вирішення зворотного завдання, що передбачають перетворення обмежень та використання ітераційної процедури на основі зворотних обчислень. У разі використання коефіцієнтів відносної важливості розглянуто два способи розв'язання задачі:

формування єдиної моделі для підзадач та коригування вирішення підзадач при мінімізації суми квадратів змін аргументів. Порівняно з існуючим методом запропоновані алгоритми дозволили отримати рішення за більшої відповідності змін аргументів коефіцієнтам відносної важливості. Розглянуто рішення зворотного завдання формування маржинального прибутку підприємства за наявності двох торгових точок та трьох видів продукції та спільне формування виручки та собівартості. Результати дослідження можуть бути корисні фахівцям у галузі прийняття рішень в економіці та розробникам програмних систем підтримки прийняття рішень, що включають функції вирішення зворотних та оптимізаційних завдань.

**Ключові слова:** зворотне завдання, економічний аналіз, обчислення, задача оптимізації, ітераційний алгоритм.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251225

### РАНЖУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНО-ВАГОМИХ ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ ВІДТВОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ (с. 51–65)

Д. І. Баранова, В. М. Скиба, Т. В. Розум, К. І. Золотухіна

Робота присвячена дослідженню факторів впливу на процес відтворення елементів доповненої реальності.

Об'єктом дослідження є технологічно вагомі параметри впливу на процес відтворення елементів доповненої реальності при наведенні камери телефону чи планшету на спеціальне зображення-маркер. Основна проблема дослідження – недостатність інформації стосовно проведення технологічного процесу створення продукції з елементами доповненої реальності та велика кількість параметрів, які слід враховувати при виборі тої чи іншої технологічної операції, оскільки зміни значення цих факторів сильно впливають на коректність відтворення AR-елементів та використання такого роду продукції у подальшому.

У ході дослідження було визначено, що в останні роки дослідження перемістилися зі сфери науки у поліграфію та розваг. Це пояснюється можливостями технології – вау-ефект, увиразнення контенту, легкість створення тощо, розвитком цифрових технологій та конкуренцією з цифровими продуктами.

Також було виявлено низьку дослідженість сфери продукції з нестабільними умовами використання – одяг, пакування тощо. Це можна пояснити розвитком поліграфічних технологій та можливостей у цій сфері лише останнім часом, збільшення популярності такого роду продукції тільки в останні роки і як наслідок недостатнім рівнем знань у цій сфері. Проте така продукція має значно більшу популярність на ринку, що підкреслюється значним падінням обсягів виробництва книжок, журналів тощо.

Результати дослідження вагомості чинників у процесі відтворення маркерів дозволили виділити найбільш вагомі з них (параметри маркеру, характеристики матеріалів, умови використання тощо). Системний та комплексний підхід до розгляду факторів впливу цього дослідження дозволить розробити методи нормалізації процесу створення AR-продукції з нестабільними умовами використання, що дозволить виготовляти роботоздатну та надійну продукцію за будь-яких умов.

**Ключові слова:** доповнена реальність, маркер доповненої реальності, відтворення маркерів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252917

### РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ FIREFLY З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРІОРИТЕТНОГО ПОШУКУ МАРШРУТІВ ЕВАКУАЦІЇ ПІСЛЯ ПАВОДКІВ (с. 66–76)

T. Brenda Chandrawati, Anak Agung Putri Ratna, Riri Fitri Sari

Сильний дощ у певному районі може спричинити повінь як в основному районі, так і в околицях. Повінь – це подія, коли вода затоплює територію через збільшення обсягу води. Через високий рівень води та інші небезпеки, пов'язані з повені, постраждали від повені повинні переміститися в місце, підготовлене для евакуації. Щоб дістатися цього місця підготовленими, жертви повинні пройти безпечним шляхом. Пошук безпечних шляхів евакуації є важливим для порятунку постраждалих від повені та їх безпечної доставки до центру евакуації. Пошук шляхів евакуації пов'язаний із перешкодами на дорозі, якими потрібно пройти. Слизькі дороги, високі калюжі на дорогах, річки, розташовані близько до доріг, якими доведеться долати постраждалим від повені, дренажування водотоків та вразливість постраждалих враховуються при виборі маршруту до місця евакуації. При виборі безпечного маршруту виникає кілька проблем: (1) як врахувати перешкоди на дорозі, (2) як вибрати пріоритет прохідного маршруту з урахуванням перешкод, що зустрічаються. Пропоноване рішення для вирішення проблем, що виникають: (1) враховувати дорожні перешкоди шляхом присвоєння ваги перешкодам. Для обчислення значення ваги перешкод використовується нечітка логіка; (2) завдання вибору пріоритетів маршруту вирішуватиметься за допомогою алгоритму Firefly. Алгоритм Firefly – це алгоритм, натхненний соціальним життям світлячків. Запропонованим у цьому дослідженні методом здійснюється пошук першочергового маршруту евакуації постраждалих від повені, що є оптимальним маршрутом. Оптимальним маршрутом, що розглядається в даному дослідженні, є маршрут із найменшим значенням ваги перешкоди. Результати моделювання показують, що нечітка логіка, інтегрована в алгоритм Firefly (FuFA), забезпечує пріоритет безпечного маршруту, що визначається найменшою вагою перешкоди.

**Ключові слова:** повінь, шляхи евакуації, вага, перешкода, нечітка логіка, алгоритм Firefly, пріоритетний маршрут, оптимальний маршрут, безпечний маршрут, FuFA.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252997

### РОЗРОБКА СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ РИЗИКІВ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ: РИЗИКИ НЕПРИЙНЯТНО НИЗЬКОЇ ПРОЄКТНОЇ ДОХІДНОСТІ (с. 77–86)

О. Б. Васильєв, Н. С. Васильєва, Н. П. Тупко

Запропоновано новий системний підхід до кількісної оцінки фінансових ризиків інвестиційного проєкту: інтегрального ризику проєкту в цілому відразу за всіма його параметрами та ризиків щодо кожного з його параметрів окремо. При цьому саме поняття ризику проєкту узагальнено: замість традиційного ризику збитковості введено нове, більш загальне поняття ризику неприйнятно низької дохідності проєкту. Розглянуто два рівня дохідності проєкту: прийнятний для інвестора та реально досяжний. Для цих рівнів

знайдено відповідні значення проектних параметрів та основних показників фінансової ефективності проекту. За знайденими значеннями розраховані відносні запаси інвестиційної прийнятності та ризики неприйнятно низької дохідності проекту. Розроблено процедуру комплексної оцінки ризику неприйнятно низької дохідності проекту для випадків високої визначеності та часткової невизначеності. Отримано явні формули для кількісної оцінки ризиків неприйнятно низької дохідності проекту, визначено діапазони значень усіх розглянутих ризиків, надано відповідні рекомендації. Явні формули для обчислення значень проектних ризиків та динамічних точок прийнятності проекту зручні та корисні при програмній реалізації (наприклад, у рамках методу Монте-Карло). Для методу Монте-Карло та методу сценаріїв запропоновано ще один альтернативний підхід до оцінки інтегрального ризику неприйнятно низької дохідності проекту, заснований на безпосередньому підрахунку неприйнятних сценарних значень будь-якого критерію фінансової ефективності проекту. Також введено новий показник фінансової ефективності проекту – дисконтований термін прийнятного доходу, окремим випадком якого є дисконтований термін окупності проекту.

**Ключові слова:** явна формула, розрахунок, проектний ризик, ситуація, висока визначеність, часткова невизначеність.