

ABSTRACT AND REFERENCES

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259710
**APPLICATION OF MATHEMATICAL METHODS
 AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR
 CLASSIFICATION OF X-RAY IMAGES (p. 6–17)**

Ainur Shekerbek

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-4239>

Sandugash Serikbayeva

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1729-6875>

Murat Tulenbayev

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0070-4641>

Galitdin Bakanov

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
 Turkestan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1262-7874>

Svetlana Beglerova

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2854-7318>

Anastassiya Makovetskaya

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8510-2377>

The relevance of the topic, in particular, if to take one of the information flows, whether it is the action of a human factor or a specific object, then it is true that special processing of the machine learning language and automatic information output significantly optimize human life. With the help of neural networks and their chest radiography is one of the most accessible radiological studies for screening and diagnosis of many lung diseases a special machine learning language is to study the flow of information about it and the same object in real time using neural networks.

The article describes the terminology of the problem of X-ray recognition using machine learning methods and algorithms, examines the relevance of the problem, and analyzes the current state of the problem in the field of X-ray recognition. The aspects of the problem being solved, identified during the analysis, in the form of solved problems, approaches, methods, information technologies used, tools and software solutions to the problem are noted

The paper is devoted to the description of a modified method of fuzzy clustering of halftone images, which at each iteration performs a dynamic transformation of the source data based on a singular decomposition with automatic selection of the most significant columns of the matrix of left singular vectors. The results of experimental studies were obtained by processing X-ray images.

As a result of testing a neural network model, in the output layer of which a sigmoidal activation function was used to activate neurons, and an algorithm was used as an optimization method, the best values of accuracy and completeness were obtained: accuracy – 94.2. During testing, the neural network showed an accuracy of pneumonia recognition equal to 94,27 %.

Keywords: mathematical methods, machine learning, neural networks, pattern recognition, medical image processing, artificial intelligence.

References

1. Ibrahim, I., Abdulazeez, A. (2021). The Role of Machine Learning Algorithms for Diagnosing Diseases. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01), 10–19. doi:<https://doi.org/10.38094/jastt20179>
2. Ziyazetdinova, L. Yu. (2021). Analiz sostoyaniya issledovaniy v oblasti raspoznavaniya rentgenovskikh i kt snimkov s pomosh'yu metodov glubokogo mashinnogo obucheniya. *Mavlyutovskie chteniyamaterialy XV Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii*. Ufa, 235–245.
3. Pechnikov, A. A., Bogdanov, N. A. (2021). Comparison of two approaches to the recognition of pneumonia by X-rays. *Petrozavodsk*, 90–91. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Surovtsova-Tatyana-2/publication/357340485_Development_of_evaluation_criteria_for_a_creative_programming_competition/links/61c98658d4500608166e8156/Development-of-evaluation-criteria-for-a-creative-programming-competition.pdf
4. Vasilchenko, V. A., Burkovskiy, V. L., Danilov, A. D. (2019). Algorithmization of the process of recognition of states of living objects based on special x-ray images. *Computer Optics*, 43 (2), 296–303. doi: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-2017-43-2-296-303>
5. Sludnova, A. A., Shutko, V. V., Gaidel, A. V., Zelter, P. M., Kapishnikov, A. V., Nikonov, A. V. (2021). Identification of pathological changes in the lungs using an analysis of radiological reports and tomographic images. *Computer Optics*, 45 (2), 261–266. doi: <https://doi.org/10.18287/2412-6179-co-793>
6. Hrytsai, A. S., Levitskaya, T. A. (2019). Intelligent system for detecting anomalies in X-ray images using deep learning methods. *Visnyk of Kherson National Technical University*, 3 (70), 97–102. doi: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.3.10>
7. Gorelov, I. A., Nemtinov, V. A. (2016). Application of computer vision technology in search of pathological X-ray images of chest. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*, 7, 6–13. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologiy-kompyuternogo-zreniya-pri-poiske-patologiy-na-rentgenogrammah-organov-grudnoy-kletki>
8. Kuznetsov, N. A. (2020). Primenenie neyronnykh setey dlya diagnostiki zabolevaniy. *Inzhenernye i informatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: Sbornik nauchnykh statey po itogam vtoroy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Volgograd: Obschestvo s ogranichennoy otvetstvenost'yu «KONVERT», 240–242.
9. Meldo, A. A., Utkin, L. V., Moiseyenko, V. M. (2018). XXI century diagnostic algorithms. *Artificial intelligence in lung cancer detection*. *Practical Oncology*, 19(3), 292–298. doi: <https://doi.org/10.31917/1903292>
10. Minyazev, R. Sh., Rummyantsev, A. A., Dyganov, S. A., Baev, A. A. (2018). Analiz rentgenovskikh izobrazheniy dlya vyyavleniya patologiy s ispol'zovaniem neyronnykh setey. *Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Fizicheskaya*, 82(12), 1685–1688. doi: <https://doi.org/10.1134/s036767651812013x>
11. Maurya, L., Mahapatra, P. K., Kumar, A. (2017). A social spider optimized image fusion approach for contrast enhancement and brightness preservation. *Applied Soft Computing*, 52, 575–592. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.10.012>
12. Kim, S. E., Jeon, J. J., Eom, I. K. (2016). Image contrast enhancement using entropy scaling in wavelet domain. *Signal Processing*, 127, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2016.02.016>

13. Lidong, H., Wei, Z., Jun, W., Zebin, S. (2015). Combination of contrast limited adaptive histogram equalisation and discrete wavelet transform for image enhancement. *IET Image Processing*, 9 (10), 908–915. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2015.0150>
14. Tiwari, M., Gupta, B., Shrivastava, M. (2015). High-speed quantile-based histogram equalisation for brightness preservation and contrast enhancement. *IET Image Processing*, 9 (1), 80–89. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2013.0778>
15. Wei, Z., Lidong, H., Jun, W., Zebin, S. (2015). Entropy maximisation histogram modification scheme for image enhancement. *IET Image Processing*, 9 (3), 226–235. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2014.0347>
16. Gonsales, R., Vuds, R., Eddins, S. (2006). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede Matlab*. Moscow: Tekhnosfera, 616. Available at: <https://en.sng1lib.org/book/2075428/0968c1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258092

DEVISING A METHODOLOGY FOR X-RAY IMAGE CONTRAST ENHANCEMENT BY COMBINING CLAHE AND GAMMA CORRECTION (p. 18–29)

Gulmira Omarova

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2053-0255>

Zhangeldi Aitkozha

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1213-5186>

Zhanna Sadirmekova

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7514-9315>

Gulkiz Zhidekulova

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6962-2188>

Dinara Kazimova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7169-7931>

Raikhan Muratkhan

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2030-8948>

Aliya Takuadina

Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9496-4307>

Damesh Abykeshova

Karaganda Medical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9730-8997>

Increasing image contrast is very important for the visual analysis of X-ray images. To improve the contrast of medical images, various contrast enhancement methods are used, such as histogram equalization and histogram modifications, gamma correction, etc. The paper explores adaptive methods for enhancing the contrast of digital X-ray images. Research was carried out on 1000 images from the open Kaggle database. Combinations of sequential application of several methods for enhancing image contrast were evaluated. Experiments using gamma image correction allowed us to select ranges of input and output parameters of the brightness conversion function. To obtain a better result, before performing gamma correction, it is proposed to use the method of equalizing the histogram of an X-ray image. Possibilities of adaptive image histogram equaliza-

tion are explored. The performed experiments allow us to propose an improved version of increasing the contrast of X-ray images. Combining the adaptive histogram equalization algorithm with contrast clipping has a visually noticeable effect of improving the contrast of X-ray images. Contrast improvement is supported by objective NIQE and BRISQUE quantifications that do not require reference images. A feature of this work is the use of objective non-reference assessments to determine the quality of images. The performed experiments indicate that the NIQE score correlates better with the visual assessment of image contrast changes. As a result of the experiments, recommendations were proposed for choosing the parameters of the gamma correction and adaptive histogram equalization methods, which make it possible to enhance the contrast without the intensification of noise in the image.

Keywords: digital X-ray image, image quality evaluation, image enhancement, contrast enhancement.

References

1. Gonsales, R., Vuds, R. (2012). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy*. Moscow: Tekhnosfera, 1104. Available at: <https://en.sng1lib.org/book/2912190/7268af>
2. Yue, H., Yang, J., Sun, X., Wu, F., Hou, C. (2017). Contrast Enhancement Based on Intrinsic Image Decomposition. *IEEE Transactions on Image Processing*, 26 (8), 3981–3994. doi: <https://doi.org/10.1109/tip.2017.2703078>
3. Jung, C., Sun, T. (2017). Optimized Perceptual Tone Mapping for Contrast Enhancement of Images. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 27 (6), 1161–1170. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2016.2527339>
4. Huang, S.-C., Cheng, F.-C., Chiu, Y.-S. (2013). Efficient Contrast Enhancement Using Adaptive Gamma Correction With Weighting Distribution. *IEEE Transactions on Image Processing*, 22 (3), 1032–1041. doi: <https://doi.org/10.1109/tip.2012.2226047>
5. Shakeri, M., Dezfoulian, M. H., Khotanlou, H., Barati, A. H., Masoumi, Y. (2017). Image contrast enhancement using fuzzy clustering with adaptive cluster parameter and sub-histogram equalization. *Digital Signal Processing*, 62, 224–237. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2016.10.013>
6. Liu, L., Jia, Z., Yang, J., Kasabov, N. (2015). A medical image enhancement method using adaptive thresholding in NSCT domain combined unsharp masking. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 25 (3), 199–205. doi: <https://doi.org/10.1002/ima.22137>
7. Maurya, L., Mahapatra, P. K., Kumar, A. (2019). A social spider optimized image fusion approach for contrast enhancement and brightness preservation. *Applied Soft Computing*, 52, 575–592. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.10.012>
8. Kim, S. E., Jeon, J. J., Eom, I. K. (2016). Image contrast enhancement using entropy scaling in wavelet domain. *Signal Processing*, 127, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2016.02.016>
9. Lidong, H., Wei, Z., Jun, W., Zebin, S. (2015). Combination of contrast limited adaptive histogram equalisation and discrete wavelet transform for image enhancement. *IET Image Processing*, 9 (10), 908–915. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2015.0150>
10. Tiwari, M., Gupta, B., Shrivastava, M. (2015). High-speed quantile-based histogram equalisation for brightness preservation and contrast enhancement. *IET Image Processing*, 9 (1), 80–89. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2013.0778>
11. Wei, Z., Lidong, H., Jun, W., Zebin, S. (2015). Entropy maximisation histogram modification scheme for image enhancement. *IET Image Processing*, 9 (3), 226–235. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2014.0347>
12. Chest X-Ray Images (Pneumonia). Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>
13. Gonsales, R., Vuds, R., Eddins, S. (2006). *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede Matlab*. Moscow: Tekhnosfera, 616. Available at: <https://en.sng1lib.org/book/2075428/0968c1>

14. Starovoitov, F. V., Starovoitov, V. V. (2018). Parameters of the curve of local estimate distribution as image quality measures. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika*, 3, 26–41. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-krivoy-raspreleniya-lokalnyh-otsenok-kak-mery-kachestva-izobrazheniy>
15. Ma, J., Fan, X., Yang, S. X., Zhang, X., Zhu, X. (2017). Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Based Fusion for Underwater Image Enhancement. Preprints doi: <https://doi.org/10.20944/preprints201703.0086.v1>
16. Omarova, G., Starovoitov, V. (2022). X-ray images contrast enhancement based on gamma correction. *BULLETIN Series of Physics & Mathematical Sciences*, 77 (1), 132–138. doi: <https://doi.org/10.51889/2022-1.1728-7901.18>
17. Mittal, A., Soundararajan, R., Bovik, A. C. (2013). Making a “Completely Blind” Image Quality Analyzer. *IEEE Signal Processing Letters*, 20 (3), 209–212. doi: <https://doi.org/10.1109/lsp.2012.2227726>
18. Mittal, A., Moorthy, A. K., Bovik, A. C. (2012). No-Reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21 (12), 4695–4708. doi: <https://doi.org/10.1109/tip.2012.2214050>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258089
DEVELOPMENT AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTEGRATION GATEWAY FOR THE INTERACTION OF THE LEARNING MANAGEMENT SYSTEM WITH EXTERNAL SYSTEMS AND SERVICES OF STATE INFORMATION SYSTEMS (p. 30–38)

Yevgeniy Fedkin

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9828-1706>

Saule Kumargazhanova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6744-4023>

Natalya Denissova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0525-730X>

Saule Smailova

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8411-3584>

Saule Rakhmetullina

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3142-0249>

Lazzat Kakisheva

D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,
 Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5900-8125>

Iurii Krak

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8043-0785>

The paper presents the results of the development of information technology for the interaction of the learning management system with the state information systems of the Republic of Kazakhstan in the field of higher education. Integration with these systems is based on the integration gateway, which is part of the educational portal of the East Kazakhstan Technical University named after

D. Serikbayev. Approaches to organizing data exchange with external information systems were analyzed and described, and mechanisms for integrating the national database of the Republic of Kazakhstan with a unified higher education management system were identified. The created integration gateway within the framework of the educational portal interacts with the information systems using the technology of transferring a representative state, data transfer is carried out in text format. The implemented gateway allows you to receive the necessary data from the database of the educational portal, generate data packets for transmission, connect to an external system and transfer data. To evaluate the efficiency of the gateway, computational experiments were carried out in which data of various volumes were transferred through the created gateway to state information systems and the time of their transmission was recorded. Based on the obtained data, the dependences of the transmission time on the amount of transmitted data for each information system with which interaction is carried out were obtained and their graphical display was built. According to the results of the experiments, it was shown that the transmission time has a polynomial dependence on the amount of data, which makes it possible to interact with the indicated information systems in real time.

Keywords: integration gateway, learning management system, integration service, representative transfer technology.

References

1. Calvert, C. E. (2014). Developing a model and applications for probabilities of student success: a case study of predictive analytics. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 29 (2), 160–173. doi: <https://doi.org/10.1080/02680513.2014.931805>
2. Kuzilek, J., Hlosta, M., Herrmannova, D., Zdrahal, Z., Vaclavek, J., Wolff, A. (2015). OU Analyse: analysing at-risk students at The Open University. *Learning Analytics Review*, LAK15-1, 1–16. Available at: <http://oro.open.ac.uk/42529/>
3. Herodotou, C., Rienties, B., Hlosta, M., Boroowa, A., Mangafa, C., Zdrahal, Z. (2020). The scalable implementation of predictive learning analytics at a distance learning university: Insights from a longitudinal case study. *The Internet and Higher Education*, 45, 100725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2020.100725>
4. IHEP. Available at: <https://www.ihep.org/about-ihep/>
5. Wolf, M., Taimuty, M., Patel, M., Meteyer, J. (2016). The Dean's information challenge: from data to dashboard. *EduCause Review*. Available at: <https://er.educause.edu/articles/2016/11/the-deans-information-challenge-from-data-to-dashboard>
6. The Ed Tech Revolution is About to Become the Learner Revolution (2014). Education Design Lab. Available at: <https://eddesignlab.org/resources/the-ed-tech-revolution-is-about-to-become-the-learner-revolution-2014/>
7. Adams, B. S., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall Giesinger, C., Anantha-Narayanan, V. (2017). *NMC horizon report: 2017 higher education edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
8. Williamson, B. (2018). The hidden architecture of higher education: building a big data infrastructure for the “smarter university.” *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 15 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s41239-018-0094-1>
9. Heidi Plus: Higher education business intelligence. Available at: <https://www.hesa.ac.uk/services/heidi-plus>
10. Roberson, A. J., Roriso, J., Voight, M. (2017). A blueprint for better information: Recommendations for a federal postsecondary student-level data network. Washington, DC: Institute for Higher Education Policy. Available at: <https://www.ihep.org/publication/a-blueprint-for-better-information-recommendations-for-a-federal-postsecondary-student-level-data-network/>
11. Serikbayeva, S., Tussupov, J., Sambetbayeva, M., Yerimbetova, A., Sadirmekova, Z., Tungatarova, A. et. al. (2021). Development of a model and technology of access to documents in scientific and

educational activities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (114)), 44–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.248506>

12. Fedkin, E., Denissova, N., Krak, I., Dyomina, I. (2021). Automation of Scheduling Training Sessions in Educational Institutions using Genetic Algorithms. 2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). doi: <https://doi.org/10.1109/idaacs53288.2021.9660939>
13. Shor, A. M. (2020). Comparative analysis of approaches in the development of API web applications. *StudNet*, 3 (9), 533–540.
14. Kuznetsova, R. V. (2020). Problems of integration of information systems on the platform “1C: Enterprise 8” with external information systems. *Russian science: trends and opportunities: collection of scientific articles*. Moscow: Publishing House “Pero”, 100–104.
15. Zuev, V., Kakisheva, L., Denissova, N., Kumargazhanova, S., Smailova, S. (2021). Development of a Set of Requirements for the Hardware and Software of LMS Services of the University. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16 (21), 210. doi: <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i21.25239>
16. Kumargazhanova, S., Erulanova, A., Soltan, G., Suleimenova, L., Zhomartkyzy, G. (2018). System of indicators for monitoring the activities of an educational institution. 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT). doi: <https://doi.org/10.1109/usberoit.2018.8384580>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257431

IDENTIFICATION OF FACTORS THAT NEGATIVELY AFFECT THE GROWTH OF AGRICULTURAL CROPS BY METHODS OF ORTHOGONAL TRANSFORMATIONS (p. 39–47)

Moldir Yessenova

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2644-0966>

Gulzira Abdikerimova

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4953-0737>

Aknur Adilova

M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3176-4041>

Akbota Yerzhanova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6826-8965>

Nurbol Kakabayev

Ualikhanov University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3892-9590>

Talgatbek Ayazbaev

International Taraz Innovative Institute, Taraz, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3914-3776>

Zeinigul Sattybaeva

Ualikhanov University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4109-5571>

Tleugaisha Ospanova

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1729-1321>

This paper focuses on aerospace image analysis methods. Aerospace images are considered for the study of agricultural crops of northern Kazakhstan belonging to the A. I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming. The main goal of the research is the development and implementation of algorithms that make it possible to detect and highlight on aerospace images the factors that negatively affect the growth of crops over the growing seasons. To resolve the problem, the spectral brightness coefficient (SBC), NDVI, clustering, orthogonal transformations are used. Special attention was paid to the development of software tools for selecting characteristics that describe texture differences to segment texture regions into sub-regions. That is, the issue of the applicability of sets of textural features and orthogonal transformations for the analysis of experimental data to identify characteristic areas on aerospace images that can be associated with weeds, pests, etc. in the future was investigated. The questions of signal image processing remain the focus of attention of different specialists. The images act both as a result and as a research object in physics, astronautics, meteorology, forensic medicine and many other areas of science and technology. Furthermore, image processing systems are currently being used to resolve many applied problems.

A program has been implemented in the MATLAB environment that allows performing spectral transformations of six types: 1) cosine; 2) Hadamard of order 2^n ; 3) Hadamard of order $n=p+1$, $p \equiv 3 \pmod{4}$; 4) Haar; 5) slant; 6) Daubechies 4.

Analysis of the data obtained revealed the features of changes in the reflectivity of cultivated crops and weeds in certain periods of the growing season. The data obtained are of great importance for the validation of remote space observations using aerospace images.

Keywords: image processing, aerospace images, NDVI, SBC, orthogonal transformations, conceptual model.

References

1. Haralick, R. M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the IEEE*, 67 (5), 786–804. doi: <https://doi.org/10.1109/proc.1979.11328>
2. Feodor, M., Natalya, R. (2017). Analysis of noise stability of strip-transformation. *Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Computing Science*, 41. doi: <https://doi.org/10.31144/bncc.cs.2542-1972.2017.n41.p41-54>
3. Xiao, B., Lu, G., Zhang, Y., Li, W., Wang, G. (2016). Lossless image compression based on integer Discrete Tchebichef Transform. *Neurocomputing*, 214, 587–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.06.050>
4. Rao, K. R., Yip, P. (1990). *Discrete cosine transform: algorithms, advantages, applications*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-22279-3>
5. Kostrov, B. V., Grigorenko, D. V., Ruchkin, V. N., Fulin, V. A. (2016). Theoretical aspects of aerospace image processing in quasi two-dimensional spectral space. *MATEC Web of Conferences*, 75, 03006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167503006>
6. Abdikerimova, G. B., Murzin, F. A., Bychkov, A. L., Wei, X., Ryabchikova, E. I., Ayazbayev, T. (2019). The analysis of textural images on the basis of orthogonal transformations. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 97 (1), 15–22.
7. Rashmi, S., Mandar, S. (2011). Textural Feature Based Image Classification Using Artificial Neural Network. *Advances in Computing, Communication and Control*, 62–69. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-18440-6_8
8. Sidorova, V. S. (2012). Hierarchical cluster algorithm for remote sensing data of earth. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 22 (2), 373–379. doi: <https://doi.org/10.1134/s1054661812020149>
9. Chaban, L. N., Berezina, K. V. (2018). Analiz informativnosti spektral'nykh i teksturnykh priznakov pri klassifikatsii rastitel'nosti

- po giperspektral'nym aerosnimkam. Geodeziya i aerofotosemka, 62 (1), 85–95.
10. Umarani, C., Ganesan, L., Radhakrishnan, S. (2008). Combined statistical and structural approach for unsupervised texture classification. *International Journal of Imaging and Engineering*, 2 (1), 162–165. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.329.4239&rep=rep1&type=pdf>
 11. Galerne, B., Gousseau, Y., Morel, J.-M. (2011). Random Phase Textures: Theory and Synthesis. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20 (1), 257–267. doi: <https://doi.org/10.1109/tip.2010.2052822>
 12. Costa, A. F., Humpire-Mamani, G., Traina, A. J. M. (2012). An Efficient Algorithm for Fractal Analysis of Textures. 2012 25th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images. doi: <https://doi.org/10.1109/sibgrapi.2012.15>
 13. Salomon, D. (2004). *Compression of data, images and sound*. Moscow: Technosphere, 368.
 14. Vilenkin, N. Y. (1971). *Combinatorics*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-11655-8>
 15. Paley, R. E. A. C. (1933). On Orthogonal Matrices. *Journal of Mathematics and Physics*, 12 (1-4), 311–320. doi: <https://doi.org/10.1002/sapm1933121311>
 16. Lachowicz, P. (2015). Walsh–Hadamard Transform and Tests for Randomness of Financial Return-Series. *Quant At Risk*. Available at: <https://quantatrisk.com/2015/04/07/walsh-hadamard-transform-python-tests-for-randomness-of-financial-return-series/>
 17. Yorke, B. A., Beddard, G. S., Owen, R. L., Pearson, A. R. (2014). Time-resolved crystallography using the Hadamard transform. *Nature Methods*, 11 (11), 1131–1134. doi: <https://doi.org/10.1038/nmeth.3139>
 18. Lu, Y., Desmedt, Y. (2015). Walsh transforms and cryptographic applications in bias computing. *Cryptography and Communications*, 8 (3), 435–453. doi: <https://doi.org/10.1007/s12095-015-0155-4>
 19. Seberry, J., Balonin, N. A. (2017). Two infinite families of symmetric Hadamard matrices. *Faculty of Engineering and Information Sciences - Papers: Part B*. 782. Available at: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1783&context=eispapers1>
 20. Slomczynski, W., Szczepanek, A. (2017). Quantum Dynamical Entropy, Chaotic Unitaries and Complex Hadamard Matrices. *IEEE Transactions on Information Theory*, 63 (12), 7821–7831. doi: <https://doi.org/10.1109/tit.2017.2751507>
 21. Balasubramanian, K. (2021). *Combinatorics, Big Data, Neural Network & AI for Medicinal Chemistry & Drug Administration*. *Letters in Drug Design & Discovery*, 18 (10), 943–948. doi: <https://doi.org/10.2174/1570180818666210719130052>
 22. Abdikerimova, G., Bychkov, A., Xin, Y. W., Murzin, F. et. al. (2016). Algorithms and software for the analysis of disordering the structure of cellular walls. *Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. Series: Computer Science*, (40). doi: <https://doi.org/10.31144/bncc.cs.2542-1972.2016.n40.p1-14>
 23. Osadchij, A., Kamenev, A., Saharov, V., Chernyi, S. (2021). Signal Processing Algorithm Based on Discrete Wavelet Transform. *Designs*, 5 (3), 41. doi: <https://doi.org/10.3390/designs5030041>
 24. Abdiakmetova, Z. M. (2017). Wavelet data processing in the problems of allocation in recovery well logging. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 95 (5), 1041. Available at: <https://www.kaznu.kz/content/files/news/folder23320/2017%20%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%81%207Vol95No5.pdf>
 25. Borisova, D., Kazaryan, M., Shakhramanyan, M., Nedkov, R., Richter, A., Stankova, N. (2017). Research of generalized wavelet transformations of Haar correctness in remote sensing of the Earth. *Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIII*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.2278572>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259113
IMPLEMENTING SMART FARMING USING
INTERNET TECHNOLOGY AND DATA ANALYTICS: A
PROTOTYPE OF A RICE FARM (p. 48–62)

Idongesit Eteng

University of Calabar, Cross River State, Nigeria
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3438-5282>

Catherine Ugbe

University of Calabar, Cross River State, Nigeria
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1120-2594>

Samuel Oladimeji

University of Calabar, Cross River State, Nigeria
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6243-2787>

Precision Agriculture which includes the implementation of smart farms is gradually becoming commonplace in our present world. The Internet of Things (IoT) and also Analytics techniques are useful tools for the actualization of smart farms as they allow for information dissemination to rural farmers and also serve as a platform for monitoring farm activities. When farm activities are properly monitored, food production is optimized. As the world's population grows, there is a greater challenge of the availability of food. The combination of IoT and data analytics has not been fully explored for Smart farming especially in developing economies. This paper proposes a FarmSmart Application using an IoT-based mobile monitoring system that combines sensors, and data analytics to manage irrigation processes and broadcast Agricultural information to farmers. The FarmSmartApp was implemented on the IntelliJ IDE using C++ and MongoDB. Python and Excel were used for the data analytics. The effectiveness of the proposed system is examined on a real-world dataset harvested from the mounted sensors. Also an initial evaluation of the system is done by stakeholders. Simple Analysis of Variance of light, moisture and temperature led to the rejection of the null hypothesis of no significance difference in mean effect among the variables since f_{calc} is greater than f_{crit} justified by p value less than 0.05. On the system evaluation, 97 % of the examined stakeholders agreed that the system delivered on the agreed functionality. The system therefore has the capacity to provide farmers with useful Agricultural information to guide irrigation procedures and Agricultural decision making.

Keywords: smart farming, internet of things, irrigation, information broadcasting, and data ingestion.

References

1. Hunter, M. C., Smith, R. G., Schipanski, M. E., Atwood, L. W., Mortensen, D. A. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience*, 67(4), 386–391. doi: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix010>
2. Abutu, O. P. (2014). Challenges of Agriculture in Nigeria Economy: A Bane to Food Security. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(5), 18–21. doi: <https://doi.org/10.9790/2380-07511821>
3. Kumar, V., Khan, S., Khan, S. (2017). Importance of Weather Prediction for Sustainable Agriculture in Bihar, India. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 2 (2), 105–108. Available at: <https://www.aesacademy.org/journal/volume2/issue2/AAES-02-02-08.pdf>
4. Malavade, V. N., Akulwar, P. K. (2016). Role of IoT in Agriculture. *Proceedings from National Conference on “Changing Technology and Rural Development” CTRD 2k16*, 1, 56–57. Available at: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Conf.16051/Volume-1/13.2056-57.pdf>

5. Kumbhar, V., Singh, T. P. (2013). A Comprehensive Study of Application of Decision Support System in Agriculture in Indian Context. *International Journal of Computer Applications*, 63 (14), 6–11. doi: <https://doi.org/10.5120/10532-5515>
6. Chase, J. (2013). The Evolution of the Internet of Things. White Paper. Available at: <https://www.ti.com/lit/ml/swrb028/swrb028.pdf>
7. Jayaraman, P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., Zaslavsky, A. (2016). Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt. *Sensors*, 16 (11), 1884. doi: <https://doi.org/10.3390/s16111884>
8. The Food and Agriculture Organization (FAO). Available at: <https://www.fao.org/home/en/>
9. Pivoto, D., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P. S., Dalla Corte, V. F., de Vargas Mores, G. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Information Processing in Agriculture*, 5 (1), 21–32. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
10. Kim, Y., Evans, R. G., Iversen, W. M. (2008). Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57 (7), 1379–1387. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2008.917198>
11. Elijah, O., Orikumhi, I., Rahman, T. A., Babale, S. A., Orakwue, S. I. (2017). Enabling smart agriculture in Nigeria: Application of IoT and data analytics. 2017 IEEE 3rd International Conference on Electro-Technology for National Development (NIGERCON). doi: <https://doi.org/10.1109/nigercon.2017.8281944>
12. Abdulwaheed, A. (2009). Benefits of Precision Agriculture in Nigeria. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal*, 19 (2), 29–34. Available at: https://www.journalspress.com/LJRS_Volume19/507_Benefits-of-Precision-Agriculture-in-Nigeria.pdf
13. Eteng, I., Etighe, J. (2019). An IoT-Based Smart Environment System. *U6CAU Proceedings*, 1 (1), 72–81. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Idongesit-Eteng/publication/343212530_AN_IOT-BASED_SMART_ENVIRONMENT_SYSTEM/links/5f1c4c4ca6fdcc9626b09891/AN-IOT-BASED-SMART-ENVIRONMENT-SYSTEM.pdf
14. Nte Nathaniel, I. (2017). Factors Affecting Technological Growth in Nigeria and the Way Forward. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 5 (5), 269. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijmea.20170505.15>
15. Hussein, M., Li, S., Radermacher, A. (2017). Model-Driven Development of Adaptive IoT Systems. 4th International Workshop on Interplay of Model-Driven Engineering and Component-Based Software Engineering. Available at: http://ceur-ws.org/Vol-2019/modcomp_3.pdf
16. Teppola, S., Parviainen, P., Takalo, J. (2009). Challenges in Deployment of Model Driven Development. 2009 Fourth International Conference on Software Engineering Advances. doi: <https://doi.org/10.1109/icsea.2009.11>
17. Ambler, S. W. (2008). Agile Software Development at Scale. *Lecture Notes in Computer Science*, 1–12. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-85279-7_1
18. Halbrendt, J., Gray, S. A., Crow, S., Radovich, T., Kimura, A. H., Tamang, B. B. (2014). Differences in farmer and expert beliefs and the perceived impacts of conservation agriculture. *Global Environmental Change*, 28, 50–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.05.001>
19. Pourghebleh, B., Navimipour, N. J. (2017). Data aggregation mechanisms in the Internet of things: A systematic review of the literature and recommendations for future research. *Journal of Network and Computer Applications*, 97, 23–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.08.006>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258394

DESIGNING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR CHANGING NPU ENERGY RELEASE COMPENSATING FOR ARISING INTERNAL DISTURBING FACTORS BASED ON THEIR APPROXIMATION MODEL (p. 63–75)

Olexander Brunetkin

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6701-8737>

Konstantin Beglov

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5277-2577>

Maksym Maksymov

Naval Institute of the National University “Odessa Maritime Academy”, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7536-2570>

Volodymyr Baskakov

EnErTek LTD, Energodar, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1632-6120>

Viktoriia Vataman

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4403-5814>

Viktoriia Kryvda

Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine, 65044

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0930-1163>

The necessity of keeping in working condition the sources of traditional electricity generation for dispatching the supply of electricity from the capacities of «green» electricity generation has been realized. Potentially, one of these sources may be nuclear power plants. An obstacle to their use as a participant in dispatching is the impossibility of maneuvering with power in a wide range. One of the reasons for limiting the range is the complexity of automatic compensation for the reactivity of the xenon oscillation reactor.

Existing physical and mathematical models for calculating the parameters of processes in the reactor due to changes in its power because of its complexity cannot be used in operational automatic control systems. The task of constructing an approximation linear model of processes in the reactor in the form of a transfer function is set.

To build an approximation model, the inverse problem is solved. The desired model is based on the condition of coincidence at some time interval of the results of solving it with the results of a detailed physical-mathematical model. To this end, a number of sequential actions are performed, including approximation of the results of the expanded physical-mathematical model using a series, the application of the Laplace transformation to this series, as well as Pade approximation obtained in the space of the images of the series.

The method of control was proposed and an automatic control system (ACS) for energy production of nuclear power plant has been synthesized. To this end, the management system was integrated with the approximation model of the active zone, which provided the possibility for adjusting the quantitative degree of stability of the active zone.

ACS consists of three control circuits. Such a structure has made it possible to compensate for the xenon oscillations that occur.

Additionally, ACS reduces the movement of adjusting rods in the active zone, which reduces local power surges in nuclear fuel and leads to an increase in its durability.

Keywords: power maneuvering, Pade approximation, approximation model, xenon oscillations, reactivity.

References

1. Maksymov, M., Alyokhina, S., Brunetkin, O. (2021). *Thermal and Reliability Criteria for Nuclear Fuel Safety*. River Publishers, 250.

2. Yastrebenetskiy, M. A., Rozen, Yu. V., Vinogradskaya, S. V., Dzhonson, G., Eliseev, V. V., Siora, A. A. et. al. (2011). *Sistemy upravleniya i zaschity yadernykh reaktorov*. Kyiv: Osnova-Print, 768. Available at: http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/yastrebenitskiy.pdf
3. Todortsev, Y., Foshch, T., Nikolsky, M. (2013). Analysis of methods for controlling power unit with a pressurized water reactor in maneuvering. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (66)), 3–10. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19134>
4. Aver'yanova, S. P., Semchenkov, Yu. M., Filimonov, P. E. et. al. (2005). Vnedrenie usovershenstvovannykh algoritmov upravleniya energovydeleniem aktivnoy zony VVER-1000 na Khmel'nitskoy AES. *Atomnaya energiya*, 98 (6), 414–421. Available at: http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t98-6_2005/go,14/
5. Mercier, B., Ziliang, Z., Liyi, C., Nuoya, S. (2020). Modeling and control of xenon oscillations in thermal neutron reactors. *EPJ Nuclear Sciences & Technologies*, 6, 48. doi: <https://doi.org/10.1051/epjn/2020009>
6. Wang, L., Zhao, J., Liu, D., Lin, Y., Zhao, Y., Lin, Z. et. al. (2017). Parameter Identification with the Random Perturbation Particle Swarm Optimization Method and Sensitivity Analysis of an Advanced Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant Model for Power Systems. *Energies*, 10 (2), 173. doi: <https://doi.org/10.3390/en10020173>
7. Rady, K., Abouelsoud, A. A., Kotb, S. A., El Metwally, M. M. (2020). Modeling and Estimation of Nuclear Reactor Performance Using Fractional Neutron Point Kinetics with Temperature Effect and Xenon Poisoning. *Nuclear Science and Engineering*, 194 (7), 572–582. doi: <https://doi.org/10.1080/00295639.2020.1755808>
8. Saadatzi, S., Ansarifar, G. (2017). Robust observer-based non-linear control for PWR nuclear reactors with bounded xenon oscillations during load-following operation using two-point nuclear reactor model. *International Journal of Nuclear Energy Science and Technology*, 11 (1), 22. doi: <https://doi.org/10.1504/ijnest.2017.085075>
9. Brunetkin, O., Beglov, K., Brunetkin, V., Maksymov, O., Maksymova, O., Havaluikh, O., Demydenko, V. (2020). Construction of a method for representing an approximation model of an object as a set of linear differential models. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (108)), 66–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.220326>
10. Butyrsky, Eu. Yu., Kuvaldin, I. A., Chalkin, V. P. (2010). Multidimensional functions' approximation. *Nauchnoe priborostroenie*, 20 (2), 82–92. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/approksimatsiya-mnogomernyh-funktsiy>
11. Kolmogorov, A. N. (1956). O predstavlenii nepreryvnykh funktsiy neskol'kikh peremennykh superpozitsiyami nepreryvnykh funktsiy men'shego chisla peremennykh. *Izvestiya AN SSSR*, 108, 179–182.
12. Arnol'd, V. I. (1963). O funktsii trekh peremennykh. *Izvestiya AN SSSR*, 114.
13. Amat, S., Levin, D., Ruiz-Álvarez, J. (2021). A two-stage approximation strategy for piecewise smooth functions in two and three dimensions. *IMA Journal of Numerical Analysis*. doi: <https://doi.org/10.1093/imanum/drab068>
14. Kolmogorov, A. N. (1957). O predstavlenii nepreryvnykh funktsiy neskol'kikh peremennykh v vide superpozitsiy nepreryvnykh funktsiy odnogo peremennogo i slozheniya. *DAN SSSR*, 114 (5), 953–956.
15. Shi, E., Xu, C. (2021). A comparative investigation of neural networks in solving differential equations. *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 15, 174830262199860. doi: <https://doi.org/10.1177/1748302621998605>
16. Shimazu, Y. (2008). Xenon Oscillation Control in Large PWRs Using a Characteristic Ellipse Trajectory Drawn by Three Axial Offsets. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 45 (4), 257–262. doi: <https://doi.org/10.1080/18811248.2008.9711435>
17. Parhizkari, H., Aghaie, M., Zolfaghari, A., Minucmehr, A. (2015). An approach to stability analysis of spatial xenon oscillations in WWER-1000 reactors. *Annals of Nuclear Energy*, 79, 125–132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.01.026>
18. Aver'yanova, S. P., Semchenkov, Y. M., Filimonov, P. E., Gorokhov, A. K., Molchanov, V. L., Korennoi, A. A., Makeev, V. P. (2005). Adoption of Improved Algorithms for Controlling the Energy Release of a VVER-1000 Core at the Khmel'nitskii Nuclear Power Plant. *Atomic Energy*, 98 (6), 386–393. doi: <https://doi.org/10.1007/s10512-005-0222-6>
19. Maksimov, M. V., Tsiselskaya, T. A., Kokol, E. A. (2015). The Method of Control of Nuclear Power Plant with VVER-1000 Reactor in Maneuverable Mode. *Journal of Automation and Information Sciences*, 47 (6), 17–32. doi: <https://doi.org/10.1615/jautomatinfscien.v47.i6.20>
20. Chernyshov, N. N. (2013). Komp'yuternyeprogrammydlyaneytronnofizicheskogo rascheta yadernykh reaktorov AES. *Radioelektronika i informatika*, 3 (62). Available at: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/1380>
21. Chernyshov, N. N. et. al. (2008). Ispol'zovanie komp'yuternykh programm dlya neytronno-fizicheskogo rascheta reaktorov atomnykh elektrostansiy. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta «KhPI»*, 25, 130–137. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/33798>
22. Pleshakova, N. V., Anokhin, A. N. (2012). Analiz oshibok, dopuskaemykh operatorami BSChU AES pri ispol'zovanii ekspluatatsionnykh protsedur. *Izvestiya VUZov. Yadernaya energetika*, 4, 45–57. Available at: https://www.researchgate.net/publication/265179324_Analiz_oshibok_dopuskaemyh_operatorami_BSChU_AES_pri_ispolzovanii_ekspluatatsionnyh_procedur
23. Foshch, T., Pelykh, S. (2017). Improved models and method of power change of NPP unit with VVER-1000. *Automation of Technological and Business Processes*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.15673/atbp.v9i1.505>
24. Severin, V. P., Nikulina, E. N., Lyutenko, D. A., Bobukh, E. Y. (2014). The problem of maneuverability of unit of nuclear power plant and development of models of its control systems. *Bulletin of the National Tech. University «Kharkov Polytechnic Institute»*, 61 (1103), 24–29. Available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/13855>
25. Pelykh, S. N., Maksimov, M. V., Nikolsky, M. V. (2014). A method for minimization of cladding failure parameter accumulation probability in VVER fuel elements. *Problems of Atomic Science and Technology*, 92 (4), 108–116. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/80362>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258953

PLANNING OPTIMAL OPERATING MODES OF UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES AS PART OF THE GAS TRANSMISSION SYSTEM (p. 76–91)

Myroslav Prytula

Research and Design Institute of Gas Transport of PJSC «Ukrtransgaz», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9259-4114>

Nazar Prytula

Research and Design Institute of Gas Transport of PJSC «Ukrtransgaz», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9451-275X>

Yaroslav Pyanylo

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5458-3526>

Zoia Prytula

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7131-0290>

Olga Khymko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2641-8133>

The object of this study is underground gas storage facilities (UGSF) as part of the gas transmission system (GTS), in the process of joint operation of which a significant synergistic effect is achieved. The problem under consideration is to ensure the joint effective operation of the integrated UGSF and GTS complex as a single thermal-hydraulic one.

A method of daily calculation of the maximum productivity of underground gas storage facilities has been devised. The optimization potential of UGSF operating modes has been studied. It is shown to range within 11–20 %. The problems of planning the operation of UGSF have been stated and solved both under gas pumping modes and gas withdrawal modes. An algorithm for planning gas withdrawal modes at intervals of peak-free UGSF operation been developed. The achieved computational complexity of problem-solving algorithms is in the range of 2–10 seconds. The problem of combining simultaneous operation of UGSF under an optimal mode for fuel gas and ensuring the necessary peak operation of UGSF at projected time intervals has also been considered. The joint UGSF performance was calculated at the projected time intervals according to the established criteria. At the same time, thermal-hydraulic coordination of UGSF operating modes with the operation of the GTS main gas pipeline system with which they are integrated was ensured.

The problem was solved as a result of the implementation of a universal approach to the construction of functional models of complex systems – a single information support, the representation of the structure of the system in terms of graphs, the statement of proper mathematical problems, the development of methods for guaranteed convergence of systems with different mathematical representations of equations, the development of computational algorithms for combinatorial optimization of minimum complexity processes with discrete and irregular influences on their behavior.

Keywords: underground gas storage facility, mathematical support, optimal planning, optimization methods.

References

- Ma, X., Zheng, D., Zhang, G., Li, D. (2021). General Situation of Underground Gas Storage Around the World. Handbook of Underground Gas Storages and Technology in China, 1–31. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7855-7_11-1
- Pardalos, P. M., Du, D.-Z., Graham, R. L. (Eds.) (2013). Handbook of combinatorial optimization. Springer, 3409. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7997-1>
- Papadimitriou, C. H., Steiglitz, K. (Eds.) (1998). Combinatorial optimization: algorithms and complexity. Mineola: Dover Publications, 528.
- Federal Energy Regulatory Commission. Available at: <http://www.ferc.gov>
- Ukrainian Energy Exchange. Available at: <https://www.ueex.com.ua/exchange-quotations/Natural%20gas/>
- Prytula, N., Prytula, M., Boyko, R. (2017). Development of software for analysis and optimization of operating modes of underground gas stores. Technology Audit and Production Reserves, 2 (3 (40)), 17–25. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128574>
- Prytula, N., Prytula, M., Boyko, R. (2017). Mathematical modeling of operating modes of underground gas storage facilities. Technology Audit and Production Reserves, 4 (1 (36)), 35–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.109084>
- Prytula, N., Frolov, V., Prytula, M. (2017). Optimal scheduling of operating modes of the gas transmission system. Mathematical Modelling and Computing, 4 (1), 78–86. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2017.01.078>
- Prytula, N. (2013). Optymizatsiya rezhymiv roboty hazotransportnykh system. Visnyk Natsional'noho universytetu "Lvivs'ka politekhnika". Komp'yuterni nauky ta informatsiyni tekhnolohiyi, 771, 342–348.
- Prytula, N. (2015). Mathematical modelling of dynamic processes in gas transmission. Econtechmod. An international quarterly journal, 4 (3), 57–63. Available at: http://www.mathcenter.com.ua/docs/articles/MathematicalModellingOfDynamicProcessesInGasTransmission_2015_en.pdf
- Wu, X., Li, C., He, Y., Jia, W. (2018). Operation Optimization of Natural Gas Transmission Pipelines Based on Stochastic Optimization Algorithms: A Review. Mathematical Problems in Engineering, 2018, 1–18. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/1267045>
- Sedliak, A., Žáčik, T. (2016). Optimization of the Gas Transport in Pipeline Systems. Tatra Mountains Mathematical Publications, 66 (1), 103–120. doi: <https://doi.org/10.1515/tmmp-2016-0024>
- Ríos-Mercado, R., Borraz-Sánchez, C. (2014). Optimization problems in natural gas transmission systems: A state-of-the-art survey. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266169052_Optimization_problems_in_natural_gas_transmission_systems_A_state-of-the-art_survey
- PIPEPHASE Pipeline Network Design. Available at: https://www.aveva.com/content/dam/aveva/documents/datasheets/Datasheet_SE-SimSci_PIPEPHASE_11-15.pdf
- OLGA Dynamic Multiphase Flow Simulator. Available at: <https://www.software.slb.com/products/olga>
- PIPESIM Steady-State Multiphase Flow Simulator. Available at: <https://www.software.slb.com/products/pipesim>
- Features of hydrodynamic simulation gatchinskogo UGS. Available at: http://vesti-gas.ru/sites/default/files/attachments/113-115-iz_matmodelirovanie-2012-v13-m-d.pdf
- ECLIPSE Industry-Reference Reservoir Simulator. Available at: <https://www.software.slb.com/products/eclipse>
- SKUA-GOCAD product suite. Available at: <https://www.pdgm.com/products/skua-gocad>
- Zhao, L., Yan, Y., Wang, P., Yan, X. (2019). A risk analysis model for underground gas storage well integrity failure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 62, 103951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103951>
- Abbasov, É. M., Kengerli, T. S., Abdullaeva, N. R. (2020). Simulation of the Process of Filtration of a Gas–Liquid Mixture in the Bed–Well Conjugate System. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 93 (5), 1147–1155. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02216-2>
- Budny, C., Madlener, R., Hilgers, C. (2015). Economic feasibility of pipe storage and underground reservoir storage options for power-to-gas load balancing. Energy Conversion and Management, 102, 258–266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.04.070>
- Aziz, K., Aziz, K., Settari, A. (1979). Petroleum Reservoir Simulation. Applied Science Publishers, 476.
- JSC Ukrtransgaz. Available at: <https://utg.ua/utg/business-info/analitychni-paneli.html>
- Mathematical Centre Ltd. Available at: <http://www.mathcenter.com.ua/en/presentations-en>
- Sergienko, I. V., Gulyanitskiy, L. F., Sirenko, S. I. (2009). Klassifikatsiya prikladnykh metodov kombinatornoj optimizatsii. Kibernetika i sistemnyy analiz, 5, 71–83. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/44402>
- Blum, C., Puchinger, J., Raidl, G. R., Roli, A. (2011). Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. Applied Soft Computing, 11 (6), 4135–4151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.02.032>

АНОТАЦІЇ

INFORMATION TECHNOLOGY. INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259710**ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ (с. 6–17)****Ainur Shekerbek, Sandugash Serikbayeva, Murat Tulenbayev, Galitdin Bakanov, Svetlana Beglerova, Anastasiya Makovetskaya**

Актуальність теми, зокрема, якщо взяти один із інформаційних потоків, чи то дія людського фактора чи конкретного об'єкта, то правдивим стає факт, що спеціальна обробка мови машинного навчання та автоматичне виведення інформації значно оптимізують людське життя. За допомогою нейронних мереж та їх рентгенографії органів грудної клітки — одного з найдоступніших рентгенологічних досліджень для скринінгу та діагностики багатьох захворювань легень — спеціальна мова машинного навчання дозволяє вивчати потоки інформації про нього і той самий об'єкт у режимі реального часу за допомогою нейронних мереж.

У статті описано термінологію проблеми розпізнавання рентгенологічних знімків з використанням методів та алгоритмів машинного навчання, розглянуто актуальність проблеми, а також проаналізовано сучасний стан проблеми в галузі розпізнавання рентгенологічних знімків. Наголошуються аспекти розв'язуваної проблеми, виявлені в ході аналізу, у вигляді розв'язуваних завдань, підходів, методів, що використовуються інформаційних технологій, інструментів та програмних рішень проблеми.

Стаття присвячена опису модифікованого методу нечіткої кластеризації напівтонових зображень, що на кожній ітерації виконує динамічне перетворення вихідних даних на основі сингулярної декомпозиції з автоматичним виділенням найбільш значущих стовпців матриці лівих сингулярних векторів. Результати експериментальних досліджень було отримано шляхом обробки рентгенологічних зображень.

В результаті тестування моделі нейронної мережі, у вихідному шарі якої для активації нейронів використовувалася сигмоїдальна функція активації, а як метод оптимізації — алгоритм, були отримані найкращі значення точності та повноти: точність — 94,2. Під час тестування нейромережа показала точність розпізнавання пневмонії, що дорівнює 94,27 %.

Ключові слова: математичні методи, машинне навчання, нейронні мережі, розпізнавання образів, обробка медичних зображень, штучний інтелект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258092**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ШЛЯХОМ ПОЄДНАННЯ СЛАНЕ І ГАММА-КОРЕКЦІЇ (с. 18–29)****Gulmira Omarova, Zhangeldi Aitkozha, Zhanna Sadirmekova, Gulkiz Zhidekulova, Dinara Kazimova, Raikhan Muratkhan, Aliya Takuadina, Damesh Abdykeshova**

Підвищення контрастності зображень має велике значення для візуального аналізу рентгенологічних зображень. Для підвищення контрастності медичних зображень використовуються різні методи збільшення контрастності, такі як вирівнювання та зміна гистограми, гамма-корекція тощо. У роботі досліджуються адаптивні методи підвищення контрастності цифрових рентгенологічних зображень. Дослідження проводилися на 1000 зображень з відкритої бази даних Kaggle. Оцінювалися комбінації послідовного застосування декількох методів підвищення контрастності зображень. Експерименти з використанням гамма-корекції зображень дозволили обрати діапазони вхідних та вихідних параметрів функції перетворення яскравості. Для отримання кращого результату перед виконанням гамма-корекції пропонується використовувати метод вирівнювання гистограми рентгенологічного зображення. Досліджуються можливості адаптивного вирівнювання гистограми зображення. Проведені експерименти дозволяють запропонувати вдосконалений метод підвищення контрастності рентгенологічних зображень. Поєднання алгоритму адаптивного вирівнювання гистограми з відсіканням контрасту має візуально помітний ефект поліпшення контрастності рентгенологічних зображень. Підвищення контрастності підтримується об'єктивними кількісними оцінками NIQE та BRISQUE, які не потребують еталонних зображень. Особливістю даної роботи є використання об'єктивних нееталонних оцінок для визначення якості зображень. Проведені експерименти показують, що оцінка NIQE краще корелює з візуальною оцінкою змін контрастності зображень. В результаті експериментів були запропоновані рекомендації щодо вибору параметрів методів гамма-корекції та адаптивного вирівнювання гистограми, що дозволяють підвищити контрастність без посилення шумів на зображенні.

Ключові слова: цифрове рентгенологічне зображення, оцінка якості зображення, поліпшення зображення, підвищення контрастності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258089**РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТЕГРАЦІЙНОГО ШЛЮЗУ ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ ІЗ ЗОВНІШНІМИ СИСТЕМАМИ ТА СЛУЖБАМИ ДЕРЖАВНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ (с. 30–38)****Yevgeniy Fedkin, Saule Kumargazhanova, Natalya Denisova, Saule Smailova, Saule Rakhmetullina, Lazzat Kakisheva, Iurii Krak**

У роботі представлені результати розробки інформаційної технології взаємодії системи управління навчанням з державними інформаційними системами Республіки Казахстан у сфері вищої освіти. Інтеграція з даними системами здійснюється на осно-

ві інтеграційного шлюзу, що входить до освітнього порталу Східно-Казахстанського технічного університету імені Д. Серікбаєва. Проаналізовано та описано підходи до організації обміну даними із зовнішніми інформаційними системами, визначено механізми інтеграції національної бази даних Республіки Казахстан з єдиною системою управління вищою освітою. Створений інтеграційний шлюз в рамках освітнього порталу взаємодіє з інформаційними системами за технологією передачі репрезентативного стану, передача даних здійснюється у текстовому форматі. Реалізований шлюз дозволяє отримувати необхідні дані з бази даних освітнього порталу, формувати пакети даних для передачі, підключатися до зовнішньої системи та передавати дані. Для оцінки ефективності роботи шлюзу були проведені обчислювальні експерименти, в ході яких дані різного обсягу передавалися через створений шлюз у державні інформаційні системи та фіксувався час їхньої передачі. На основі отриманих даних були отримані залежності часу передачі від обсягу переданих даних для кожної інформаційної системи, з якою здійснюється взаємодія, та побудовано їхнє графічне відображення. За результатами експериментів показано, що час передачі має поліноміальну залежність від обсягу даних, що дозволяє взаємодіяти із зазначеними інформаційними системами в режимі реального часу.

Ключові слова: інтеграційний шлюз, система управління навчанням, служба інтеграції, технологія передачі репрезентативного стану.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257431

ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО МАЮТЬ НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НА ЗРОСТАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР МЕТОДАМИ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ (с. 39–47)

Moldir Yessenova, Gulzira Abdikerimova, Aknur Adilova, Akbota Yerzhanova, Nurbol Kakabayev, Talgatbek Ayazbaev, Zeinigul Sattybaeva, Tleugaisha Ospanova

Робота присвячена методам аналізу аерокосмічних знімків. Розглянуто аерокосмічні знімки для вивчення сільськогосподарських культур Північного Казахстану, що належать Науково-виробничому центру зернового господарства ім. А. І. Бараєва. Основною метою дослідження є розробка та реалізація алгоритмів, що дозволяють виявляти та виділяти на аерокосмічних знімках фактори, що мають негативний вплив на зростання сільськогосподарських культур протягом вегетаційного періоду. Для вирішення задачі використовуються коефіцієнт спектральної яскравості (КСЯ), НВІР, кластеризація, ортогональні перетворення. Особливу увагу приділено розробці програмних засобів для відбору характеристик, що описують текстурні відмінності для сегментації текстурних областей на підобласті. Тобто досліджувалося питання щодо застосовності наборів текстурних ознак та ортогональних перетворень при аналізі експериментальних даних для виявлення на аерокосмічних знімках характерних ділянок, які в майбутньому можуть бути пов'язані з бур'янами, шкідниками тощо. Питання обробки зображень сигналів залишаються у центрі уваги різних фахівців. Зображення виступають в якості як результату, так і об'єкта дослідження в фізиці, астронавтиці, метеорології, судовій медицині та багатьох інших областях науки і техніки. Крім того, системи обробки зображень в даний час використовуються для вирішення багатьох прикладних задач.

У середовищі MATLAB реалізована програма, що дозволяє виконувати спектральні перетворення шести типів: 1) косинусне; 2) Адамара 2ⁿ порядку; 3) Адамара $n=p+1$ порядку, $p \equiv 3 \pmod{4}$; 4) Хаара; 5) похиле; 6) Добеши 4.

Аналіз отриманих даних дозволив виявити особливості зміни відбивної здатності сільськогосподарських культур та бур'янів у певні періоди вегетації. Отримані дані мають велике значення для підтвердження результатів дистанційних космічних спостережень за аерокосмічними знімками.

Ключові слова: обробка зображень, аерокосмічні знімки, НВІР, КСЯ, ортогональні перетворення, концептуальна модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259113

ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗУМНОГО ЗЕМЛЕДІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ ТА АНАЛІТИКИ ДАНИХ: ПРОТОТИП РИСОВОЇ ФЕРМИ (с. 48–62)

Idongesit Efaemiode Eteng, Catherine Nyene Ugbe, Samuel Oluseyi Oladimeji

Точне землеробство, що включає використання розумних ферм, поступово стає звичайним явищем у світі. Інтернет речей (IoT), а також методи аналітики є корисними інструментами для актуалізації розумних ферм, оскільки вони дозволяють поширювати інформацію серед сільських фермерів, а також є платформою для моніторингу діяльності ферм. За належного моніторингу сільськогосподарської діяльності виробництво продуктів харчування оптимізується. У міру зростання населення світу виникає дедалі більша проблема з доступністю продуктів харчування. Поєднання Інтернету речей та аналізу даних не було повністю вивчене для розумного землеробства, особливо в країнах, що розвиваються. У цьому документі пропонується додаток FarmSmart, що використовує мобільну систему моніторингу на основі IoT, яка поєднує датчики та аналіз даних для управління процесами зрошення та передачі сільськогосподарської інформації фермерам. Програма FarmSmartApp була реалізована в середовищі IntelliJ IDE з використанням C++ та MongoDB. Для аналізу даних використовувалися Python та Excel. Ефективність запропонованої системи перевіряється на реальному наборі даних, зібраному із встановлених датчиків. З іншого боку, зацікавлені сторони проводять початкову оцінку системи. Простий аналіз дисперсії світла, вологості та температури призвів до відхилення нульової гіпотези про несуттєву різницю в середньому ефекті між змінними, оскільки фроз більше, ніж крит, що підтверджується значенням p менше 0,05. Оцінюючи системи 97 % опитаних зацікавлених сторін погодилися з тим, що система забезпечує узгоджені функціональні можливості. Таким чином, система здатна надавати фермерам корисну сільськогосподарську інформацію для керівництва процедурами зрошення та прийняття сільськогосподарських рішень.

Ключові слова: розумне землеробство, інтернет речей, зрошення, трансляція інформації та прийом даних.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258394**РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗМІНОЮ ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ ЯЕУ З КОМПЕНСАЦІЄЮ ВИНИКАЮЧИХ ВНУТРІШНІХ ЗБУРЮЮЧИХ ФАКТОРІВ ЗА ЇХ АПРОКСИМАЦІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ (с. 63–75)****О. І. Брунеткін, К. В. Беглов, М. В. Максимов, В. Є. Баскаков, В. В. Ватаман, В. І. Кривда**

Усвідомлена необхідність утримання у працездатному стані джерел традиційної електрогенерації для диспетчеризації постачання електроенергії від потужностей «зеленої» електрогенерації. Потенційно одним із таких джерел можуть виступати атомні електростанції. Перешкодою для їх використання як учасника диспетчеризації є неможливість маневру потужністю в широкому діапазоні. Однією з причин обмеження діапазону є складність автоматичної компенсації впливу реактивності реактора ксенонових коливань.

Існуючі фізико-математичні моделі для розрахунку параметрів процесів у реакторі внаслідок зміни його потужності через свою складність не можуть бути використані в системах оперативного автоматичного управління. Поставлено завдання побудови апроксимаційної лінійної моделі процесів у реакторі у вигляді передавальної функції.

Для побудови апроксимаційної моделі вирішується обернена задача. Шукана модель будується з умови збігу на деякому часовому інтервалі результатів її вирішення з результатами розгорнутої фізико-математичної моделі. Для цього виконується ряд послідовних дій, що включають апроксимацію результатів розгорнутої фізико-математичної моделі за допомогою ряду, застосування перетворення Лапласа до цього ряду і апроксимація Паде отриманого в просторі зображень ряду.

Запропоновано метод управління та синтезовано систему автоматичного управління (САУ) енерговиділенням ядерної енергетичної установки. Для цього систему управління інтегрована апроксимаційна модель активної зони, що забезпечило можливість регулювання кількісного ступеня стійкості активної зони.

САУ складається із трьох контурів управління. Така структура дозволила компенсувати ксенонові коливання, що виникають.

Також САУ зменшує переміщення регулюючих стрижнів в активній зоні, що зменшує локальні стрибки потужності в ядерному паливі та призводить до збільшення його довговічності.

Ключові слова: маневрування потужністю, апроксимація Паде, апроксимаційна модель, ксенонові коливання, реактивність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258953**ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ У СКЛАДІ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ (с. 76–91)****М. Г. Притула, Н. М. Притула, Я. Д. П'янило, З. В. Притула, О. М. Химко**

Об'єктом дослідження є підземні сховища газу (ПСГ) у складі газотранспортної системи (ГТС), в процесі сумісної експлуатації яких проявляється значний синергетичний ефект. Досліджувана проблема – забезпечити сумісну ефективну експлуатацію інтегрованого комплексу ПСГ та ГТС як єдиного термо-гідрравлічного.

Розроблений метод щодобового розрахунку максимальної продуктивності підземних сховищ газу. Проведені дослідження потенціалу оптимізації режимів роботи ПСГ. Показано, що він коливається в межах 11–20 %. Сформульовані та розв'язані задачі планування роботи ПСГ як у режимах закачування газу, так і у режимах відбирання газу. Розроблений алгоритм планування режимів відбирання газу на інтервалах часу безпечної експлуатації ПСГ. Досягнута обчислювальна складність алгоритмів розв'язування задач знаходиться в межах 2–10 секунд. Розглянута також задача поєднання одночасної експлуатації ПСГ у оптимальному режимі за паливним газом та забезпеченням необхідної піковості роботи ПСГ на прогнозованих інтервалах часу. Розраховано сумісну продуктивність роботи ПСГ на прогнозованих інтервалах часу за встановленими критеріями. Водночас забезпечене термо-гідрравлічне узгодження режимів роботи ПСГ із роботою системи магістральних газопроводів ГТС, із якими вони інтегровані.

Розв'язування проблеми досягнуто у результаті реалізації універсального підходу щодо побудови функціональних моделей складних систем – єдине інформаційне забезпечення, представлення структури системи у термінах графів, формулювання коректних математичних задач, розроблення методів гарантованої збіжності систем із різним математичним представленням рівнянь, розроблення обчислювальних алгоритмів комбінаторної оптимізації процесів мінімальної складності із дискретними та нерегулярними впливами на їх поведінку.

Ключові слова: підземне сховище газу, математичне забезпечення, оптимальне планування, методи оптимізації.