

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234492**  
**DEVELOPMENT OF BINARY INFORMATION**  
**COMPRESSION METHODS BASED ON THE**  
**BINOMIAL NUMERICAL FUNCTION (p. 6–13)**

**Igor Kulyk**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2403-8671>

**Olga Berezhna**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7105-1276>

**Anatoliy Novhorodtsev**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4598-5598>

**Maryna Shevchenko**

Sumy State University, Sumy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1434-5996>

The application of data compression methods is an effective means of improving the performance of information systems. At the same time, interest is aroused to the methods of compression without information loss which are distinguished by their versatility, low needs of costs during implementation, and the possibility of self-control.

In this regard, the application of binomial numbering systems is promising. The numerical function of the binomial numbering system is used for compression. It makes it possible to put sequences in one-to-one compliance with their numbers. In this case, the transition from binary combinations to binomial numbers is used as an intermediate stage.

During the study, theorems were formulated that indicate properties of compressing and restoring the mappings as well as the ways of their implementation. Models of compression processes were obtained on the basis of a numerical function, both for the case of compressible equilibrium combinations and the case when sequences of a general form are to be compressed. The compression models include coding steps based on binary binomials.

The study results show the effectiveness of applying the compression based on the binomial numerical function. A 1.02 times increase in speed of information transmission through a communication channel was observed in the worst case and 18.29 times in the best case depending on the number of ones in 128-bit equilibrium combinations. The proposed methods are advantageous due to their high compression ratio (from 1.01 to 16 times for general 128-bit sequences) and versatility: combinations are compressed in which the number of ones is 75 % of their total variation range. The developed methods ensure control of errors during conversions. They are undemanding to computation resources and feature low implementation costs.

**Keywords:** binomial numbering systems, binomial numerical function, binomial numbers, compression of binary information.

#### References

- Sayood, K. (2018). Introduction to Data Compression. Morgan Kaufmann, 790. doi: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-06248-7>
- Sayood, K. (2003). Lossless Compression Handbook. Academic Press, 488. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-620861-0.X5000-1>
- Smirnov, M. A. (2004). Obzor primeneniya metodov bezuscherbnogo szhatiya dannyh v SUBD. Saint Petersburg. Available at: [http://compression.ru/download/articles/db/smirnov\\_2003\\_database\\_compression\\_review.pdf](http://compression.ru/download/articles/db/smirnov_2003_database_compression_review.pdf)
- Krasnobayev, V., Kuznetsov, A., Koshman, S., Rassomakhin, S., Zamula, A., Kavun, S. (2018). Effective Data Processing in Coding, Digital Signals and Cryptography. ASC Academic Publishing, 352. Available at: <https://www.amazon.com/effective-processing-digital-signals-cryptography-ebook/dp/B07CSJHHN1>
- Yuan, Y., Zhang, Y., Liu, Z., Guan, X. (2017). Lossless coding scheme for data acquisition under limited communication bandwidth. Digital Signal Processing, 69, 204–211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.06.028>
- Amel'kin, V. A. (1986). Metody numeratsionnogo kodirovaniya. Novosibirsk: Nauka, 155.
- Amel'kin, V. A. (2008). Perechislitel'nye zadachi seriyinyh posledovatel'nostey. Novosibirsk: IVMiMG SO RAN, 317.
- Stakhov, A. P. (2014). A History, the Main Mathematical Results and Applications for the Mathematics of Harmony. Applied Mathematics, 05 (03), 363–386. doi: <https://doi.org/10.4236/am.2014.53039>
- Polyakov, V. I., Skorubsky, V. I., Ekalo, Yu. V. (2015). Application of Factorial System to Combinatorial Problems Solving. Izvestiia vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie, 58 (6), 436–442. doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2015-58-6-436-442>
- Borisenko, A. A. (2004). Binomial'nyy schet. Teoriya i praktika. Sumy: ITD «Universitetskaya kniga», 170. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/55161>
- Kulyk, I., Shevchenko, M. (2020). Development of information-management systems on basis of binary binomial number systems. Information Processing Systems, 2 (161), 78–85. doi: <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.09>
- Kulyk, I., Berezhna, O., Shevchenko, M. (2018). Development of data compressing coding methods on basis of binary binomial numbers. Technology Audit and Production Reserves, 2 (2 (46)), 12–18. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.169897>
- Kulyk, Y. A., Novhorodtsev, A. Y., Skordyna, E. M. (2016). Binomial model of vector representation for database with columnar structure. Information Processing Systems, 4 (141), 50–55. Available at: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16556>
- Schalkwijk, J. (1972). An algorithm for source coding. IEEE Transactions on Information Theory, 18 (3), 395–399. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.1972.1054832>
- Knuth, D. (1997). The Art of Computer Programming, Vol. 1: Fundamental Algorithms. Addison-Wesley Professional, 672. Available at: <https://www.amazon.com/Art-Computer-Programming-Vol-Fundamental/dp/0201896834>
- Anderson, J. A., Anderson, J., Bell, J. (2000). Discrete mathematics with combinatorics. Prentice Hall College Div, 799. Available at: <https://www.amazon.com/Discrete-Mathematics-Combinatorics-James-Anderson/dp/0130869988>
- Kohzuki, K., Tokiwa, K., Tanaka, H. (1997). A class of single error correcting constant weight codes. Electronics and

Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science), 80 (7), 55–64. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6440\(199707\)80:7<55::aid-ecjc7>3.0.co;2-0](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6440(199707)80:7<55::aid-ecjc7>3.0.co;2-0)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233899**  
**DEVELOPMENT OF THE SURVIVABILITY INDICATORS FORECASTING METHOD OF THE SPECIAL-PURPOSE SYSTEM EXECUTIVE ELEMENT BASED ON ANALYTICAL AND STOCHASTIC SIMULATION OF A CONFLICT SITUATION (p. 14–23)**

**Spartak Hohoniants**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0023-5139>

**Dmytro Chopa**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3267-1645>

**Oleksii Kilmeninov**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2193-9725>

**Anatolii Loishyn**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2769-9336>

**Kostyantyn Horbachov**

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7931-1028>

The developed method for forecasting the survivability indicators of the executive element of a special-purpose system based on analytical-stochastic simulation of a conflict situation is presented. The purpose of the method was to solve the problem of preserving and rational use of the resource of the executive elements to achieve the desired effect of the functioning of special-purpose systems.

The method is sensitive to the description of the patterns of changes in the survivability and efficiency indicators of the system. It is supposed to compare the predicted value of the survivability indicator with its criterion value and forecast the time when the system loses the ability to effectively perform tasks.

The survivability indicator is the mathematical expectation of the number of executive elements of a special-purpose system, which retained their ability to perform tasks as intended during a conflict situation.

Based on the results of the study, the values of the time characteristics of a conflict situation were obtained, in particular, the duration of the corresponding states of the executive element: preparation, waiting, implementation.

Graph-analytical simulation provides a solution to the problem of forecasting the time when the loss of executive elements leads to the system's inability to effectively perform tasks.

Checking of the adequacy of the method showed that the confidence interval of the discrepancy between the calculation results of other methods with a confidence level of 0.9 does not exceed 0.095, and no contradictions between

the methods were found. The proposed method provides an increase in the efficiency of determining the corresponding indicators within 8–11 % and reliability by 22 %. The possibility to determine the required reserve and the time for introducing executive elements into the system can provide a justification for how they are used to maintain the required level of efficiency of a special-purpose system.

**Keywords:** forecasting method, survivability indicators, system efficiency, analytical-stochastic simulation, conflict situation.

## References

- Horodnov, V. P., Drobakha, H. A., Yermoshyn, M. O., Smirnov, Ye. B., Tkachenko, V. I. (2004). Modeliuvannya bioivnykh diyi viysk (syl) protypovitrianoi oborony ta informatyivnyy zabezpechennia protsesiv upravlinnia nymy (teoriya, praktyka, istoriya rozvytku). Kharkiv: KhVU, 409.
- Ermoshin, M., Kuleshov, O., Hordiienko, A., Klivets, S. (2020). The Methodical Approach for Assessing Loss of Weapons and Military Equipment by Units and Subunits of Air Defense of Troops (forces). *Systems of Arms and Military Equipment*, 1 (61), 152–157. doi: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.18>
- Laptiev, O., Shuklin, G., Hohoniants, S., Zidan, A., Salanda, I. (2019). Dynamic Model of Cyber Defense Diagnostics of Information Systems With The Use of Fuzzy Technologies. 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). doi: <https://doi.org/10.1109/atit49449.2019.9030465>
- Kirichenko, I. O. (1999). Modelirovanie voozruzheniya zennitnykh raketnykh voysk. Ch. I. Analiticheskie modeli analiza protsessov konfliktnoy prirody. Kharkiv: VIRTА, 198.
- Horodnov, V. P., Hohoniants, S. Yu. (2010). Udoskonale-nna analityko-stokhastychna model protypovitrianoho boiu. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 2 (8), 5–10. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2010\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2010_2_3)
- Zahorka, O., Shchipanskyi, P., Pavlikovskyi, A., Oksiiuk, O., Vialkova, V. (2019). Development of methodical provisions regarding the substantiation of the combat structure of forces for activities in the airspace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (98)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163082>
- Dodonov, A., Gorbachyk, O., Kuznietsova, M. (2018). Increasing the survivability of automated systems of organizational management as a way to security of critical infrastructures. ITS 2018. *Information Technologies and Security*, 261–270. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2318/paper22.pdf>
- Herasimov, S., Pavlenko, M., Roshchupkin, E., Lytvynenko, M., Pukhovi, O., Sali, A. (2020). Aircraft flight route search method with the use of cellular automata. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5077–5082. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatse/2020/129942020>
- Khudov, H., Khizhnyak, I., Koval, V., Maliuha, V., Zvonko, A., Yunda, V. et. al. (2020). The Efficiency Estimation Method of Joint Search and Detection of Objects for Surveillance Technical Systems. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (3), 813–819. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/34832020>
- Khudov, H., Yarosh, S., Savran, V., Zvonko, A., Shcherba, A., Arkushenko, P. (2020). The Technique of Research on the Development of Radar Methods of Small Air Objects De-

tection. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (7), 3708–3715. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/132872020>

11. Zahorka, O., Zahorka, I., Polishchuk. (2020). Justification of the Optimal Composition of the Air Defense Troops Grouping. *Advances in Military Technology*, 15 (1). doi: <https://doi.org/10.3849/aimt.01303>
12. Gogonjanz, S., Tytarenko, A. (2015). The simplest model of functioning of a separate element of the executive system when solving typical tasks. *Riadenie bezpečnosti zložitych systémov*, 169–173. Available at: <http://www.aos.sk/struktura/katedry/ksvj/dokum/zborniky/rbzs2015.pdf>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233501**

**DESIGN OF A RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON THE TRANSITION GRAPH (p. 24–31)**

**Natalia Guk**

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

**Olga Verba**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1030-4377>

**Vladyslav Yevlakov**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0173-7824>

A recommendation system has been built for a web resource's users that applies statistics about user activities to provide recommendations. The purpose of the system operation is to provide recommendations in the form of an orderly sequence of HTML pages of the resource suggested for the user. The ranking procedure uses statistical information about user transitions between web resource pages. The web resource model is represented in the form of a web graph; the user behavior model is shown as a graph of transitions between resource pages. The web graph is represented by an adjacency matrix; for the transition graph, a weighted matrix of probabilities of transitions between the vertices of the graph has been constructed. It was taken into consideration that user transitions between pages of a web resource may involve entering a URL in the address bar of a browser or by clicking on a link in the current page. The user's transition between vertices in a finite graph according to probabilities determined by the weight of the graph's edges is represented by a homogeneous Markov chain and is considered a process of random walk on the graph with the possibility of moving to a random vertex. Random Walk with Restarts was used to rank web resource pages for a particular user. Numerical analysis has been performed for an actual online store website. The initial data on user sessions are divided into training and test samples. According to the training sample, a weighted matrix of the probability of user transitions between web resource pages was constructed. To assess the quality of the built recommendation system, the accuracy, completeness, and Half-life Utility metrics were used. On the elements of the test sample, the accuracy value of 65–68 % was obtained, the optimal number of elements in the recommendation list was determined. The influence of model parameters on the quality of recommendation systems was investigated.

**Keywords:** recommendation system, web graph, transition graph, Markov chain, random walk.

**References**

1. Jansen, B. J., Booth, D. L., Spink, A. (2008). Determining the informational, navigational, and transactional intent of Web queries. *Information Processing & Management*, 44 (3), 1251–1266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2007.07.015>
2. Adomavicius, G., Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: a survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17 (6), 734–749. doi: <https://doi.org/10.1109/tkde.2005.99>
3. Meleshko, E. V., Semenov, S. G., Khokh, V. D. (2018). Research of methods of building advisory systems on the internet. *Control, Navigation and Communication Systems*, 1 (47), 131–136. doi: <https://doi.org/10.26906/sunz.2018.1.131>
4. Aizawa, A. (2003). An information-theoretic perspective of tf-idf measures. *Information Processing & Management*, 39 (1), 45–65. doi: [https://doi.org/10.1016/s0306-4573\(02\)00021-3](https://doi.org/10.1016/s0306-4573(02)00021-3)
5. Parfenenko, Y., Kovtun, A., Verbytska, A. (2019). Recommended information system for video search. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, 5 (118), 97–102. doi: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.5.97-102>
6. Candillier, L., Jack, K., Fessant, F., Meyer, F. (2009). State-of-the-Art Recommender Systems. *Collaborative and Social Information Retrieval and Access*, 1–22. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-306-7.ch001>
7. Uschold, M., Gruninger, M. (2004). Ontologies and semantics for seamless connectivity. *ACM SIGMOD Record*, 33(4), 58–64. doi: <https://doi.org/10.1145/1041410.1041420>
8. Covington, P., Adams, J., Sargin, E. (2016). Deep Neural Networks for YouTube Recommendations. *Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems*. doi: <https://doi.org/10.1145/2959100.2959190>
9. Stotts, P. D., Furuta, R. (1988). Adding browsing semantics to the hypertext model. *Proceedings of the ACM Conference on Document Processing Systems – DOCPROCS'88*. doi: <https://doi.org/10.1145/62506.62516>
10. Ol'shevskiy, A. I., Kondrat'eva, A. A. (2008). Opisaniye sposobov predstavleniya web-saytov v vide freymovoy modeli dlya realizatsii funktsional'nyh operatsiy v Internet-klientskih sistemah. *Iskusstvennyy Intellect*, 1, 110–116. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/6551>
11. Brin, S., Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual Web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30 (1-7), 107–117. doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-7552\(98\)00110-x](https://doi.org/10.1016/s0169-7552(98)00110-x)
12. Herlocker, J. L., Konstan, J. A., Terveen, L. G., Riedl, J. T. (2004). Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems*, 22 (1), 5–53. doi: <https://doi.org/10.1145/963770.963772>
13. Tong, H., Faloutsos, C., Pan, J.-Y. (2007). Random walk with restart: fast solutions and applications. *Knowledge and Information Systems*, 14 (3), 327–346. doi: <https://doi.org/10.1007/s10115-007-0094-2>
14. Huk, N., Dykhanov, S., Matiushchenko, O. (2020). Algorithm for building a website model. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Mathematical modeling. Information technology. Automated control systems»*, 47, 25–34. Available at: <https://periodicals.karazin.ua/mia/article/view/16486>
15. Olson, D. L., Delen, D. (2008) *Advanced Data Mining Techniques*. Springer, 180. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-76917-0>
16. Nasinnia krainy. Available at: <http://semena-dnopr.org.ua/>



**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234959**  
**DEVELOPMENT OF A SYSTEMATIC APPROACH**  
**AND MATHEMATICAL SUPPORT FOR THE**  
**EVACUATION PROCESS (p. 31–42)**

**Yedilkhan Amirgaliyev**

Institute of Information and Computational Technologies of  
the Committee of Science of the Ministry of Education  
and Science of the Republic of Kazakhstan,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6528-0619>

**Aliya Kalizhanova**

Almaty University of Power Engineering  
and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5979-9756>

**Ainur Kozbakova**

Institute of Information and Computational Technologies of  
the Committee of Science of the Ministry of Education  
and Science of the Republic of Kazakhstan,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5213-4882>

**Zhalau Aitkulov**

Institute of Information and Computational Technologies of  
the Committee of Science of the Ministry of Education  
and Science of the Republic of Kazakhstan,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5928-3258>

**Aygerim Astanayeva**

Institute of Information and Computational Technologies of  
the Committee of Science of the Ministry of Education  
and Science of the Republic of Kazakhstan,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5043-4630>

In modern conditions, due to the vastness of the territory of Kazakhstan, with a certain probability, natural disasters such as earthquakes, floods, avalanches, as well as accidents, destruction of buildings, epidemics, release of chemical toxic substances at industrial enterprises, fires in educational and medical institutions are possible, which justifies the relevance of modern methods and technologies for solving the problem of evacuation.

The peculiarity of this work lies in the formation of an integrated approach for organizing the evacuation process both in peacetime as training for the event of an emergency situation (emergency), and in the event of the emergency itself. A conceptual diagram of an evacuation system is proposed that uses heterogeneous sources for receiving and transmitting information about the onset of an emergency. The input and output sources for receiving and transmitting information about the number of people in the building are determined. The main purpose of the system is to form an operational real-time evacuation plan.

This work is the result of a phased implementation of an integrated evacuation system, which consists in building a mathematical model and a method for solving the problem of maximum flow in the network. A mathematical model has been developed for the optimal flow distribution along the Grindshiels network with the analysis of the flow formation and the characteristics of people's motion in enclosed spaces.

A game-theoretic approach and mathematical methods of the theory of hydraulic networks for finding an equilibrium state in flow-distribution networks have been developed. An algorithm for solving the evacuation problem using the graph approach is proposed.

The results of this paper make it possible to systematically organize training evacuations, prepare resources, train the personnel responsible for evacuation in order to quickly respond in an emergency and carry out the evacuation process in order to avoid major consequences.

**Keywords:** maximum flow, optimal plan, Grindshiels network, Nash equilibrium, evacuation planning.

## References

- Holshchevnikov, V. V. (1983). *Lyudskie potoki v zdaniyah, sooruzheniyah i na territorii ih kompleksov*. Moskva: MISI.
- Cappuccio, J. (2000). A Computer-Based Timed Egress Simulation. *SFPE Journal of Fire Protection Engineering*, 8, 11–12.
- Fahy, R. (1996). EXIT89: High-Rise Evacuation Model – Recent Enhancements and Example Applications. *International Interflam Conference «Inter-flam'96»*. Cambridge, 1001–1005.
- Weinroth, J. (1989). An adaptable microcomputer model for evacuation management. *Fire Technology*, 25 (4), 291–307. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01040378>
- Fahy, R. (1996). Enhancement of EXIT89 and Analysis of World Trade Center Data. *NIST*, 684, 45.
- Stepantsov, M. E. (2003). Model' napravlennogo dvizheniya tolpy s elementami analiza situatsii. *Elektronnyy zhurnal «Issledovano v Rossii»*, 89, 991–995.
- Hartama, D., Windarto, A. P., Wanto, A. (2018). Evacuation Planning for Disaster Management by Using The Relaxation Based Algorithm and Route Choice Model. *IJISTECH (International Journal Of Information System & Technology)*, 2 (1), 7. doi: <https://doi.org/10.30645/ijistech.v2i1.14>
- Hamacher, H. W., Tjandra, S. A. (2001). *Mathematical Modeling of Evacuation Problems: A State of The Art*. *Berichte des Fraunhofer ITWN*, Nr. 24.
- Malodushev, S. V., Rogov, A. A., Voronov, R. V. (2019). Mathematical model for evacuation people from corridor-type buildings. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*, 15 (3), 375–384. doi: <https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2019.307>
- Ng, C. T., Cheng, T. C. E., Levner, E., Kriheli, B. (2020). Optimal bi-criterion planning of rescue and evacuation operations for marine accidents using an iterative scheduling algorithm. *Annals of Operations Research*, 296 (1-2), 407–420. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03632-6>
- Schiopu, C. (2019). Maximum flows in bipartite dynamic networks. *SERIES III – MATEMATICS, INFORMATICS, PHYSICS*, 61 (12) (1), 177–198. doi: <https://doi.org/10.31926/but.mif.2019.12.61.1.14>
- Abusalama, J., Razali, S., Choo, Y.-H., Momani, L., Alkharabsheh, A. (2020). Dynamic real-time capacity constrained routing algorithm for evacuation planning problem. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20 (3), 1388. doi: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i3.pp1388-1396>
- Pyakurel, U., Nath, H. N., Dempe, S., Dhamala, T. N. (2019). Efficient Dynamic Flow Algorithms for Evacuation Planning Problems with Partial Lane Reversal. *Mathematics*, 7 (10), 993. doi: <https://doi.org/10.3390/math7100993>

14. Feng, J., Wang, Q. (2019). Emergency safety evacuation decision based on dynamic Gaussian Bayesian network. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 688, 055076. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/688/5/055076>
15. Belyaev, S. V. (1938). Evakuatsiya zdaniy massovogo naznacheniya. Moscow: Izdatel'stvo «Vsesoyuznoy Akademii Arhitektury».
16. Smirnova, A. T. (1999). Fundamentals of life safety. Moscow, 104–107.
17. Holshchevnikov, V. V., Samoshin, D. A., Isaevich, I. I. (2009). *Naturnye nablyudeniya lyudskih potokov*. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 191.
18. Amirgaliyev, Y., Kovalenko, A., Kalizhanova, A., Kozbakova, A. (2015). Modeling of Networks Flows of Grinshilds Types. *Vestnik KazNU*, 3 (86), 184–190.
19. Kovalenko, A. G., Vlasova, I. A., Borisova, S. P. (2006). *Teoriya igr i issledovanie operatsiy*. Samara: Izdatel'stvo «Samarskiy universitet», 147.
20. Volkov, I. K., Zagoruyko, E. A. (2000). *Issledovanie operatsiy*. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 436.
21. Vasin, A. A., Morozov, V. V. (2005). *Teoriya igr i modeli matematicheskoy ekonomiki*. Moscow: MAKS Press, 237.
22. Gorchach, B. A. (2013). *Issledovanie operatsiy*. Sankt-Peterburg: «Lan'», 448.
23. Kosorukov, O. A., Mishchenko, A. V. (2003). *Issledovanie operatsiy*. Moscow: Izdatel'stvo «Ekzamen», 448.
24. Germeyer, Yu. B. (1971). *Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsiy*. Moscow: Nauka, 358.
25. Fon Neyman, Dzh., Morgenshtern, O. (1970). *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie*. Moscow: «Nauka», 707.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233916

**BUILDING A MODEL AND AN ALGORITHM FOR MODELING THE MOVEMENT OF PEOPLE CARRYING GOODS WHEN THEY ARE EVACUATED FROM PREMISES (p. 43–50)**

**Alexander Pankratov**

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering  
Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2958-8923>

**Valentina Komyak**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9840-2635>

**Kyazim Tahir oglu Kyazimov**

Academy of the Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0790-9770>

**Vladimir Komyak**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6009-5908>

**Olexandr Tarasenko**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1313-1072>

**Oleksiy Antoshkin**

National University of Civil Defence  
of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2481-2030>

**Iurii Mishcheriakov**

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5334-1808>

**Mykhailo Dolhodush**

Head Directorate of the DSNS  
of Ukraine near the Kharkiv Region, Kharkiv, Ukraine

Evacuation is often the only way to save a person who is in a life-threatening situation. At present, evacuation software is used to simulate the movement of human flows, which does not always reflect the real processes of their movement. Therefore, it is a relevant task to build models for modeling the movement of human flows for different types of emergencies, different categories of human movement, and various spatial forms of their representation. Such a task arises when evacuating people from premises for various functional purposes.

During evacuation, people often carry some goods. When people move carrying some goods, their horizontal projection takes a more complex shape than an ellipse or circle considered in earlier studies. Moreover, in practice, there is often a task to model the movement of people taking into consideration the maximum permissible distances between them.

This paper reports the new quasi-phi functions of interaction between the ellipse and rectangle accounting for the maximum allowable distances between them. The proposed mathematical apparatus has made it possible to formalize the interaction between objects, thereby enabling the construction of a well-substantiated mathematical model, as well as the methods and algorithms for modeling the movement of people carrying some goods.

The possibility to simulate the movement of people with certain objects has shown taking into consideration the maximum permissible distances between them. A test example of the movement of people along four corridors was simulated, in each of which there were 28 people subsequently merging into one flow. Given the uniform distribution of three types of cargo: «backpacks», «suitcases», and «bags on wheels», the movement slowed down by about 4 %. When half of the evacuees had «bags on wheels» that can move away from people at arm's length, the slowdown was about 6 %.

**Keywords:** heterogeneous flows of people, individual-flow movement, optimization by group of variables, nonlinear programming.

## References

1. Kholshchevnikov, V. V., Parfenenko, A. P. (2015). Comparison of different models of the movement of human flows and results of program computer systems. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 24 (5), 68–75. doi: <https://doi.org/10.18322/pvb.2015.24.5.68-75>.
2. Stoyan, Y. G., Yakovlev, S. V. (2018). Configuration Space of Geometric Objects. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54 (5), 716–726. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0073-5>
3. Stoyan, Yu. G. (1983). *Osnovnaya zadacha geometricheskogo proektirovaniya*. Kharkiv: In-t problem mashinostroeniya AN USSR, 36.
4. Rvachev, V. L. (1982). *Teoriya R-funktsii i nekotorye ee prilozheniya*. Kyiv: Nauk. dumka, 552.
5. Stoyan, Yu. G. (1975). *Razmeschenie geometricheskikh obektov*. Kyiv: Nauk. dumka, 240.

6. Stoyan, Yu. G., Gil', N. I. (1976). *Metody i algoritmy razmescheniya ploskih geometricheskikh obektov*. Kyiv: Nauk. dumka, 247.
7. Stoyan, Yu. G. (2001).  $\Phi$ -function and its basic properties. *Doklady NAN Ukrainy*. Ser. A, 8, 112–117.
8. Stoyan, Yu., Scheithauer, G., Gil, N., Romanova, T. (2004).  $\Phi$ -function for complex 2D object. *40R Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies*, 2 (1), 69–84.
9. Scheithauer, G., Stoyan, Y. G., Romanova, T. Y. (2005). Mathematical Modeling of Interactions of Primary Geometric 3D Objects. *Cybernetics and Systems Analysis*, 41 (3), 332–342. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-005-0067-y>
10. Kallrath, J., Rebennack, S. (2013). Cutting ellipses from area-minimizing rectangles. *Journal of Global Optimization*, 59 (2-3), 405–437. doi: <https://doi.org/10.1007/s10898-013-0125-3>
11. Subota, I. O. (2015). *Zadacha optimalnoi upakovky elipsiv: matematychni modeli i metody rozviazannia*. Kharkiv: Instytut problem mashynobuduvannia im. A. M. Pidhornoho NAN Ukrainy.
12. Stoyan, Y., Romanova, T., Pankratov, A., Chugay, A. (2015). *Optimized Object Packings Using Quasi-Phi-Functions*. *Springer Optimization and Its Applications*, 265–293. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18899-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18899-7_13)
13. Komyak, V., Komyak, V., Danilin, A. (2017). A study of ellipse packing in the high-dimensionality problems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (4 (85)), 17–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91902>
14. Pankratov, A., Komyak, V., Kyazimov, K., Komyak, V., Naidysh, A., Danilin, A. et al. (2020). Development of models for the rational choice and accommodation of people in mobile technical vehicles when evacuating from buildings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (106)), 29–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209256>
15. Komyak, V. M., Sobol, A. N., Danilin, A. N., Komyak, V. V., Kyazimov, K. T. ogly (2020). Optimization of Partitioning the Domain into Subdomains According to Given Limitation of Space. *Journal of Automation and Information Sciences*, 52 (2), 13–26. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v52.i2.20>
16. Yakovlev, S., Kartashov, O., Komyak, V., Shekhovtsov, S., Sobol, O., Yakovleva, I. (2019). Modeling and Simulation of Coverage Problem in Geometric Design Systems. 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). doi: <https://doi.org/10.1109/cadsm.2019.8779303>
17. Antoshkin, O., Pankratov, A. (2016). Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (84)), 45–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86171>
18. Gil', N. I., Subbota, I. A. (2014). Quasi-phi-function for ellipse segments. *Systemy obrobky informatsiyi*, 8 (124), 79–82.
19. Holschevnikov, V. V., Samoshin, D. A. (2009). *Evakuatsiya i povedenie lyudey pri pozharah*. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 212.

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.233944](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233944)

**INTEGRATING LINEAR ORDINARY FOURTH-ORDER DIFFERENTIAL EQUATIONS IN THE MAPLE PROGRAMMING ENVIRONMENT (p. 51–57)**

**Irina Belyaeva**

Belgorod State University, Belgorod, Russian Federation  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7674-1716>

**Igor Kirichenko**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7375-8275>

**Oleh Ptashnyi**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6123-7253>

**Natalia Chekanova**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9134-2951>

**Tetiana Yarkho**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2669-5384>

This paper reports a method to solve ordinary fourth-order differential equations in the form of ordinary power series and, for the case of regular special points, in the form of generalized power series. An algorithm has been constructed and a program has been developed in the MAPLE environment (Waterloo, Ontario, Canada) in order to solve the fourth-order differential equations. All types of solutions depending on the roots of the governing equation have been considered. The examples of solutions to the fourth-order differential equations are given; they have been compared with the results available in the literature that demonstrate excellent agreement with the calculations reported here, which confirms the effectiveness of the developed programs. A special feature of this work is that the accuracy of the results is controlled by the number of terms in the power series and the number of symbols (up to 20) in decimal mantissa in numerical calculations. Therefore, almost any accuracy allowed for a given electronic computing machine or computer is achievable. The proposed symbolic-numerical method and the work program could be successfully used for solving eigenvalue problems, in which controlled accuracy is very important as the eigenfunctions are extremely (exponentially) sensitive to the accuracy of eigenvalues found. The developed algorithm could be implemented in other known computer algebra packages such as REDUCE (Santa Monica, CA), MATHEMATICA (USA), MAXIMA (USA), and others. The program for solving ordinary fourth-order differential equations could be used to construct Green's functions of boundary problems, to solve differential equations with private derivatives, a system of Hamilton's differential equations, and other problems related to mathematical physics.

**Keywords:** computer simulation, ordinary fourth-order differential equations, generalized power series, regular special points.

## References

1. Triкоми, F. (1962). *Differentsial'nye uravneniya*. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 352.
2. Berezin, I. S., Zhidkov, N. P. (1962). *Metody vychisleniy differentsial'nyh uravneniy*. Moscow: Gos. izdatel'stvo fiz.-mat. literatury, 620.
3. Bahvalov, N. S. (1973). *Chislennyye metody (analiz, algebra, obyknovennyye differentsial'nye uravneniya)*. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiz.-mat. literatury, 632.



4. Kollatts, L. (1968). *Zadachi na sobstvennyye znacheniya*. Moscow: Nauka, 504.
5. Demihovskiy, V. Ya. (2000). *Fizika kvantovyh nizkorazmernykh struktur*. Moscow: Logos, 248.
6. Dong, L., Alotaibi, A., Mohiuddine, S. A., Atluri, S. N. (2014). Computational methods in engineering: A variety of primal & mixed methods, with global & local interpolations, for well-posed or ill-posed BCs. *CMES – Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 99 (1), 1–85. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84904022089&origin=inward&txGid=31ec3491db056863e37edd98aa82519c>
7. Polyanin, A., Zaitsev, V. (2018). *Handbook of Ordinary Differential Equations: Exact Solutions, Methods, and Problems*, 1496. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315117638>
8. Dzhakal'ya, G. E. O. (1979). *Metody teorii vozmuscheniy dlya nelineynykh sistem*. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiz.-mat. literatury, 320.
9. Nayfe, A. (1976). *Metody vozmuscheniy*. Moscow: Izdvo «Mir», 456.
10. Grebenikov, E. A. (1986). *Metod usredneniya v prikladnykh zadachah*. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiz.-mat. literatury, 256.
11. Marchuk, G. I. (1977). *Metody vychislitel'noy matematiki*. Moscow: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiz.-mat. literatury, 456.
12. Abramov, A., Berkovich, L. M., Hantzschmann, K. (1990). Extended possibilities of some computer algebra algorithms for solving linear differential and difference equations. *IV International Conference on Computer Algebra in Physical Research*. Dubna.
13. Jator, S. N. (2008). Numerical integrators for fourth order initial and boundary value problems. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 47 (4), 563–576.
14. Alomari, A. K., Anakira, N. R., Bataineh, A. S., Hashim, I. (2013). Approximate Solution of Nonlinear System of BVP Arising in Fluid Flow Problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/136043>
15. Poslavsky, S. (2019). Rings: An efficient Java/Scala library for polynomial rings. *Computer Physics Communications*, 235, 400–413. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2018.09.005>
16. Kayal, N., Nair, V., Saha, C. (2019). Average-case linear matrix factorization and reconstruction of low width algebraic branching programs. *Computational Complexity*, 28 (4), 749–828. doi: <https://doi.org/10.1007/s00037-019-00189-0>
17. England, M., Florescu, D. (2019). Comparing Machine Learning Models to Choose the Variable Ordering for Cylindrical Algebraic Decomposition. *Intelligent Computer Mathematics*, 93–108. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23250-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23250-4_7)
18. Grudo, Y. O., Kalinin, A. I. (2006). Asymptotic optimization method for a quasilinear system with multidimensional controls. *Differential Equations*, 42 (12), 1674–1681. doi: <https://doi.org/10.1134/s0012266106120020>
19. Galanin, M. P., Sorokin, D. L. (2020). Solving Exterior Boundary Value Problems for the Laplace Equation. *Differential Equations*, 56 (7), 890–899. doi: <https://doi.org/10.1134/s0012266120070083>
20. Mozzhorina, T. Yu. (2017). Numerical solution to problems of optimal control with switching by means of the shooting method. *Matematicheskoe Modelirovanie i Chislennyye Metody*, 14, 94–106. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/6d5f8ecc7e0c0b1543da6fc6984b9ec4/mcm101.pdf>
21. Hussain, K., Ismail, F., Senu, N. (2016). Solving directly special fourth-order ordinary differential equations using Runge-Kutta type method. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 306, 179–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.04.002>
22. You, X., Chen, Z. (2013). Direct integrators of Runge–Kutta type for special third-order ordinary differential equations. *Applied Numerical Mathematics*, 74, 128–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apnum.2013.07.005>
23. Islam, M. A. (2015). Accurate Solutions of Initial Value Problems for Ordinary Differential Equations with the Fourth Order Runge Kutta Method. *Journal of Mathematics Research*, 7 (3). doi: <https://doi.org/10.5539/jmr.v7n3p41>
24. Waeleh, N., Majid, Z. A., Ismail, F., Suleiman, M. (2012). Numerical Solution of Higher Order Ordinary Differential Equations by Direct Block Code. *Journal of Mathematics and Statistics*, 8 (1), 77–81. doi: <https://doi.org/10.3844/jmssp.2012.77.81>
25. Waeleh, N., Majid, Z. A., Ismail, F. (2011). A new algorithm for solving higher order IVPs of ODEs. *Applied Mathematical Sciences*, 5, 2795–2805. Available at: <http://www.m-hikari.com/ams/ams-2011/ams-53-56-2011/majid-AMS53-56-2011.pdf>
26. Bulavina, I. V., Kirichenko, I. K., Chekanov, N. N., Chekanova, N. A. (2011). Calculations the eigenvalues and functions for Mathieu equation by means of the maple mathematical package. *Vestnik Hersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 3 (42), 115–118.
27. Chekanova, N. N., Chekanov, N. A. (2013). Invarianty odnomernogo garmonicheskogo ostsillyatora s zavisyaschey ot vremeni chastotoy. *Vestnik Hersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 2 (47), 372–374.
28. Bogachev, V. E., Kirichenko, I. K., Chekanova, N. N., Chekanov, N. A. (2015). Issledovanie nelineynoy gamil'tonovoy sistemy metodom normal'noy formy Birkgofa-Gustavsona. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya: Matematychni modeliuvannia. Informatsiyni tekhnolohiyi. Avtomatyzovani systemy upravlinnia*, 1156, 17–28.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235316**  
**ADVANCING THE MULTIFACTOR MODEL OF**  
**STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS (p. 58–64)**

**Arthur Mitsel**

Tomsk State University of Control Systems and  
 Radioelectronics, Tomsk, Russia Federation  
 Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia Federation  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2624-4383>

**Aliya Alimkhanova**

Tomsk State University of Control Systems and  
 Radioelectronics, Tomsk, Russia Federation  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0964-1659>

**Marina Grigorieva**

Tomsk State University of Control Systems and  
 Radioelectronics, Tomsk, Russia Federation  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1065-7260>

The concept of efficiency is important in economic science; at present, its role in every sector of the economy is growing. Evaluating an enterprise's efficiency makes it possible to implement a correct and profitable strategy of resource

allocation, which shows its potential level. Given an annual increase in the number of bankrupt enterprises, the issue of estimating the efficiency of enterprises is relevant for both their owners and managers, as well as for creditors. There are various methods and models for estimating the performance of enterprises. This work has assessed the efficiency of enterprises in the industrial sector over the period of 2017–2018. Stochastic Frontier Analysis is based on the stochastic model of production function. The classic SFA method is based on the production function of the company, which relates the volume of output to the volume of resources consumed. At the same time, the SFA model uses several inputs (volumes of resources consumed) and only one output parameter – the volume of production.

In order to achieve more precise results, a given model has been modified. The model allows several key financial indicators to be taken into consideration as outputs at the same time, based on which the financial activities of the studied economic entities are assessed. The result of the work involving open sources has revealed how the efficiency of different enterprises in the same industry changes over several years. It is shown that the modified Stochastic Frontier Analysis model could be used to assess financial stability and predict bankruptcy.

**Keywords:** multifactor model, efficiency, stochastic method, bankruptcy, financial stability, panel data.

## References

1. Federal'nyy zakon «O nesostoyatel'nosti (bankrotstve)» ot 26.10.2002 No. 127-FZ (poslednyaya redaktsiya). Konsul'tantPlyus. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_39331/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_39331/)
2. Dannye sudebnoy statistiki. Judicial Department at the Supreme Court of the Russian Federation. Available at: <http://www.cdep.ru/index.php?id=79>
3. Rezul'taty protsedur v delah o bankrotstve za 2020 god (2021). Fedresurs. Available at: <https://fedresurs.ru/news/05826cfd-c758-4d05-8b43-5db1686c5973?attempt=1>
4. Altman, E., Hotchkiss, E. (2005). Corporate Financial Distress and Bankruptcy: Predict and Avoid Bankruptcy, Analyze and Invest in Distressed Debt. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118267806>
5. Beaver, W. H. (1966). Financial Ratios As Predictors of Failure. *Journal of Accounting Research*, 4, 71. doi: <https://doi.org/10.2307/2490171>
6. Ahmadpour Kasgari, A., Divsalar, M., Javid, M. R., Ebrahimi, S. J. (2012). Prediction of bankruptcy Iranian corporations through artificial neural network and Probit-based analyses. *Neural Computing and Applications*, 23 (3-4), 927–936. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-012-1017-z>
7. Gordini, N. (2014). A genetic algorithm approach for SMEs bankruptcy prediction: Empirical evidence from Italy. *Expert Systems with Applications*, 41 (14), 6433–6445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.04.026>
8. Hosaka, T. (2019). Bankruptcy prediction using imaged financial ratios and convolutional neural networks. *Expert Systems with Applications*, 117, 287–299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.039>
9. Lovell, C. A. K., Fried, H., Schmidt, S. (Eds.) (1990). *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*. Oxford University Press, 3–67.
10. Greene, W. H. (1990). A Gamma-distributed stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 46 (1-2), 141–163. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90052-u](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90052-u)
11. Battese, G. E., Coelli, T. J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 3 (1-2), 153–169. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00158774>
12. Eling, M., Luhn, M. (2010). Efficiency in the international insurance industry: A cross-country comparison. *Journal of Banking & Finance*, 34 (7), 1497–1509. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.08.026>
13. Borisova, E. I., Peresetskiy, A. A., Polischuk, L. I. (2010). Analiz effektivnosti nekommercheskih assotsiatsiy metodom stohasticheskoy granitsy (na primere tovarischestv sobstvennikov zhil'ya). *Prikladnaya ekonometrika*, 4 (20), 75–101.
14. Malahov, D. I., Pil'nik, N. P. (2013). Metody otsenki pokazateley effektivnosti v modelyakh stohasticheskoy proizvodstvennoy granitsy. *Ekonomicheskyy zhurnal VSHE*, 17 (4), 660–686.
15. Afanas'ev, M. Yu. (2006). Model' proizvodstvennogo potentsiala s upravlyaemymi faktorami neeffektivnosti. *Prikladnaya ekonometrika*, 4 (4), 74–89.
16. Ayvazyan, S. A., Afanas'ev, M. Yu., Rudenko, V. A., (2014). Otsenka effektivnosti regionov RF na osnove modeli proizvodstvennogo potentsiala s karakteristikami gotovnosti k innovatsiyam. *Zhurnal Ekonomika i matematicheskie metody (EMM)*, 50 (4), 34–70. Available at: <https://ideas.repec.org/a/scn/cememm/v50y2014i4p34-70.html>
17. Mogilat, A., Ipatova, I. (2016). Technical efficiency as a factor of Russian industrial companies' risks of financial distress. *Applied Econometrics*, 42, 5–29.
18. Galluzzo, N. (2020). A Technical Efficiency Analysis of Financial Subsidies Allocated by the Cap in Romanian Farms Using Stochastic Frontier Analysis. *European Country-side*, 12 (4), 494–505. doi: <https://doi.org/10.2478/euco-2020-0026>
19. Wanke, P., Tsionas, M. G., Chen, Z., Moreira Antunes, J. J. (2020). Dynamic network DEA and SFA models for accounting and financial indicators with an analysis of super-efficiency in stochastic frontiers: An efficiency comparison in OECD banking. *International Review of Economics & Finance*, 69, 456–468. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iref.2020.06.002>
20. Moutinho, V., Madaleno, M., Macedo, P. (2020). The effect of urban air pollutants in Germany: eco-efficiency analysis through fractional regression models applied after DEA and SFA efficiency predictions. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102204>
21. Lafta, A. (2020). Measuring the economic efficiency and total productivity of resource and the technical change of agricultural companies in Iraq using sfa and dea for the period 2005–2017. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 51 (4), 1104–1117. doi: <https://doi.org/10.36103/ijas.v51i4.1089>
22. Gupta, K., Raman, T. V. (2020). The nexus of intellectual capital and operational efficiency: the case of Indian financial system. *Journal of Business Economics*, 91 (3), 283–302. doi: <https://doi.org/10.1007/s11573-020-00998-8>
23. Odeck, J., Schøyen, H. (2020). Productivity and convergence in Norwegian container seaports: An SFA-based Malmquist productivity index approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 222–239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.05.001>
24. Chen, J., Wu, Y., Song, M., Zhu, Z. (2017). Stochastic frontier analysis of productive efficiency in China's Forestry Industry. *Journal of Forest Economics*, 28, 87–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2017.05.005>



25. Ghosh, R., Kathuria, V. (2016). The effect of regulatory governance on efficiency of thermal power generation in India: A stochastic frontier analysis. *Energy Policy*, 89, 11–24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.11.011>
26. Margono, H., Sharma, S. C., Melvin, P. D. (2010). Cost efficiency, economies of scale, technological progress and productivity in Indonesian banks. *Journal of Asian Economics*, 21 (1), 53–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2009.06.001>
27. Tovar, B., Javier Ramos-Real, F., de Almeida, E. F. (2011). Firm size and productivity. Evidence from the electricity distribution industry in Brazil. *Energy Policy*, 39 (2), 826–833. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.001>
28. Liu, T., Li, K.-W. (2012). Analyzing China's productivity growth: Evidence from manufacturing industries. *Economic Systems*, 36 (4), 531–551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2012.03.003>
29. Nguyen, P. H., Pham, D. T. B. (2020). The cost efficiency of Vietnamese banks – the difference between DEA and SFA. *Journal of Economics and Development*, 22 (2), 209–227. doi: <https://doi.org/10.1108/jed-12-2019-0075>
30. Fiorentino, E., Karmann, A., Koetter, M. (2006). The Cost Efficiency of German Banks: A Comparison of SFA and DEA. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.947340>
31. Yang, S., Wang, H., Tong, J., Ma, J., Zhang, F., Wu, S. (2020). Technical Efficiency of China's Agriculture and Output Elasticity of Factors Based on Water Resources Utilization. *Water*, 12 (10), 2691. doi: <https://doi.org/10.3390/w12102691>
32. Coelli, T., Rao, D. S. P., Battese, G. E. (1998). An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer, 276. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5493-6>
33. Battese, G. E., Coelli, T. J. (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38 (3), 387–399. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90053-x](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90053-x)
34. Jondrow, J., Knox Lovell, C. A., Materov, I. S., Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19 (2-3), 233–238. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5)
35. Malakhov, D., Pilnik, N. (2013). Methods of Estimating of the Efficiency in Stochastic Frontier Models. *Ekonomicheskii zhurnal VSE*, 17 (4), 660–686.

## АНОТАЦІЇ

## MATHEMATICS AND CYBERNETICS – APPLIED ASPECTS

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234492

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ДВІЙКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ БІНОМІАЛЬНОЇ ЧИСЛОВОЇ ФУНКЦІЇ (с. 6–13)**

І. А. Кулик, О. В. Бережна, А. І. Новгородцев, М. С. Шевченко

Ефективним заходом щодо підвищення продуктивності інформаційних систем є використання методів стиснення даних. При цьому інтерес викликають методи стиснення без інформаційних втрат, що відрізняються універсальністю, невисокими вимогами до обсягу витрат при реалізації і можливістю самоконтролю.

У зв'язку з цим перспективним є застосування біноміальних систем числення. Для стиснення використовується числова функція біноміальної системи числення, яка дозволяє ставити послідовностям у взаємно однозначну відповідність їх номери. При цьому в якості проміжного етапу використовується перехід від двійкових комбінацій до біноміальних чисел.

В ході дослідження сформульовані теореми, які вказують властивості стискаючих і відновлюючих відображень, а також способи їх реалізації. Отримані моделі процесів стиснення на основі числової функції як для випадку, коли стискаються рівноважні комбінації, так і для випадку, коли стискаються послідовності загального виду. Моделі стиснення включають в себе етапи кодування на основі двійкових біноміальних чисел.

Результати дослідження показують ефективність застосування стиснення на основі біноміальної числової функції. Підвищення швидкості передачі інформації по каналу зв'язку спостерігається в 1,02 рази в найгіршому та 18,29 рази в найкращому випадках в залежності від кількості одиниць в 128-розрядних рівноважних комбінацій. Високий ступінь стиснення – від 1,01 до 16 разів для 128-розрядних послідовностей загального виду – та універсальність використання – стискаються комбінації, кількість одиниць яких складає 75 % їх загального діапазону змінювання – є перевагами запропонованих методів. Розроблені методи дозволяють контролювати помилки при перетвореннях, невимогливі до ресурсів і мають невеликий обсяг витрат при реалізації.

**Ключові слова:** біноміальні системи числення, біноміальна числова функція, біноміальні числа, стиснення двійкової інформації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233899

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ПРОГНОЗУ ПОКАЗНИКІВ ЖИВУЧОСТІ ВИКОНАВЧОГО ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІТИКО-СТОХАСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОНФЛІКТНОЇ СИТУАЦІЇ (с. 14–23)**

С. Ю. Гогоняц, Д. А. Чопа, О. А. Кільменінов, А. А. Лойшин, К. М. Горбачов

Представлений розроблений метод прогнозування показників живучості виконавчого елемента системи спеціального призначення на основі аналітико-стохастичного моделювання конфліктної ситуації. Метою розроблення методу стала необхідність розв'язку проблеми збереження і раціонального використання ресурсу виконавчих елементів з метою досягнення потрібного ефекту функціонування систем спеціального призначення.

Метод чутливий до опису закономірностей зміни значень показників живучості і ефективності функціонування системи спеціального призначення. Метод передбачає порівняння прогнозованого значення показника живучості із його критеріальним значенням та прогнозування моменту часу коли система спеціального призначення втрачає здатність ефективно виконувати завдання.

Показником живучості прийнято математичне очікування кількості виконавчих елементів системи спеціального призначення, що зберегли свою здатність до виконання завдань за призначенням в ході конфліктної ситуації.

За результатами дослідження отримані значення часових характеристик конфліктної ситуації, зокрема тривалості знаходження виконавчого елемента у відповідних станах: підготовчому, очікування, імплементації.

Використання графо-аналітичного моделювання забезпечує вирішення завдання прогнозування моменту часу, коли втрати виконавчих елементів призводять до неможливості ефективного виконання завдань системою.

Перевірка адекватності методу показала, що довірчий інтервал нев'язки між результатами, які розраховані іншими методами з довірчою ймовірністю 0,9, не перевищує 0,095, протиріч між методами не виявлено.

Реалізація запропонованого методу забезпечує зростання оперативності визначення відповідних показників у межах 8–11 % та достовірності результатів на 22 %. Можливість визначення потрібного резерву та часу введення до складу системи виконавчих елементів можуть забезпечити обґрунтування способів їх застосування для збереження потрібного рівня ефективності системи спеціального призначення.

**Ключові слова:** метод прогнозування, показники живучості, ефективність системи, аналітико-стохастичне моделювання, конфліктна ситуація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233501

**РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ, ЗАСНОВАНОЇ НА ГРАФІ ПЕРЕХОДІВ (с. 24–31)**

Н. А. Гук, О. В. Верба, В. І. Євлаков

Побудовано рекомендаційну систему для користувачів веб-ресурсу, яка для надання рекомендацій використовує статистичні дані про дії користувачів. Метою роботи системи є надання рекомендацій у вигляді впорядкованої послідовності HTML-сторінок

ресурсу, які пропонується відвідати користувачеві. Для виконання процедури ранжування використовується статистична інформація про переходи користувачів між сторінками веб-ресурсу. Модель веб-ресурсу зображено у вигляді веб-графа, а модель поведінки користувача – у вигляді графа переходів між сторінками ресурсу. Веб-граф подається матрицею суміжності, для графа переходів побудовано зважену матрицю ймовірностей переходів між вершинами графа. Враховано, що переходи користувача між сторінками веб-ресурсу можуть здійснюватися шляхом вводу URL-адреси в адресний рядок браузера, або шляхом переходу за посиланням на поточній сторінці. Перехід користувача між вершинами у скінченному графі у відповідності до ймовірностей, які визначаються за вагою ребер графу, зображується однорідним ланцюгом Маркова и вважається процесом випадкового блукання на графі з можливістю переходу у випадкову вершину. Для ранжування сторінок веб-ресурсу для певного користувача використовується метод Random Walk with Restarts. Числовий аналіз виконано для існуючого веб-сайта інтернет магазину. Вихідні дані про користувацькі сесії поділено на навчальну та тестову вибірки. За даними навчальної вибірки було побудовано зважену матрицю ймовірності переходів користувачів між сторінками веб-ресурсу. Для оцінки якості побудованої рекомендаційної системи використано метрики точності, повноти та Half-life Utility. На елементах тестової вибірки отримано значення точності 65–68 %, визначено оптимальну кількість елементів у списку рекомендацій. Досліджено вплив параметрів моделі на якість рекомендаційної систем.

**Ключові слова:** рекомендаційна система, веб-граф, граф переходів, ланцюг Маркова, випадкове блукання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.234959

## РОЗРОБКА СИСТЕМОГО ПІДХОДУ ТА МАТЕМАТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕВАКУАЦІЇ (с. 31–42)

Yedilkhan Amirgaliyev, Aliya Kalizhanova, Ainur Kozbakova, Zhalau Aitkulov, Aygerim Astanayeva

У сучасних умовах, зважаючи на обширність території Казахстану, з певною ймовірністю можлива поява стихійних лих, таких як землетрус, повінь, сходження лавин, а також аварії, руйнування будівель, епідемія, викид хімічних отруйних речовин на промислових підприємствах, пожежі в навчальних і лікувальних установах, що і обґрунтовує актуальність сучасних методів і технологій вирішення завдання евакуації.

Особливість даної роботи полягає у формуванні комплексного підходу для організації процесу евакуації як в мирний час в якості підготовки до виникнення надзвичайної ситуації (НС), так і при настанні самої НС. Запропонована концептуальна схема системи евакуації, що використовує гетерогенні джерела прийому і передачі інформації про настання НС. Визначено вхідні та вихідні джерела прийому та передачі інформації про кількість людей у будівлі. Головною метою системи є формування оперативного плану евакуації в режимі реального часу.

Дана робота є результатом поетапної реалізації комплексної системи евакуації, що полягає в побудові математичної моделі і методу вирішення задачі максимального потоку в мережі. Розроблено математичну модель оптимального розподілу потоку по ґріндшилльській мережі з аналізом формування потоку та характеристикою способів просування людей у замкнутих просторах. Розроблено теоретико-ігровий підхід та математичні методи теорії ґідравлічних мереж для знаходження стану рівноваги в проточно-розподільних мережах. Запропоновано алгоритм розв'язання задачі про евакуацію з використанням графового підходу.

Результати даної статті дозволяють системно організувати навчально-тренувальні евакуації, підготувати ресурси, навчати персонал, відповідальний за евакуацію, щоб при виникненні надзвичайної ситуації оперативно реагувати і провести процес евакуації для уникнення великих наслідків.

**Ключові слова:** максимальний потік, оптимальний план, ґріндшилльська мережа, рівновага Неша, планування евакуації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233916

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЛЮДЕЙ З ВАНТАЖЕМ ПРИ ЕВАКУАЦІЇ З БУДІВЕЛЬ (с. 43–50)

О. В. Панкратов, В. М. Комяк, К. Т. Кязимов, В. В. Комяк, О. А. Тарасенко, О. А. Антошкин, Ю. В. Мищеряков, М. М. Долгодуш

Евакуація – часто єдиний спосіб порятунку людини, що опинилася в небезпечній для життя ситуації. В теперішній час при евакуації використовуються програми моделювання руху людських потоків, які не завжди відображають реальні процеси їх переміщення. Тому актуальною проблемою є розробка моделей для моделювання руху людських потоків для різних видів НС, різних категорій руху людей та різних просторових форм їх представлення. Така проблема виникає при евакуації людей з будинків різного функціонального призначення.

При евакуації часто люди рухаються з вантажем. При русі людей з вантажем, їх горизонтальна проекція має більш складну форму, ніж еліпс або коло, як розглянуто в роботах попередніх дослідників. Більш того на практиці часто виникає задача моделювання руху людей з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними.

Отримано нові квазі- $\rho$ -функції взаємодії еліпса з прямокутником з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними. Запропонований математичний апарат дозволив формалізувати взаємодію об'єктів, що дало можливість побудувати обґрунтовані математичну модель, методи та алгоритми для моделювання руху людей з вантажем.

Показана можливість моделювання руху людей з допоміжними засобами з урахуванням максимально-допустимих відстаней між ними. Здійснено комп'ютерне моделювання тестового приклада руху людей по чотирьох коридорам, в кожному з яких знаходиться по 28 чоловік із зливанням в один потік. При рівномірному розподілу трьох видів вантажу: «рюкзаків», «валіз» та «сумок на коліщатках» спостерігалось уповільнення руху близько на 4 %. Коли у половини евакуйованих є «сумки на коліщатках», які можуть віддалятися від людей на відстань витягнутої руки, спостерігалось уповільнення близько на 6 %.

**Ключові слова:** гетерогенні потоки людей, індивідуально-поточний рух, оптимізація за групою змінних, нелінійне програмування.



---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233944****ІНТЕГРУВАННЯ ЛІНІЙНИХ ЗВЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА В СЕРЕДОВИЩІ MAPLE (с. 51–57)****І. М. Беляєва, І. К. Кириченко, О. Д. Пташний, Н. М. Чеканова, Т. О. Ярхо**

Запропоновано метод розв'язку звичайних диференціальних рівнянь четвертого порядку в вигляді звичайних степеневих рядів, а для випадку наявності регулярних особливих точок в вигляді узагальнених степеневих рядів. Розроблено алгоритм і складена програма в середовищі MAPLE (Waterloo, Ontario, Canada) для розв'язку диференціальних рівнянь четвертого порядку. Розглянено всі типи розв'язків в залежності від коренів досліджуваного рівняння. Наведено приклади розв'язку диференціальних рівнянь четвертого порядку й наведено порівняння з існуючими в літературі результатами, які показують повну згоду з даними розрахунками, що підтверджує ефективність розроблених програм. Суттєвою розпізнавальною особливістю даної роботи є те, що точність результатів контролюється числом членів в степеневих рядах й кількістю знаків (до 20 знаків) в мантисах десяткових чисел при проведенні чисельних розрахунків. Тому є можливість досягти будь-яку точність, яка можлива на даній електронно-обчислювальній машині або комп'ютері. Запропонований символічно-чисельний метод та робоча програма можуть бути успішно використані при розв'язку задач на власні значення, в яких дуже важлива контролюєма точність, так як власні значення дуже (експоненціально) чутливі до точності знайдених власних значень. Розроблений алгоритм може бути реалізований в других відомих пакетах комп'ютерної алгебри, таких як REDUCE (Santa Monica, CA), MATHEMATICA (USA), MAXIMA (USA) та інших. Програма розв'язку звичайних диференціальних рівнянь четвертого порядку може бути використана для побудови функцій Гріна крайових задач, для розв'язку диференціальних рівнянь з частинними похідними, системи диференціальних рівнянь Гамільтона та в других задачах математичної фізики.

**Ключові слова:** комп'ютерне моделювання, звичайні диференціальні рівняння четвертого порядку, узагальнені степеневі ряди, регулярні особливі точки.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235316****РОЗРОБКА БАГАТОФАКТОРНОЇ МОДЕЛІ STOCHASTIC FRONTIER ANALYSIS (с. 58–64)****А. О. Міцель, А. Н. Алімханова, М. В. Григор'єва**

Поняття ефективності займає важливе значення в економічній науці, а на сьогоднішній день спостерігається її зростаюча роль в кожному секторі економіки. Оцінка ефективності підприємства дає можливість здійснити вірну та вигідну стратегію розподілу ресурсів, що показує її потенційний рівень. У зв'язку з щорічним зростанням числа збанкрутілих підприємств проблема оцінки ефективності діяльності підприємств актуальна як для їх власників і керуючих осіб, так і для кредиторів. Існують різні методи та моделі оцінки ефективності діяльності підприємств. У даній роботі виконана оцінка ефективності діяльності підприємств промислової галузі за період 2017–2018 роки. Stochastic Frontier Analysis (SFA) засновано на стохастичній моделі виробничої функції. Класичний метод SFA заснований на виробничій функції підприємства, що зв'язує обсяг продукції, що випускається, з обсягами споживаних ресурсів. При цьому модель SFA використовує кілька вхідних (обсяги споживаних ресурсів) і тільки один вихідний параметр – обсяг продукції, що випускається.

Для досягнення більш точних результатів була виконана модифікація даної моделі. Модель дозволяє враховувати одночасно декілька ключових фінансових показників в якості вихідних даних, на основі яких оцінюється фінансова діяльність досліджуваних економічних об'єктів. В результаті проведеної роботи з використанням відкритих джерел можна побачити, як змінюється ефективність різних підприємств однієї галузі за кілька років. Показано, що модифікована модель Stochastic Frontier Analysis може бути використана для оцінки фінансової стійкості та прогнозування банкрутства.

**Ключові слова:** багатофакторна модель, ефективність, стохастичний метод, банкрутство, фінансова стійкість, панельні дані.