

## ABSTRACT AND REFERENCES

## INFORMATION TECHNOLOGY, INDUSTRY CONTROL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352682

**DEVELOPMENT OF A TRIE-BERT PIPELINE FOR  
AUTOMATIC SPACING AND LOW RESOURCE  
LANGUAGE CLASSIFICATION IN BATAK TOBA AND  
ANGKOLA SCRIPTIO CONTINUA TEXTS (p. 6–16)**

**Muhammad Anggia Muchtar**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9020-890X>

**Opim Salim Sitompul**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-1841>

**Maya Silvi Lydia**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5779-5678>

**Syahril Efendi**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>

Batak Toba and Batak Angkola texts written in scriptio continua form without spaces are the object of this study. The work solves a low-resource variety classification problem where the two varieties are similar and missing word boundaries introduce segmentation noise. A hybrid TRIE-BERT pipeline was developed in which trie automation performs deterministic spacing, the restored spacing is fixed, and the spaced text becomes a stable input interface for a Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) classifier. Experiments used a Batak lexicon of 19,070 word entries and 8,000 sentences, 4,000 per variety, evaluated under four data schemes from 1,000 to 8,000 sentences and five epoch settings from 5 to 50 with an 80:20 split. After lexicon recalibration of about 70 sentences, spacing reached 98 percent accuracy. The best setting at 8,000 sentences and 50 epochs achieved 0.85 test accuracy with 0.343 training loss, 0.85 ROC AUC, and 0.85 F1-score, exceeding a long short-term memory recurrent neural network baseline (LSTM-RNN) at 0.80 accuracy, 0.397 loss, 0.803 ROC AUC, and 0.80 F1-score. Class-wise evaluation yielded precision 0.81 and recall 0.92 for Toba and precision 0.90 and recall 0.79 for Angkola, explaining averaged precision 0.86 and recall 0.85. The improvement is associated with the combined use of deterministic trie-based boundary recovery and contextual BERT classification, where spacing is fixed before classification to reduce token ambiguity and stabilize the input structure. The results support Batak text processing pipelines that require automatic spacing and variety detection under limited labels, provided lexicon coverage is maintained and spelling variation is controlled.

**Keywords:** trie, BERT, scriptio continua, low resource, Batak language.

#### References

- Otter, D. W., Medina, J. R., Kalita, J. K. (2021). A Survey of the Usages of Deep Learning for Natural Language Processing. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32 (2), 604–624. <https://doi.org/10.1109/tnnls.2020.2979670>
- Min, B., Ross, H., Sulem, E., Veysheh, A. P. B., Nguyen, T. H., Sainz, O., Agirre, E. et al. (2023). Recent Advances in Natural Language Processing via Large Pre-trained Language Models: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 56 (2), 1–40. <https://doi.org/10.1145/3605943>
- Qiu, X., Sun, T., Xu, Y., Shao, Y., Dai, N., Huang, X. (2020). Pre-trained models for natural language processing: A survey. *Science China Technological Sciences*, 63 (10), 1872–1897. <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1647-3>
- Ranathunga, S., Lee, E.-S. A., Prifti Skenduli, M., Shekhar, R., Alam, M., Kaur, R. (2023). Neural Machine Translation for Low-resource Languages: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 55 (11), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3567592>
- Zampieri, M., Nakov, P., Scherrer, Y. (2020). Natural language processing for similar languages, varieties, and dialects: A survey. *Natural Language Engineering*, 26 (6), 595–612. <https://doi.org/10.1017/s1351324920000492>
- Haq, I., Qiu, W., Guo, J., Tang, P. (2023). Correction of whitespace and word segmentation in noisy Pashto text using CRF. *Speech Communication*, 153, 102970. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2023.102970>
- Widiarti, A. R., Pulungan, R. (2020). A method for solving scriptio continua in Javanese manuscript transliteration. *Heliyon*, 6 (4), e03827. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03827>
- Liu, C., Peng, Y., Chng, E. S. (2025). Zero-shot Context Biasing with Trie-based Decoding using Synthetic Multi-Pronunciation. 2025 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), 873–878. <https://doi.org/10.1109/apsipaasc65261.2025.11249064>
- Alsuyaylimi, A. A. (2024). Arabic dialect identification in social media: A hybrid model with transformer models and BiLSTM. *Heliyon*, 10 (17), e36280. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36280>
- Chabane, M., Harrag, F., Shaalan, K. (2025). Advancing low-resource dialect identification: A hybrid cross-lingual model leveraging CAMELBERT and FastText for Algerian Arabic. *Expert Systems with Applications*, 284, 127816. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127816>
- El Mekki, A., El Mahdaouy, A., Berrada, I., Khoumsi, A. (2022). AdaSL: An Unsupervised Domain Adaptation framework for Arabic multi-dialectal Sequence Labeling. *Information Processing & Management*, 59 (4), 102964. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.102964>
- Saleh, H., AlMohimeed, A., Hassan, R., Ibrahim, M. M., Alsamhi, S. H., Hassan, M. R., Mostafa, S. (2025). Advancing arabic dialect detection with hybrid stacked transformer models. *Frontiers in Human Neuroscience*, 19. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1498297>
- Hwang, T., Jung, S., Roh, Y. (2021). Korean automatic spacing using pretrained transformer encoder and analysis. *ETRI Journal*, 43 (6), 1049–1057. <https://doi.org/10.4218/etrij.2020-0092>
- Ryu, J., Lim, S., Kwon, O., Na, S. (2024). Transformer-based reranking for improving Korean morphological analysis systems. *ETRI Journal*, 46 (1), 137–153. <https://doi.org/10.4218/etrij.2023-0364>
- Liu, Z., Prud'hommeaux, E. (2022). Data-driven Model Generalizability in Crosslinguistic Low-resource Morphological Segmentation. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 10, 393–413. [https://doi.org/10.1162/tacl\\_a\\_00467](https://doi.org/10.1162/tacl_a_00467)

16. Algayres, R., Ricoul, T., Karadayi, J., Laurençon, H., Zaiem, S., Mohamed, A. et al. (2022). DP-Parse: Finding Word Boundaries from Raw Speech with an Instance Lexicon. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 10, 1051–1065. [https://doi.org/10.1162/tacl\\_a\\_00505](https://doi.org/10.1162/tacl_a_00505)
17. Sandeep, S., Sanjith, S., Sudarsan, B. (2025). Word segmentation of ancient Tamil text extracted from inscriptions. *Npj Heritage Science*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01612-2>
18. Muchtar, M. A., Salim Sitompul, O., Lydia, M. S., Efendi, S. (2022). Implementation of Trie Automation Algorithm for Problem Solving Scriptio Continua. 2021 International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE), 28–32. <https://doi.org/10.1109/ismode53584.2022.9743133>
19. Purba, M. A. (2019). *Bibel Batak Toba-Indonesia*. Available at: <https://bibeltobaindonesia.wordpress.com/>
20. *Kamus bahasa Batak Toba-Indonesia*. Available at: <https://digilib.usu.ac.id/en/detail.php?ib=16214&i=>
21. Lubis, S., Lubis, S., Mariahati, M., Naibaho, J. (1995) *Kamus bahasa Indonesia - Angkola*. Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa, Jakarta. Available at: <https://repositori.kemendikdasmen.go.id/26811/>
22. Ortakci, Y., Borhan, B. (2025). Optimizing SBERT for long text clustering: two novel approaches with empirical insights. *The Journal of Supercomputing*, 81 (8). <https://doi.org/10.1007/s11227-025-07414-4>
23. Kaban, R., Sihombing, P., Efendi, S., Lydia, M. S. (2025). Enhancing retrieval performance in social media with corpus-based query expansion using bidirectional encoder representations from transformers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (137)), 70–83. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340258>
24. Mswahili, M. E., Hwang, J., Rajapakse, J. C., Jo, K., Jeong, Y.-S. (2025). Positional embeddings and zero-shot learning using BERT for molecular-property prediction. *Journal of Cheminformatics*, 17 (1). <https://doi.org/10.1186/s13321-025-00959-9>
25. Anggrainingsih, R., Hassan, G. M., Datta, A. (2025). Evaluating BERT-based language models for detecting misinformation. *Neural Computing and Applications*, 37(16), 9937–9968. <https://doi.org/10.1007/s00521-025-11101-z>
26. Shi, J., He, Q., Wang, Z. (2021). An LSTM-based severity evaluation method for intermittent open faults of an electrical connector under a shock test. *Measurement*, 173, 108653. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108653>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356830

**DEVELOPMENT OF MULTI-AGENT GENERATIVE PIPELINES FRAMEWORK FOR LEARNING PLAN GENERATION WITH DETERMINISTIC CONSTRAINT VERIFICATION (p. 17–31)**

**Mohammad Fadly Syahputra**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5683-6910>

**Opim Salim Sitompul**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-1841>

**Fahmi**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6760-4824>

**Maya Silvi Lydia**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5779-5678>

**Pauzi Ibrahim Nainggolan**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7493-6413>

**Rendra Mahardika**

Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan,  
North Sumatera, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7239-0521>

**Riza Sulaiman**

Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5862-5279>

Large language models (LLMs) are increasingly used to generate structured learning plans aligned with outcome-based education (OBE). The object of the study is a multi-agent workflow for generating a structured OBE learning-plan package with a final deterministic verification stage. The problem addressed is the low reliability of LLM-generated outputs, which frequently violate schema rules, numeric constraints, and cross-artifact consistency requirements. To solve this problem, a multi-agent generative pipeline is proposed, decomposing the task into six specialized agents followed by deterministic constraint verification applied to the final artifact bundle. Structural reliability is measured using completeness and compliance, while cross-artifact coherence is evaluated through redundancy, spacing, phase progression, and assessment fit. The evaluation involves 12 courses with 10 repeated runs per course (120 runs per variant) across four different LLMs to assess cross-model robustness. The results show that the multi-agent pipeline achieves completeness of 0.9682–1.00 and compliance of 0.9376–0.9698, significantly outperforming the single-agent configuration (completeness 0.5926–0.6580; compliance 0.4698–0.4853). These improvements are explained by task decomposition, which reduces structural failure propagation, and deterministic verification, which rejects invalid outputs and preserves referential integrity. Ablation analysis indicates that the Course Character agent exerts the highest impact on overall performance. The proposed framework can be applied in higher education curriculum planning under OBE conditions, using minimal course metadata and producing machine-verifiable structured artifacts.

**Keywords:** multi-agent, generative AI, structured generation, constraint validation, ablation analysis.

**References**

1. Derouich, M. (2025). Ensuring outcome-based curriculum coherence through systematic CLO–PLO alignment and feedback loops. *Discover Education*, 4 (1). <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00915-7>
2. Vlachopoulos, D., Makri, A. (2024). A systematic literature review on authentic assessment in higher education: Best practices for the development of 21st century skills, and policy considerations. *Studies in Educational Evaluation*, 83, 101425. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2024.101425>
3. Baig, M. I., Yadegaridehkordi, E. (2024). ChatGPT in the higher education: A systematic literature review and research challenges. *International Journal of Educational Research*, 127, 102411. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102411>

4. Belkina, M., Daniel, S., Nikolic, S., Haque, R., Lyden, S., Neal, P. et al. (2025). Implementing generative AI (GenAI) in higher education: A systematic review of case studies. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100407. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100407>
5. Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F. et al. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
6. Moundridou, M., Matzakos, N., Doukakis, S. (2024). Generative AI tools as educators' assistants: Designing and implementing inquiry-based lesson plans. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100277. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100277>
7. Celik, I., Kontkanen, S., Laru, J., Dalyanci, A. A. (2026). Co-constructing adaptive lesson plans with GenAI: Pre-service teachers' Intelligent-TPACK and prompt engineering strategies. *Computers & Education*, 241, 105485. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105485>
8. Moorhouse, B. L. (2024). Beginning and first-year language teachers' readiness for the generative AI age. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100201. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100201>
9. Kong, S. C., Yang, Y., Hou, C. (2024). Examining teachers' behavioural intention of using generative artificial intelligence tools for teaching and learning based on the extended technology acceptance model. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100328>
10. Mzwri, K., Turcsányi-Szabo, M. (2025). Bridging LMS and generative AI: dynamic course content integration (DCCI) for enhancing student satisfaction and engagement via the ask ME assistant. *Journal of Computers in Education*. <https://doi.org/10.1007/s40692-025-00367-w>
11. Zhang, L., Yao, Z., Hadizadeh Moghaddam, A. (2025). Designing GenAI Tools for Personalized Learning Implementation: Theoretical Analysis and Prototype of a Multi-Agent System. *Journal of Teacher Education*, 76 (3), 280–293. <https://doi.org/10.1177/00224871251325109>
12. Li, Q., Xie, Y., Chakravarty, S., Lee, D. (2024). EduMAS: A Novel LLM-Powered Multi-Agent Framework for Educational Support. 2024 IEEE International Conference on Big Data (BigData), 8309–8316. <https://doi.org/10.1109/bigdata62323.2024.10826103>
13. Hauk, D., Soujon, N. (2026). How reliable are large language models in analyzing the quality of written lesson plans? A mixed-methods study from a teacher internship program. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 10, 100538. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100538>
14. Lin, Z., Guan, S., Zhang, W., Zhang, H., Li, Y., Zhang, H. (2024). Towards trustworthy LLMs: a review on debiasing and dehallucinating in large language models. *Artificial Intelligence Review*, 57 (9). <https://doi.org/10.1007/s10462-024-10896-y>
15. Shen, Z., Wang, D. Y.-B., Mishra, S. S., Xu, Z., Teng, Y., Ding, H. (2025). SLOT: Structuring the Output of Large Language Models. *Proceedings of the 2025 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: Industry Track*, 472–491. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.emnlp-industry.32>
16. Raspanti, F., Ozcelebi, T., Holenderski, M. (2025). Grammar-Constrained Decoding Makes Large Language Models Better Logical Parsers. *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 6: Industry Track)*, 485–499. <https://doi.org/10.18653/v1/2025.acl-industry.34>
17. Boud, D., Soler, R. (2015). Sustainable assessment revisited. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 41 (3), 400–413. <https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1018133>
18. Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31 (2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
19. Pereira, E., Nsair, S., Pereira, L. R., Grant, K. (2024). Constructive alignment in a graduate-level project management course: an innovative framework using large language models. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00457-2>
20. Kilinc, C., Ranaweera, C., Ugon, J., Cain, A., Pierce, C. (2025). Leveraging NLP-based tools for constructive alignment. *ASCILITE Publications*, 157–166. <https://doi.org/10.65106/apubs.2025.2636>
21. Almatrafi, O., Johri, A. (2025). Leveraging generative AI for course learning outcome categorization using Bloom's taxonomy. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100404>
22. Khan, H. F., Qayyum, S., Beenish, H., Khan, R. A., Iltaf, S., Fayzal, L. R. (2025). Determining the alignment of assessment items with curriculum goals through document analysis by addressing identified item flaws. *BMC Medical Education*, 25 (1). <https://doi.org/10.1186/s12909-025-06736-4>
23. Gemma: Open Models Based on Gemini Research and Technology (2024). arXiv. Available at: <https://arxiv.org/html/2403.08295v1>
24. Gao, H., Hashim, H., Md Yunus, M. (2025). Assessing the reliability and relevance of DeepSeek in EFL writing evaluation: a generalizability theory approach. *Language Testing in Asia*, 15 (1). <https://doi.org/10.1186/s40468-025-00369-6>
25. Neyem, A., González, L. A., Mendoza, M., Alcocer, J. P. S., Centellas, L., Paredes, C. (2024). Toward an AI Knowledge Assistant for Context-Aware Learning Experiences in Software Capstone Project Development. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1599–1614. <https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3396735>
26. Zhao, Q., Zhang, M. (2025). Elimination-based reasoning with LLM for multiple-choice educational question answering. *Journal of King Saud University Computer and Information Sciences*, 37 (7). <https://doi.org/10.1007/s44443-025-00122-2>
27. Stamov Roßnagel, C., Lo Baido, K., Fitzallen, N. (2021). Revisiting the relationship between constructive alignment and learning approaches: A perceived alignment perspective. *PLOS ONE*, 16 (8), e0253949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253949>
28. Dagdelen, J., Dunn, A., Lee, S., Walker, N., Rosen, A. S., Ceder, G. et al. (2024). Structured information extraction from scientific text with large language models. *Nature Communications*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45563-x>
29. Balasubramanian, J. B., Adams, D., Roxanis, I., de Gonzalez, A. B., Coulson, P., Almeida, J. S., Garcia-Closas, M. (2025). Leveraging large language models for structured information extraction from pathology reports. *Journal of Pathology Informatics*, 19, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.jpi.2025.100521>
30. Hu, R., Yang, Y., Liu, S., Li, Z., Liu, J., Ding, X. et al. (2025). Large language model driven transferable key information extraction mechanism for nonstandardized tables. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15627-z>
31. Yuan, C., Huang, H., Cao, Y., Cao, Q. (2024). Screening through a broad pool: Towards better diversity for lexically constrained text

- generation. *Information Processing & Management*, 61 (2), 103602. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103602>
32. Guo, Y., Shang, G., Clavel, C. (2025). Benchmarking Linguistic Diversity of Large Language Models. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 13, 1507–1526. <https://doi.org/10.1162/tacl.a.47>
  33. Tractenberg, R. E. (2021). The Assessment Evaluation Rubric: Promoting Learning and Learner-Centered Teaching through Assessment in Face-to-Face or Distanced Higher Education. *Education Sciences*, 11 (8), 441. <https://doi.org/10.3390/educsci11080441>
  34. Xia, Q., Weng, X., Ouyang, F., Lin, T. J., Chiu, T. K. F. (2024). A scoping review on how generative artificial intelligence transforms assessment in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00468-z>
  35. Oprea, S.-V., Băra, A. (2025). Transforming Education With Large Language Models: Trends, Themes, and Untapped Potential. *IEEE Access*, 13, 87292–87312. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3570649>
  36. Li, G., Al Kader Hammoud, H. A., Itani, H., Khizbullin, D., Ghanem, B. (). CAMEL: Communicative Agents for “Mind” Exploration of Large Language Model Society. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.17760>
  37. Park, J. S., O'Brien, J., Cai, C. J., Morris, M. R., Liang, P., Bernstein, M. S. (2023). Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 1–22. <https://doi.org/10.1145/3586183.3606763>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358313

#### DEVELOPMENT OF A HYBRID INFORMATION RETRIEVAL-KNOWLEDGE GRAPH MODEL FOR CROSS-FRAMEWORK COMPETENCY ALIGNMENT (p. 32–42)

**Halim Maulana**

Universitas Sumatera Utara, Kampus Padang Bulan,  
Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4361-6377>

**Poltak Sihombing**

Universitas Sumatera Utara, Kampus Padang Bulan,  
Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5348-4537>

**Amalia**

Universitas Sumatera Utara, Kampus Padang Bulan,  
Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0595-8296>

**Marischa Elveny**

Universitas Sumatera Utara, Kampus Padang Bulan,  
Medan, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5702-8846>

The object of this study is the alignment of Indonesian computing graduate learning outcomes (CPL – Capaian Pembelajaran Lulusan) with three heterogeneous competency frameworks: the European skills, competences, qualifications and occupations (ESCO), the occupational information network (O\*NET), and the Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). The problem addressed is the absence of a unified pipeline capable of simultaneously mapping CPL across these frameworks while accounting for national qualification hierarchies and cross-lingual constraints. An

IR-KG (information retrieval-knowledge graph) model is proposed with a seven-stage pipeline using a hybrid scoring function  $S_{final} = \alpha \cdot S_{sem} + \beta \cdot S_{gr} + \gamma \cdot S_{con}$ , integrating TF-IDF (term frequency-inverse document frequency) semantic similarity, ESCO knowledge graph cohesion, and domain constraint scores from ISCED-F 2013 (International Standard Classification of Education: Fields of Education and Training) and APTIKOM 2022 (Asosiasi Pendidikan Tinggi Informatika dan Komputer) classifications. The balanced configuration ( $\alpha = \beta = \gamma = 0.33$ ) achieves a mean selection objective of 0.537, a 26.1% improvement over the semantic baseline. External consistency validation yields a relaxed consistency rate of 27.1% (8.7× above random baseline), confirming valid alignment signal capture. The CRI-KG (Career Readiness index based on knowledge graph) reveals a gradient  $R_{SKKNI} \gg R_{ONET} > R_{ESCO}$ , exposing persistent gaps in international framework coverage. The pipeline is applicable for curriculum audit, qualification recognition policy, and national-to-international framework integration where labelled training data are unavailable.

**Keywords:** information retrieval, knowledge graph, competency alignment, CPL, SKKNI, O\*NET, ESCO, career readiness index.

#### References

1. Acemoglu, D., Restrepo, P. (2019). Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, 33 (2), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.33.2.3>
2. Autor, D. H. (2019). Work of the Past, Work of the Future. *AEA Papers and Proceedings*, 109, 1–32. <https://doi.org/10.1257/pandp.20191110>
3. The Future of Jobs Report 2023 (2023). Available at: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>
4. OECD Employment Outlook 2021 (2021). In *OECD Employment Outlook*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5a700c4b-en>
5. European Skills, Competences, Qualifications and Occupations (ESCO). ESCO v1.1. Available at: <https://esco.ec.europa.eu/en/about-esco/escopedia/escopedia/esco-v11>
6. Occupational Listings. O\*NET 28.0 Database – occupations updated with job incumbent or occupational expert (OE) data. Available at: <https://www.onetcenter.org/listings/28.0/updated.html>
7. Neutel, S., de Boer, M. H. T. (2021). Towards Automatic Ontology Alignment using BERT. *Proceedings of the AAAI 2021 Spring Symposium on Combining Machine Learning and Knowledge Engineering (AAAI-MAKE 2021)*. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2846/paper28.pdf>
8. Snijder, L. L., Smit, Q. T. S., De Boer, M. H. T. (2024). Advancing Ontology Alignment in the Labor Market: Combining Large Language Models with Domain Knowledge. *Proceedings of the AAAI Symposium Series*, 3 (1), 253–262. <https://doi.org/10.1609/aaais.v3i1.31208>
9. Panduan Kurikulum Berbasis OBE/KKNI/SKKNI APTIKOM: Program Studi Sarjana Sistem Informasi, ver. 1.1 (2022). Jakarta: APTIKOM. Available at: <http://elibrary.almaata.ac.id/3475/1/19%20Jan%202023%20V1.1%20-%2013%20jan%202023%20-%20FORDI%20SI%20-%20BUKU%20KURIKULUM%20BERBASIS%20OBE.pdf>
10. European Commission: Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion (2017). *ESCO handbook: European skills, competences, qualifications and occupations*. Publications Office. <https://doi.org/10.2767/934956>
11. Manning, C. D., Raghavan, P., Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511809071>

12. Robertson, S., Zaragoza, H. (2009). The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. *Foundations and Trends® in Information Retrieval*, 4 (1-2), 1–174. <https://doi.org/10.1561/1500000019>
13. Fareri, S., Melluso, N., Chiarello, F., Fantoni, G. (2021). SkillNER: Mining and mapping soft skills from any text. *Expert Systems with Applications*, 184, 115544. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115544>
14. Decorte, J.-J., Van Haute, J., Demeester, T., Develder, C. (2021). JobBERT: Understanding Job Titles Through Skills. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.09605>
15. Chiarello, F., Fantoni, G., Hogarth, T., Giordano, V., Baltina, L., Spada, I. (2021). Towards ESCO 4.0 – Is the European classification of skills in line with Industry 4.0? A text mining approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121177>
16. Euzenat, J., Shvaiko, P. (2013). *Ontology Matching*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38721-0>
17. *Computing Curricula 2020: Paradigms for Global Computing Education (2021)*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3467967>
18. Chen, J., Jiménez-Ruiz, E., Horrocks, I., Antonyrajah, D., Hadian, A., Lee, J. (2021). Augmenting Ontology Alignment by Semantic Embedding and Distant Supervision. *The Semantic Web*, 392–408. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77385-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77385-4_23)
19. Savickas, M. L. (2005). *The Theory and Practice of Career Construction*. *Career Development and Counseling: Putting Theory and Research to Work*. Wiley, 42–70.
20. *Development and Validation of the NACE Career Readiness Competencies (2022)*. NACE. Available at: <https://www.naceweb.org/uploadedFiles/files/2022/resources/2022-nace-career-readiness-development-and-validation.pdf>
21. *Reimagining our futures together: a new social contract for education (2021)*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/asrb4722>
22. *European skills and jobs survey (ESJS)*. CEDEFOP. Available at: <https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/european-skills-and-jobs-survey-esjs#:~:text=The%201st%20ESJS%20collected%20information,facilitated%20numerous%20research%20studies%2C%20including:>
23. Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., Ram, S. (2004). *Design Science in Information Systems Research*. *MIS Quarterly*, 28 (1), 75–106. <https://doi.org/10.2307/25148625>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357377

#### DEVISING AN APPROACH TO ANALYZE AND AUTOMATICALLY RECONFIGURE THE STRUCTURE OF WEBSITES (p. 43–51)

**Ivan Dolotov**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4643-3464>

**Natalia Guk**

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

This study explores websites such as online stores, which are considered to be a set of interconnected web pages. The task addressed relates to the high computational complexity of manual analysis of the topology of modern websites, as well as the lack of formalized mechanisms that could make it possible to integrate the semantic features of web pages into the process of automated hyperlink reconstruction.

Within the framework of this study, a website is crawled in order to obtain complete HTML documents, from which the structural features of pages are extracted (the number of headings, depth of embedding, presence of <article>, number of incoming links, etc.). The resulting vectors make it possible to construct cosine similarity matrices to assess the mutual proximity of pages. An approach has been proposed to rebuilding the link structure of the website taking into account this similarity; a comparison of the initial and transformed website was carried out using the metric characteristics of modularity, clustering, diameter, and similarity distribution.

The results demonstrate that taking into account the DOM structure allows for the formation of a logical, reasonable distribution of pages between clusters. And the subsequent automatic procedure for setting hyperlinks makes it possible to improve structural integrity by establishing effective relationships between thematically close pages.

The practical significance of this work involves the possibility of using the proposed approach for automated optimization of internal links of static websites. As a result, the architecture of the web resource is improved, website navigation becomes transparent, and website indexing by search engines is increased.

**Keywords:** DOM model, web graph clustering, page similarity, structure optimization, relinking, cosine distance.

#### References

1. Huk, N. A., Dykhanov, S. V., Matiushchenko, O. D. (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. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2020-47-03>
2. Dolotov, I. O., Guk, N. A. (2023). Clustering of a weighted webgraph with the usage of modularity. *2023: Problems of applied mathematics and mathematical modeling*, 23, 25–32. <https://doi.org/10.15421/322305>
3. Ma, W., Chen, X., Shang, W. (2012). Advanced Deep Web Crawler Based on Dom. *2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 605–609. <https://doi.org/10.1109/cso.2012.138>
4. Dykhanov, S., Guk, N. (2022). Analysis of the structure of web resources using the object model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (119)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265961>
5. Kao, H.-Y., Ho, J.-M., Chen, M.-S. (2005) WISDOM: Web Intrapage Informative Structure Mining based on Document Object Model. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17 (5), 614–627. <https://doi.org/10.1109/tkde.2005.84>
6. Ahmad Sabri, I. A., Man, M. (2018). Improving Performance of DOM in Semi-structured Data Extraction using WEIDJ Model. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 9 (3), 752. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v9.i3.pp752-763>
7. Huynh, H., Le, T., Nguyen, V., Nguyen, T. (2024). A DOM-structural Cohesion Analysis Approach for Segmentation of Modern Web Pages. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4392630/v1>
8. Shin, K., Niiyama, T. (2018). The Mapping Distance – a Generalization of the Edit Distance – and its Application to Trees. *Proceedings of the 10th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, 266–275. <https://doi.org/10.5220/0006721902660275>
9. Jalal, A. A., Jasim, A. A., Mahawish, A. A. (2022). A web content mining application for detecting relevant pages using Jaccard similarity.

International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 12 (6), 6461. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i6.pp6461-6471>

10. Kumar, B. T. H., Vibha, L., Venugopal, K. R. (2016). Web page access prediction using hierarchical clustering based on modified levenshstein distance and higher order Markov model. 2016 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 1–6. <https://doi.org/10.1109/tencon-spring.2016.7519368>
11. Roul, R. K., Devanand, O. R., Sahay, S. K. (2014). Web Document Clustering and Ranking using Tf-Idf based Apriori Approach. IJCA Proceedings on ICACEA, 2, 34. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.5617>
12. Meleshko, Ye. (2019). Graph clustering methods in social networks for building recommendation systems. Control, Navigation and Communication Systems, 2 (54), 129–134. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.129>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359143

**EVALUATION OF A MACHINE LEARNING-ASSISTED INTERACTIVE EVOLUTIONARY NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM -II FRAMEWORK FOR HYPERPARAMETER OPTIMIZATION OF U-NET IN AGRICULTURAL LAND SEGMENTATION (p. 52–64)**

**Artughrul Gayibov**

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7349-0286>

**Vagif Gasimov**

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3192-4225>

**Esmira Mustafayeva**

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5300-2830>

**Kamala Aliyeva**

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9470-7910>

**Dilara Guluzada**

Baku Engineering University, Khirdalan, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0623-3577>

The object of the study is the hyperparameter configuration space of the U-Net architecture for agricultural land segmentation from Sentinel-2 satellite imagery.

The problem being solved is the excessive cost of multi-objective hyperparameter optimization, because non-dominated sorting in the non-dominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II), with complexity  $O(MN^2)$ , becomes a bottleneck for deep segmentation models. To address this problem, an interactive evolutionary non-dominated sorting genetic algorithm II (IENSGA-II) framework is evaluated, in which a logistic regression classifier is trained on hyperparameter vectors and Pareto ranks from initial NSGA-II generations, then used to predict ranks in subsequent generations instead of full sorting. Unlike existing surrogate-assisted approaches, this work predicts Pareto ranks without additional model evaluations. On the panoptic agricultural satellite time series (PASTIS) benchmark, the framework reduced execution time by 20.07%, 16.39%, and 38.80% for 5, 10, and 15 generations, and in the 10-generation setting improved validation criteria, reaching an area under the receiver operating characteristic curve (AUC) of 0.9072 versus 0.9004 and validation loss of 0.6057 versus 0.6212. These results were achieved because the method accelerates

selection rather than replacing model evaluation, while AUC-based tie-breaking preserves preference for more accurate solutions among candidates with same predicted rank. Effectiveness stems from a regular relationship between hyperparameters and Pareto ranks in early evolutionary data. In practice, the method is used in resource-constrained multi-objective learning when initial generations provide representative data for rank prediction.

**Keywords:** hyperparameter optimization, precision agriculture, U-Net segmentation, pareto rank prediction, surrogate-assisted evolution.

**References**

1. Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G.-S., Zhang, L., Xu, F., Fraundorfer, F. (2017). Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 5 (4), 8–36. <https://doi.org/10.1109/mgrs.2017.2762307>
2. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, 234–241. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)
3. Bischl, B., Binder, M., Lang, M., Pielok, T., Richter, J., Coors, S., Thomas, J. et al. (2023). Hyperparameter optimization: Foundations, algorithms, best practices, and open challenges. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, 13 (2). <https://doi.org/10.1002/widm.1484>
4. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6 (2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
5. Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley. Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/534133>
6. Emmerich, M. T. M., Giannakoglou, K. C., Naujoks, B. (2006). Single- and multiobjective evolutionary optimization assisted by Gaussian random field metamodells. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 10 (4), 421–439. <https://doi.org/10.1109/tevc.2005.859463>
7. Knowles, J. D., Corne, D. W. (2000). Approximating the Nondominated Front Using the Pareto Archived Evolution Strategy. Evolutionary Computation, 8 (2), 149–172. <https://doi.org/10.1162/106365600568167>
8. Li, L., Jamieson, K., DeSalvo, G., Rostamizadeh, A., Talwalkar, A. (2017). Hyperband: a novel bandit-based approach to hyperparameter optimization. Journal of Machine Learning Research, 18. Available at: <https://jmlr.org/papers/v18/16-558.html>
9. Gayibov, A., Gasimov, V. (2025). Interactive Evolutionary NSGA-II with Machine Learning for Efficient Hyperparameter Optimization of Convolutional Neural Networks. 2025 6th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI), 1–5. <https://doi.org/10.1109/pci66488.2025.11219755>
10. Fare Garnot, V. S., Landrieu, L. (2021). Panoptic Segmentation of Satellite Image Time Series with Convolutional Temporal Attention Networks. 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 4852–4861. <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00483>
11. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A. et al. (2011). Scikit-learn: machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825–2830. Available at: <https://jmlr.org/papers/volume12/pedregosa11a/pedregosa11a.pdf>
12. Gayibov, A. (2025). Development of a zero-shot classification method for cross-regional crop mapping demonstrating domain transferability in Sentinel-2 imagery. Eastern-European Journal of Enter-

prise Technologies, 4 (2 (136)), 93–101. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338000>

13. Abadi, M., Barham, P., Chen, J., Chen, Z., Davis, A., Dean, J. et al. (2016). TensorFlow: a system for large-scale machine learning. In Proceedings of the 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI). Available at: <https://www.use-nix.org/system/files/conference/osdi16/osdi16-abadi.pdf>
14. Gayibov, A., Gasimov, V. (2026). Extending spectral indices from multispectral satellite data using U-Net segmentation. *Radioelectronic and Computer Systems*, 1, 207–223. <https://doi.org/10.32620/reks.2026.1.14>
15. Chen, X., Dong, X., Hsieh, C.-J., Huang, D., Le, Q. V., Liang, C. et al. (2023). Symbolic Discovery of Optimization Algorithms. *Advances in Neural Information Processing Systems* 36, 49205–49233. <https://doi.org/10.52202/075280-2140>
16. O'Malley, T., Bursztein, E., Long, J., Chollet, F., Jin, H., Invernizzi, L. et al. (2019). KerasTuner. Available at: <https://github.com/keras-team/keras-tuner>
17. Srinivas, N., Deb, K. (1994). Multiobjective Optimization Using Non-dominated Sorting in Genetic Algorithms. *Evolutionary Computation*, 2 (3), 221–248. <https://doi.org/10.1162/evco.1994.2.3.221>
18. Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L. (2001). SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. TIK-Report, 103. ETH Zurich. Available at: <https://sop.tik.ee.ethz.ch/publicationListFiles/zlt2001a.pdf>
19. Hao, J., Yang, X., Wang, C., Tu, R., Zhang, T. (2022). An Improved NSGA-II Algorithm Based on Adaptive Weighting and Searching Strategy. *Applied Sciences*, 12 (22), 11573. <https://doi.org/10.3390/app122211573>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359147

#### DEVELOPMENT OF SYSTEM-TYPE-CENTRIC METHOD FOR ARCHITECTURAL DESIGN OF COMPUTER-SOFTWARE AUTOMATION SYSTEMS (p. 65–84)

**Ihor Polataiko**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9111-0162>

**Leonid Zamikhovskiy**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6374-8580>

The object of the study is the architectural design process and architectural documentation model of computer-software systems in the automation domain.

Existing architectural design methodologies are predominantly agnostic about the nature of computer-software systems, lacking the specific guidance required to address the fundamentally divergent architectural natures of heterogeneous computer-software systems in modern automation.

Within the scope of this study, a system-type-centric method of architectural design of computer-software automation systems is proposed. The proposed method introduces a comprehensive viewpoint-oriented architectural documentation model and a reproducible iterative architectural design process.

The method hierarchically structures architectural concerns at different levels, ensuring a systematic transition from abstract to concrete design. By defining a viewpoint applicability matrix across the different

system types, the method ensures the creation of relevant, standardized, structured, consistent, traceable and interoperable architectural artifacts.

The method is based on the system-type-centric paradigm and the concepts of standards and approaches focused on architectural viewpoints. This combination is the main distinguishing feature of this method, which ensures the applicability of the method to a wide range of computer software systems, addressing the differences in the architectural nature of different types of systems.

The proposed method increases the interoperability of architectural design artifacts, defines a prescriptive process that structures architectural design and forms the basis for tools for automated AI-assisted architecture generation.

**Keywords:** software architecture, automation systems, architectural documentation model, architectural design process.

#### References

1. Zamikhovskiy, L., Nykolaychuk, M., Levytskyi, I. (2025). Extending the functionality of topologies of Web-oriented control systems for technological objects based on “Open User Communication”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (138)), 94–115. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.348728>
2. Zamikhovskiy, L., Zamikhovska, O., Ivanyuk, N., Mirzoieva, O., Nykolaychuk, M. (2025). Development of an anti-surge protection system for gas pumping units based on hardware and software vibration monitoring tools. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (136)), 117–132. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337736>
3. Zamikhovskiy, L., Nykolaychuk, M., Levytskyi, I. (2025). Development of a simulation model of a WEB-oriented servo drive frequency control system based on “Digital Twins” technology. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (2 (86)), 76–90. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.345825>
4. Zamikhovskiy, L., Nykolaychuk, M., Levytskyi, I. (2024). Organizing the automated system of dispatch control over pump units at water pumping stations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (131)), 61–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313531>
5. Starke, G., Simons, M., Zörner, S., Müller, R. D. (2019). *arc42 by Example: Software architecture documentation in practice*. Birmingham: Packt Publishing. Available at: <https://www.packtpub.com/en-us/product/arc42-by-example-9781839219269>
6. Brown, S. (2015). *The C4 model for visualising software architecture*. Leanpub. Available at: <https://leanpub.com/visualising-software-architecture>
7. Bass, L., Clements, P., Kazman, R. (2021). *Software Architecture in Practice*. Addison-Wesley Professional. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/software-architecture-in/9780136885979>
8. Rozanski, N., Woods, E. (2011). *Software Systems Architecture: Working With Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives*. Boston: Addison-Wesley. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/software-systems-architecture/9780132906135>
9. Kruchten, P. B. (1995). The 4+1 View Model of architecture. *IEEE Software*, 12 (6), 42–50. <https://doi.org/10.1109/52.469759>
10. Kruchten, P. (2003). *Rational Unified Process, The: An Introduction*. Addison-Wesley Professional. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/rational-unified-process/0321197704/ch17.html>
11. *Rational Unified Process for Systems Engineering*. Available at: <https://public.dhe.ibm.com/software/rational/web/whitepapers/2003/TP165.pdf>

12. Cervantes, H., Kazman, R. (2016). *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. Boston: Addison-Wesley Professional. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/designing-software-architectures/9780134390857>
13. Lamm, J. G., Weilkiens, T. (2013). Method for Deriving Functional Architectures from Use Cases. *Systems Engineering*, 17 (2), 225–236. <https://doi.org/10.1002/sys.21265>
14. System Architecture Framework. Available at: <https://saf.gfse.org/>
15. Dömel, A. (2025). The Robot Architecture Framework - A systematic approach for describing the architecture of complex, autonomous robotic systems. University of Bremen. <https://doi.org/10.26092/elib/3825>
16. *Systems Engineering Handbook (NASA/SP-2016-6105 Rev2)* (2017). National Aeronautics and Space Administration. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170001761>
17. Weilkiens, T., Lamm, J. G., Roth, S., Walker, M. (2022). *Model-Based System Architecture*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119746683>
18. Internet of Things Architecture. Available at: <https://cordis.europa.eu/project/id/257521/results>
19. Hatebur, D., Heisel, M. (2009). Deriving Software Architectures from Problem Descriptions. *Software Engineering 2009 - Workshop-band*. Available at: <https://dl.gi.de/items/c3d3e64d-c704-4891-b7ad-9a751caad44e>
20. Alebrahim, A., Hatebur, D., Heisel, M. (2011). A Method to Derive Software Architectures from Quality Requirements. 2011 18th Asia-Pacific Software Engineering Conference, 322–330. <https://doi.org/10.1109/apsec.2011.29>
21. Reddy, A. R. M., Govindarajulu, P., Naidu, M. M. (2007). A Process Model for Software Architecture. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 7 (4), 272–280. Available at: [http://paper.ijcsns.org/07\\_book/200704/20070439.pdf](http://paper.ijcsns.org/07_book/200704/20070439.pdf)
22. Hofmeister, C., Kruchten, P., Nord, R. L., Obbink, H., Ran, A., America, P. (2007). A general model of software architecture design derived from five industrial approaches. *Journal of Systems and Software*, 80 (1), 106–126. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.05.024>
23. Polataiko, I., Zamikhovskiy, L. (2026). Development of system-type-centric paradigm of computer-software systems architectural design for automation systems. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (87)), 43–56. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2026.349943>
24. Evans, E. (2003). *Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*. Addison-Wesley Professional. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/domain-driven-design-tackling/0321125215>
25. Vernon, V. (2013). *Implementing Domain-Driven Design*. Addison-Wesley Professional. O'Reilly. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/implementing-domain-driven-design/9780133039900>
26. da Silva, V. T., Noya, R. C., de Lucena, C. J. P. (2005). Using the UML 2.0 activity diagram to model agent plans and actions. *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 594–600. <https://doi.org/10.1145/1082473.1082563>
27. MQTT Communication with WinCC Unified (2026). Siemens. Available at: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/110000706/110000706\\_MQTT\\_WinCC\\_Unified\\_DOC\\_V1\\_0\\_en.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/110000706/110000706_MQTT_WinCC_Unified_DOC_V1_0_en.pdf)
28. Ford, N., Parsons, R., Kua, P. (2022). *Building Evolutionary Architectures*. O'Reilly Media. Available at: <https://www.oreilly.com/library/view/building-evolutionary-architectures/9781492097532>
29. Zhang, Y., Li, R., Liang, P., Sun, W., Liu, Y. (2025). Knowledge-Based Multi-Agent Framework for Automated Software Architecture Design. *Proceedings of the 33rd ACM International Conference on the Foundations of Software Engineering*, 530–534. <https://doi.org/10.1145/3696630.3728493>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354701

**DETERMINING WEIGHT COEFFICIENTS IN THE CONTROL SYSTEM FOR A SYMMETRY-COMPENSATING DEVICE USING A FUZZY LOGIC APPARATUS (p. 85–93)**

**Petro Plieshkov**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2141-4811>

**Vasyl Zinzura**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6357-064X>

**Kateryna Petrova**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1928-6833>

**Valentyn Soldatenko**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7781-9343>

**Andrii Nekrasov**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,  
Kremenchuk, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7304-2082>

This study investigates processes of automatic control over parameters of the distribution network mode at a voltage of 6–10 kV with a sharply changing asymmetric load.

The task addressed relates to the compromised efficiency of existing systems for automatic control over symmetry-compensating devices, which are based on multi-criteria optimization methods with unchanged weight coefficients. Such systems continue to give maximum priority to reducing the steady-state voltage deviation even if it meets regulatory requirements. This leads to incomplete utilization of regulating reserve of the symmetry-compensating device.

The system of automatic control over the symmetry-compensating device has been improved by integrating a fuzzy controller into its structure. This controller changes the values of weight coefficients in the objective function depending on the current values of the network mode parameters. The computer simulation has confirmed the effectiveness of the designed system, which provided a reduction in the mathematical expectations of the reactive power factor  $M[\tan\varphi]$  by 13.9% and the voltage unbalance factor  $M[k_{2U}]$  by 8.5% compared to the baseline.

The increase in the efficiency of the control system is explained by its ability to adaptively change the weight coefficients. Thus, if there is a margin for the steady-state voltage deviation, the fuzzy controller reduces the weight coefficient that meets this criterion, directing the regulating resource of the symmetrical-compensating device to increase the level of reactive power compensation and reduce the level of asymmetry.

A feature of the designed control system is the use of the levels of approximation of the current values of the steady-state deviation

and voltage asymmetry to their regulatory permissible limits as input variables in the fuzzy controller.

The designed automatic control system could be used in distribution electrical networks with a voltage of 6–10 kV at a sharply changing asymmetrical load.

**Keywords:** symmetry-compensating device, fuzzy logic, multi-criteria optimization, automatic control system.

#### References

- Hamza, A., Hamza, M., Awais, M., Ahmad, F., Rehman, Z. (2023). Development and Deployment of Programmable Logic Controller-Based Switched Capacitor Banks to Enhance Power Factor of Three-Phase Induction Motors. 2023 International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT), 1–7. <https://doi.org/10.1109/icept58859.2023.10152354>
- Patil, S. D., Kachare, R. A., Mulla, A. M., Patil, D. R. (2021). Performance up gradation of static VAR compensator with thyristor binary switched capacitor and reactor using model reference adaptive controller. *Automatika*, 63 (1), 26–48. <https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1999704>
- Widjonarko, W., Avian, C., Setiawan, A., Rusli, Moch., Iskandar, E. (2020). Capacitor bank controller using artificial neural network with closed-loop system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9 (4), 1379–1386. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i4.2411>
- Rocha, P. H. A., Coelho, F. (2022). Fuzzy control for automatic operation of bank capacitors installed in a substation. *Electrical Engineering*, 104 (6), 4357–4366. <https://doi.org/10.1007/s00202-022-01624-2>
- Reddy, N. V. U. (2023). Improved Performance Analysis and Reactive Power Compensation of FACTS Devices Utilizing Fuzzy Logic. 2023 4th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC), 240–245. <https://doi.org/10.1109/icosec58147.2023.10276046>
- Ibrahim, W. Kh., Alkhayyat, M. T., Suliman, M. Y. (2025). Unbalanced Voltage Enhancement based on STATCOM for Distribution Network Integrated with Renewable Energy. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 13 (3), 572–579. <https://doi.org/10.37391/ijeer.130322>
- Maataoui, Y., Chekenbah, H., Boufarjoute, O., Lasri, R. (2022). Voltage control using fuzzy logic for radial distribution network with high penetration of photovoltaic generators. *E3S Web of Conferences*, 351, 01030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202235101030>
- Zeng, X. J., Zhai, H. F., Wang, M. X., Yang, M., Wang, M. Q. (2019). A system optimization method for mitigating three-phase imbalance in distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 113, 618–633. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.05.038>
- Taranukha, M. S., Teluyta, R. V., Zinzura, V. V. (2015). Optimal control of reactive load modes in conditions of asymmetry of voltage electricity distribution networks. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 42 (1151), 62–66. Available at: <https://pema.khpi.edu.ua/index.php/2079-3944/article/view/55966>
- Plieshkov, P. H., Zinzura, V. V., Plieshkov, S. P. (2019). Automatic control of electrical distribution network mode with the voltage unbalance. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/10>
- Plieshkov, P., Soldatenko, V., Zinzura, V., Plieshkov, S. (2020). Determining weight coefficients for an optimal system of control over electric energy generation in a combined electric power system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (2 (103)), 77–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193362>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355330

#### CONSTRUCTION OF A MODEL FOR OPTIMAL SCHEDULING OF ENERGY STORAGE SYSTEMS IN THE DAY-AHEAD MARKET CONSIDERING MARKET STRATEGIES AND TECHNICAL CONSTRAINTS (p. 94–101)

**Oleksandr Havva**

G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4921-0486>

**Yevgene Parus**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9087-3902>

**Ihor Blinov**

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8010-5301>

**Volodymyr Evdokimov**

G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9497-4030>

This study investigates the process of optimal planning of energy storage system operating schedules in the day-ahead market. The task addressed is to prevent unprofitable operation of energy storage systems.

A comprehensive mathematical model of daily planning of energy storage operation modes has been built, which takes into account technological efficiency, hardware wear processes, as well as asymmetry of market payments. This forms an adaptive filter with cutting off cycles of economically inefficient arbitrage. The approach is based on separation of the vector of control variables into two independent charging and discharging flows. This has made it possible to take into account the asymmetry of tariffs and the structure of losses in a differentiated manner.

The study on the sensitivity of the model revealed the existence of areas of adaptive regulation and parametric insensitivity to fluctuations in price signals. In the area of parametric insensitivity, the model forms a stable cost-effective solution regardless of price fluctuations. In the area of adaptive regulation, the model changes the volumes of a separate operating cycle depending on a change in the market price spread. It has been established that ignoring the accompanying payments for the area of adaptive regulation leads to an overestimation of income by 35.6 percent and the formation of unprofitable operations. Under conditions of low market price spread, the deviation in the financial result reaches 91.6 percent; however, the parametric insensitivity of the model guarantees profitable operation.

The scope of model's practical implementation is decision support systems for operators of energy storage systems. The conditions of use assume the presence of deterministic forecasts of market price signals for the calculated operating day. Implementing the model contributes to the extension of the life cycle and increase in the operational profitability of energy storage systems.

**Keywords:** energy storage systems, price arbitrage, economic dispatch, day-ahead market.

## References

1. Kyrylenko, O., Denysiuk, S., Bielokha, H., Dyczko, A., Stecula, B., Pazynich, Y. (2025). Smart Monitoring and Management of Local Electricity Systems with Renewable Energy Sources. *Energies*, 18 (16), 4434. <https://doi.org/10.3390/en18164434>
2. Faia, R., Lezama, F., Soares, J., Pinto, T., Vale, Z. (2024). Local electricity markets: A review on benefits, barriers, current trends and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 190, 114006. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114006>
3. Parus, E., Blinov, I., Rybina, O., Olefir, D., Sala, D., Tora, B., Dychkovskiy, R. (2025). Improving the Electricity Market Participation Management of Hydropower Plants in Ukraine. *Inżynieria Mineralna*, 1 (1). <https://doi.org/10.29227/im-2025-01-26>
4. Blinov, I., Zaitsev, I., Bajaj, M., Miroshnyk, V., Sychova, V., Shymaniuk, P., Blazek, V., Prokop, L. (2025). Advanced long short-term memory-based forecasting of electricity imbalances in the Ukrainian power system: Enhancing accuracy and stability with comparative model analysis. *Energy Exploration & Exploitation*. <https://doi.org/10.1177/01445987251360272>
5. Hannan, M. A., Faisal, M., Ker, P. J., Mun, L. H., Parvin, K., Mahlia, T. M. I., Blaabjerg, F. (2018). A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations. *IEEE Access*, 6, 38997–39014. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2852811>
6. Krishnamurthy, D., Uckun, C., Zhou, Z., Thimmapuram, P. R., Botterud, A. (2018). Energy Storage Arbitrage Under Day-Ahead and Real-Time Price Uncertainty. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33 (1), 84–93. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2685347>
7. Zachmann, G., Meissner, F., Riepin, I. (2025). Mitigating Ukraine's looming electricity crisis. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101724. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101724>
8. Metz, D., Saraiva, J. T. (2018). Use of battery storage systems for price arbitrage operations in the 15- and 60-min German intraday markets. *Electric Power Systems Research*, 160, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.020>
9. Xu, B., Zhao, J., Zheng, T., Litvinov, E., Kirschen, D. S. (2018). Factoring the Cycle Aging Cost of Batteries Participating in Electricity Markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33 (2), 2248–2259. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2733339>
10. Blinov, I. V., Parus, Ye. V., Shymaniuk, P. V., Vorushylo, A. O. (2024). Optimization model of microgrid functioning with solar power plant and energy storage system. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 5, 69–78. <https://doi.org/10.15407/techned2024.05.069>
11. He, G., Chen, Q., Kang, C., Pinson, P., Xia, Q. (2016). Optimal Bidding Strategy of Battery Storage in Power Markets Considering Performance-Based Regulation and Battery Cycle Life. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7 (5), 2359–2367. <https://doi.org/10.1109/tsg.2015.2424314>
12. Vetter, J., Novák, P., Wagner, M. R., Veit, C., Möller, K.-C., Besenhard, J. O. et al. (2005). Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 147 (1-2), 269–281. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.01.006>
13. Preto, M., Lucas, A., Benedicto, P. (2024). Hybrid Energy Storage System Dispatch Optimization for Cost and Environmental Impact Analysis. *Energies*, 17 (12), 2987. <https://doi.org/10.3390/en17122987>
14. Christen, T. (2018). Efficiency and Power in Energy Conversion and Storage. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429454288>
15. Chazarra, M., García-González, J., Pérez-Díaz, J. I., Arteseros, M. (2016). Stochastic optimization model for the weekly scheduling of a hydropower system in day-ahead and secondary regulation reserve markets. *Electric Power Systems Research*, 130, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.08.014>
16. Blinov, I., Radziukynas, V., Shymaniuk, P., Dyczko, A., Stecula, K., Sychova, V. et al. (2025). Smart Management of Energy Losses in Distribution Networks Using Deep Neural Networks. *Energies*, 18 (12), 3156. <https://doi.org/10.3390/en18123156>
17. Bradbury, K., Pratson, L., Patiño-Echeverri, D. (2014). Economic viability of energy storage systems based on price arbitrage potential in real-time U.S. electricity markets. *Applied Energy*, 114, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.010>
18. Migliari, L., Cocco, D., Petrollese, M. (2025). Levelized Cost of Storage (LCOS) of Battery Energy Storage Systems (BESS) Deployed for Photovoltaic Curtailment Mitigation. *Energies*, 18 (14), 3602. <https://doi.org/10.3390/en18143602>
19. Boyd, S., Vandenberghe, L. (2004). *Convex Optimization*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511804441>
20. Parus, Ye. V., Blinov, I. V. (2025). Optimization of the use of available energy resources of the microgrid under the condition of supporting readiness for isolated mode. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 5, 56–69. <https://doi.org/10.15407/techned2025.05.056>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355849

### IMPROVING THE APPROACH TO FLEXIBLY CONTROL FORMULATIONS FOR A CLEAN-IN-PLACE STATION (p. 102–110)

Roman Mirkevych

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2796-9388>

Volodymyr Polupan

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8076-1369>

A clean-in-place (CIP) station has been investigated in this study. The task addressed relates to the lack of flexible methods for controlling formulations for a CIP station.

In most industrial systems, the cleaning algorithms are rigidly embedded in the control program, which complicates modification of technological procedures without intervention in the program code. This paper reports the development of a formalized approach to controlling the formulation for a CIP station based on the IEC 61512 standard principles, which ensures the separation of technological procedure descriptions from the implementation of equipment control functions.

The study includes an analysis of requirements within the IEC 61512 standard for formulation description, as well as the construction of a formalized model of procedures. An approach has been proposed to represent cleaning formulations as a structured list of technological operations with process parameters, which makes it possible to formalize the sequence of cleaning stages. It has been shown that such a technique of formulation description could be directly implemented in programmable logic controllers (PLCs) and systems of supervisory control and data acquisition (SCADA) without using additional specialized tools.

The results are attributed to the application of principles of equipment and procedure decomposition in accordance with the IEC 61512 standard, which makes it possible to separate process control from equipment control. A distinctive feature of the proposed approach is the possibility of modifying CIP cleaning recipes without changing the PLC program code, which reduces the time required for system reconfiguration.

The results could be practically implemented in the design and modernization of automated control systems for CIP stations in the food, pharmaceutical, and biotechnology industries, as well as in the development of SCADA interfaces for controlling formulation-related processes.

**Keywords:** CIP station, IEC 61512, object-oriented control, decomposition, process cell, process unit.

## References

- IEC 61512-1:2026. Batch control - Part 1: Models and terminology. International Electrotechnical Commission. Available at: <https://webstore.iec.ch/en/publication/75287>
- Pupena, A., Elperin, I., Mirkevich, R., Klymenko, O. (2017). Computer integrated manufacturing: overview of modern standards. *Automation of Technological and Business Processes*, 8 (3). <https://doi.org/10.15673/atbp.v8i3.571>
- Garcia, A., Oregui, X., Arrieta, U., Valverde, I. (2022). Methodology and Tools to Integrate Industry 4.0 CPS into Process Design and Management: ISA-88 Use Case. *Information*, 13 (5), 226. <https://doi.org/10.3390/info13050226>
- Belei, O., Shtailer, L., Stasiuk, R., Mirzojeva, A. (2023). Design of the human-machine interface for the cleaning-in-place system in the dairy industry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (123)), 44–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282695>
- Polupan, V., Pupena, O., Mirkevych, R., Klymenko, O., Mirkevych, O. (2025). Cleaning-in-place station decomposition for object-oriented control. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3 (138)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.343204>
- Godena, G., Lukman, T., Steiner, I., Bergant, F., Strmčnik, S. (2015). A new object model of batch equipment and procedural control for better recipe reuse. *Computers in Industry*, 70, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.02.002>
- Obermeier, M., Braun, S., Vogel-Heuser, B. (2015). A Model-Driven Approach on Object-Oriented PLC Programming for Manufacturing Systems with Regard to Usability. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11 (3), 790–800. <https://doi.org/10.1109/tii.2014.2346133>
- De Minicis, M., Giordano, F., Poli, F., Schiraldi, M. M. (2014). Recipe Development Process Re-Design with ANSI/ISA-88 Batch Control Standard in the Pharmaceutical Industry. *International Journal of Engineering Business Management*, 6. <https://doi.org/10.5772/59025>
- Alvarado, J., Vegetti, M., Gonnet, S. (2025). Asset Administration Shell Submodel for Representing the Procedural Part of ISA-88 Recipes. *IEEE Latin America Transactions*, 23 (1), 36–42. <https://doi.org/10.1109/la.2025.10810401>
- Pupena, O., Mirkevych, R., Klymenko, O. (2020). Praktychni rekomendatsiyi do realizatsiyi elementiv standartu IEC 61512 v prohramnomu zabezpechenni system keruvannia. *Tekhnichniy komitet 185 «Promyslova avtomatyzatsiya»*. Available at: <https://tk185.appau.org.ua/guide/aCampus-users-guides-IEC61512+++pdf>
- Emerson, D. (1999). The ISA S88.02 Recipe Representation Format. *World Batch Forum*. Available at: <https://web-material3.yokogawa.com/WBF1999NA-Emerson-Paper.pdf>
- Hellgren, A., Fabian, M., Lennartson, B. (2005). On the execution of sequential function charts. *Control Engineering Practice*, 13 (10), 1283–1293. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2004.11.011>
- Liu, S., Shi, H., Yang, Z. (2010). Research of Control Recipe for Batch Plants Based on PFC. *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 1079–1082. <https://doi.org/10.1109/icmtma.2010.532>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358679

## DEVELOPMENT OF BATTERY CHARGING-DISCHARGING CURRENT REGULATION STRATEGY BY USING FUZZY LOGIC CONTROLLERS (p. 111–126)

**Rahim Mammadzada**

Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU),  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7552-2790>

**Ruslan Mammadov**

Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU),  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8723-639X>

The object of this study is to regulate charge and discharge currents in battery systems and its affect on thermal behavior under dynamic battery operating conditions. The problem to be solved is the development of battery management framework which accounts for charging current regulation and a load shedding mechanism for discharge current regulation for temperature and voltage control of battery bank.

Simulation results demonstrate that the proposed hybrid framework for the battery control system maintains stable temperature levels during both charging and discharging cycles, where during charging the current is regulated based on terminal voltage, temperature and rate of change of temperature, while during discharging control is based on temperature and rate of change of both temperature rise and voltage drop.

The distinctive feature of the proposed framework is the hybrid control structure that applies different regulation strategies for charging and discharging processes by using fuzzy logic controllers. In this approach, fuzzy logic adjusts the charging current according to the state of charge, voltage, and temperature of the battery cells, at the same time load shedding and load transfer regulate the discharge current to maintain safe operating conditions.

The proposed system was simulated in MATLAB with 3 charge-discharge cycles. It maintained temperature within 45°C setpoint with minimal overshoot and voltage drop amount not more than 25% nominal battery bank voltage.

The results can be applied to the development of battery management systems for battery banks in energy storage, electrical vehicles, essential power supplies in industrial applications, and solar/wind power generation system.

**Keywords:** battery temperature regulation, charging fuzzy logic control, discharge by load shedding.

## References

- Károlyi, G., Pózna, A. I., Hangos, K. M., Magyar, A. (2022). An Optimized Fuzzy Controlled Charging System for Lithium-Ion Batteries Using a Genetic Algorithm. *Energies*, 15 (2), 481. <https://doi.org/10.3390/en15020481>

2. Shaout, A. K., Brauchler, Z. (2025). Fuzzy Battery Manager: Charging and Balancing Rechargeable Battery Cells with Fuzzy Logic. *Electronics*, 14 (7), 1470. <https://doi.org/10.3390/electronics14071470>
3. Mammadzada, R. (2025). System-Level Conceptual Analysis of Thermal Behavior in Solar Microgrids with Fuzzy Logic Perspective. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 10 (3). <https://doi.org/10.62476/jmte.103141>
4. Behera, S., Dev Choudhury, N. B. (2024). Optimal battery management in PV+WT micro-grid using MSMA on fuzzy-PID controller: a real-time study. *Sustainable Energy Research*, 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00136-w>
5. Xiong, R., Zhao, Z., Chen, C., Li, X., Shen, W. (2024). Electrothermal Model Based Remaining Charging Time Prediction of Lithium-Ion Batteries against Wide Temperature Range. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 37 (1). <https://doi.org/10.1186/s10033-024-01024-6>
6. Zhang, H., Fotouhi, A., Auger, D. J., Lowe, M. (2024). Battery Temperature Prediction Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *Batteries*, 10(3), 85. <https://doi.org/10.3390/batteries10030085>
7. Acker, L., Hofmann, P., Konrad, J. (2025). Predictive battery thermal management for fast charging of electric vehicles using nonlinear model predictive control and dynamic programming. *Automotive and Engine Technology*, 11 (1). <https://doi.org/10.1007/s41104-025-00157-7>
8. Su, X., Zou, G., An, S., Zou, H., Wang, X. (2025). Research on Equalization Strategy of Lithium-Ion Battery Based on Temperature and SOC Adaptive Fuzzy Control. *Energies*, 18 (3), 581. <https://doi.org/10.3390/en18030581>
9. Zhang, S., Li, T., Chen, L. (2023). Fuzzy Logic Control of External Heating System for Electric Vehicle Batteries at Low Temperature. *World Electric Vehicle Journal*, 14 (4), 99. <https://doi.org/10.3390/wevj14040099>
10. Goksu, O. F., Arabul, A. Y., Acar Vural, R. (2020). Low Voltage Battery Management System with Internal Adaptive Charger and Fuzzy Logic Controller. *Energies*, 13 (9), 2221. <https://doi.org/10.3390/en13092221>
11. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8 (3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)
12. Mammadzada, R. (2025). Performance Evaluation of PID and Fuzzy Logic Control Strategies Under Charge-Discharge Cycles in a Simscape-Based Thermal-Electrical Battery System. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 10 (3). <https://doi.org/10.62476/jmte.103213>
13. Mammadov, R., Yusubov, E. (2025). Metaheuristic Load Shedding Method Using Binary Decision Variables for Controllable Loads. 2025 5th International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 1–6. <https://doi.org/10.1109/icecet63943.2025.11472308>
14. Mammadov, R. (2025). Optimal Load Shedding for Power Systems Using the Binary Exhaustive Search Method. *Intelligent and Fuzzy Systems*, 175–183. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-98304-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-98304-7_20)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352682**

**РОЗРОБКА КОНВЕЄРА TRIE-BERT ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ МОВ З НИЗЬКИМ РІВНЕМ РЕСУРСІВ У ТЕКСТАХ БАТАК ТОБА ТА ANGKOLA SCRIPTIO CONTINUA (с. 6–16)**

**Muhammad Anggia Muchtar, Opim Salim Sitompul, Maya Silvi Lydia, Syahril Efendi**

Об'єктом цього дослідження є тексти мовами Batak Toba та Batak Angkola, написані у формі scriptio continua без пробілів. Робота вирішує проблему класифікації різновидів з низьким рівнем ресурсів, де два різновиди схожі, а відсутні межі слів створюють шум сегментації. Було розроблено гібридний конвеєр TRIE-BERT, в якому префіксна автоматизація виконує детерміноване розподілення, відновлений розподіл фіксується, а текст з розподілом стає стабільним вхідним інтерфейсом для класифікатора BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). В експериментах використовувався лексикон Батак з 19 070 слів та 8000 речень, по 4000 на кожен різновид, оцінених за чотирма схемами даних від 1000 до 8000 речень та п'ятьма епохами від 5 до 50 з розподілом 80:20. Після повторного калібрування лексикону близько 70 речень, точність розподілу досягла 98 відсотків. Найкраще налаштування з 8000 реченнями та 50 епохами досягло точності тесту 0,85 з втратою навчання 0,343, ROC AUC 0,85 та F1-балом 0,85, що перевищує базовий рівень рекурентної нейронної мережі довгої короткочасної пам'яті (LSTM-RNN) з точністю 0,80, втратою 0,397, ROC AUC 0,803 та F1-балом 0,80. Оцінка за класами дала точність 0,81 та повноту 0,92 для Toba та точність 0,90 та повноту 0,79 для Angkola, що пояснює усереднену точність 0,86 та повноту 0,85. Покращення пов'язане з комбінованим використанням детермінованого відновлення меж на основі трикутників та контекстної BERT-класифікації, де інтервали фіксуються перед класифікацією для зменшення неоднозначності токенів та стабілізації вхідної структури. Результати підтримують конвеєри обробки тексту мовою Батак, які потребують автоматичного визначення інтервалів та різноманітності під обмеженими мітками, за умови збереження охоплення лексики та контролю варіацій орфографії.

**Ключові слова:** префікс, BERT, scriptio continua, низький рівень ресурсів, мова Батак.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356830**

**РОЗРОБКА БАГАТООГЕНТНОЇ ГЕНЕРАТИВНОЇ СТРУКТУРИ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ПЛАНІВ З ДЕТЕРМІНОВАНОЮ ПЕРЕВІРКОЮ ОБМЕЖЕНЬ (с. 17–31)**

**Mohammad Fadly Syahputra, Opim Salim Sitompul, Fahmi, Maya Silvi Lydia, Pauzi Ibrahim Nainggolan, Rendra Mahardika, Riza Sulaiman**

Великі мовні моделі (LLM) все частіше використовуються для створення структурованих навчальних планів, узгоджених з освітою, орієнтованою на результат (ОБЕ). Об'єктом дослідження є багатоагентний робочий процес для створення структурованого пакету навчальних планів ОБЕ з кінцевим етапом детермінованої перевірки. Розглядається проблема низької надійності вихідних даних, згенерованих LLM, які часто порушують правила схеми, числові обмеження та вимоги до узгодженості між артефактами. Для вирішення цієї проблеми пропонується багатоагентний генеративний конвеєр, який розкладає завдання на шість спеціалізованих агентів, після чого до кінцевого набору артефактів застосовується детермінована перевірка обмежень. Структурна надійність вимірюється за допомогою повноти та відповідності, тоді як узгодженість між артефактами оцінюється за допомогою надмірності, інтервалів, фазового прогресу та відповідності оцінці. Оцінювання включає 12 курсів з 10 повторними запусками на курс (120 запусків на варіант) на чотирьох різних LLM для оцінки стійкості між моделями. Результати показують, що багатоагентний конвеєр досягає повноти 0,9682–1,00 та відповідності 0,9376–0,9698, що значно перевершує одноагентну конфігурацію (повнота 0,5926–0,6580; відповідність 0,4698–0,4853). Ці покращення пояснюються декомпозицією завдань, яка зменшує поширення структурних відмов, та детермінованою верифікацією, яка відкидає недійсні виходи та зберігає референтну цілісність. Аналіз абляції показує, що агент course character має найбільший вплив на загальну продуктивність. Запропонований фреймворк може бути застосований у плануванні навчальних програм вищої освіти в умовах ОБЕ, використовуючи мінімальні метадані курсу та створюючи машинно-перевірені структуровані артефакти.

**Ключові слова:** багатоагентний, генеративний ШІ, структурована генерація, валідація обмежень, аналіз абляції.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358313**

**РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПОШУКУ ТА ГРАФУ ЗНАНЬ ДЛЯ УЗГОДЖЕННЯ КОМПЕТЕНЦІЙ МІЖ РІЗНИМИ ФРЕЙМВОРКАМИ (с. 32–42)**

**Halim Maulana, Poltak Sihombing, Amalia, Marischa Elveny**

Об'єктом цього дослідження є узгодження результатів навчання випускників індонезійських факультетів обчислювальної техніки (CPL – Saraiian Pembelajaran Lulusan) з трьома гетерогенними рамками компетенцій: Європейськими рамками навичок, компетенцій, кваліфікацій та професій (ESCO), професійною інформаційною мережею (O\*NET) та Стандартом компетентності Національної школи Індонезії (SKKNI). Проблема, що розглядається, полягає у відсутності єдиного конвеєра, здатного одночасно відобразити CPL у цих рамках, враховуючи національні ієрархії кваліфікацій та міжмовні обмеження. Запропоновано модель IR-KG (пошук інформації – граф знань) із семиетапним конвеєром, що використовує гібридну функцію оцінювання  $S_{final} = \alpha \cdot S_{sem} + \beta \cdot S_{gr} + \gamma \cdot S_{con}$ , що інтегрує семантичну подібність TF-IDF (частота термінів – обернена частота документів), когезію графа знань ESCO та бали обмежень домену з класифікацій ISCED-F 2013 (Міжнародна стандартна класифікація освіти: галузі освіти та навчання) та АРТИКОМ 2022 (Asosiasi Pendidikan Tinggi Informatika dan Komputer). Збалансована конфігурація ( $\alpha = \beta = \gamma = 0,33$ ) досягає се-

реднього цільового значення вибору 0,537, що на 26,1% краще порівняно з семантичним базовим рівнем. Зовнішня перевірка узгодженості дає коефіцієнт релаксованої узгодженості 27,1% (на 8,7× вище випадкового базового рівня), що підтверджує правильне захоплення сигналу вирівнювання. CRI-KG (індекс готовності до кар'єри на основі графа знань) виявляє градієнт  $R_{SKKNI} \gg R_{ONET} > R_{ESCO}$ , що виявляє постійні прогаллини в охопленні міжнародними рамками. Цей конвеєр застосовується для аудиту навчальних програм, політики визнання кваліфікацій та інтеграції національних та міжнародних рамок, коли марковані дані про навчання недоступні.

**Ключові слова:** пошук інформації, граф знань, узгодження компетенцій, CPL, SKKNI, O\*NET, ESCO, індекс готовності до кар'єри.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357377**

### **РОЗРОБЛЕННЯ ПІДХОДУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА АВТОМАТИЧНОЇ ПЕРЕБУДОВИ СТРУКТУРИ ВЕБСАЙТІВ (с. 43–51)**

**І. О. Долотов, Н. А. Гук**

Об'єктом дослідження є вебсайти типу інтернет-магазинів, що розглядаються як сукупність взаємопов'язаних вебсторінок. Проблема, що вирішується у дослідженні, полягає у високій обчислювальній складності ручного аналізу топології сучасних вебсайтів, а також у відсутності формалізованих механізмів, які б дозволяли інтегрувати семантичні особливості вебсторінок у процес автоматизованої перебудови гіперпосилань.

У межах дослідження здійснюється краулінг вебсайту з метою отримання повних HTML-документів, з яких виокремлюються структурні ознаки сторінок (кількість заголовків, глибина вкладення, наявність <article>, кількість вхідних посилань тощо). Отримані вектори дозволяють побудувати матриці косинусної подібності для оцінки взаємної близькості сторінок. Запропоновано підхід до перебудови посилальної структури сайту з урахуванням цієї подібності та проведено порівняння початкового та трансформованого вебсайту за допомогою метричних характеристик модулярності, кластеризації, діаметру, розподілу подібності. Отримані результати демонструють, що врахування DOM-структури дозволяє утворити логічний, обґрунтований розподіл сторінок між кластерами. А подальша автоматична процедура налаштування гіперпосилань дозволяє поліпшити структурну цілісність через встановлення ефективних взаємозв'язків між тематично близькими сторінками. Практична значущість роботи полягає у можливості використання запропонованого підходу для автоматизованої оптимізації внутрішніх посилань статичних вебсайтів. Внаслідок цього, покращується архітектура вебресурсу, прозорою стає навігація сайтом та поліпшується індексація сайту пошуковими системами.

**Ключові слова:** DOM-модель, кластеризація вебграфа, подібність сторінок, оптимізація структури, перелінковка, косинусна відстань.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359143**

### **ОЦІНКА ФРЕЙМВОРКУ ІНТЕРАКТИВНОГО ЕВОЛЮЦІЙНОГО НЕДОМІНОВАНОГО ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ СОРТУВАННЯ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ГІПЕРПАРАМЕТРІВ U-NET У СЕГМЕНТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ (с. 52–64)**

**Artughrul Gayibov, Vagif Gasimov, Esmira Mustafayeva, Kamala Aliyeva, Dilara Guluzada**

Об'єктом дослідження є конфігураційний простір гіперпараметрів архітектури U-Net для сегментації сільськогосподарських угідь за супутниковими знімками Sentinel-2. Проблема, що вирішується, полягає у надмірній вартості багатоцільової гіперпараметричної оптимізації, оскільки недоміноване сортування в недомінованому генетичному алгоритмі сортування II (NSGA-II) зі складністю  $O(MN^2)$  стає вузьким місцем для моделей глибокої сегментації. Для вирішення цієї проблеми оцінюється фреймворк інтерактивного еволюційного недомінованого генетичного алгоритму сортування II (IENSGA-II), в якому класифікатор логістичної регресії навчається на векторах гіперпараметрів та рангах Парето з початкових поколінь NSGA-II, а потім використовується для прогнозування рангів у наступних поколіннях замість повного сортування. На відміну від існуючих підходів із використанням сурогатних методів, ця робота прогнозує ранги Парето без додаткових оцінок моделей. У бенчмарку Panoptic Agricultural Satellite Time Series (PASTIS) фреймворк скоротив час виконання на 20,07%, 16,39% та 38,80% для 5, 10 та 15 поколінь, а в умовах 10-поколінного періоду покращив критерії валідації, досягнувши площі під кривою робочих характеристик приймача (AUC) 0,9072 проти 0,9004 та втрати валідації 0,6057 проти 0,6212. Ці результати були досягнуті завдяки тому, що метод прискорює відбір, а не замінює оцінку моделі, тоді як розв'язання рівностей на основі AUC зберігає перевагу для більш точних рішень серед кандидатів з однаковим прогнозованим рангом. Ефективність впливає з регулярного зв'язку між гіперпараметрами та рангами Парето в ранніх еволюційних даних. На практиці метод використовується в обмеженому ресурсами багатоцільовому навчанні, коли початкові покоління забезпечують репрезентативні дані для прогнозування рангу.

**Ключові слова:** оптимізація гіперпараметрів, точне землеробство, сегментація U-Net, прогнозування рангу Парето, еволюція за допомогою сурогатних моделей.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.359147**

### **РОЗРОБКА СИСТЕМО-ТИПОЦЕНТРИЧНОГО МЕТОДУ АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ (с. 65–84)**

**І. Б. Полатайко, Л. М. Заміховський**

Об'єктом дослідження є процес архітектурного проектування та модель архітектурної документації комп'ютерно-програмних систем в галузі автоматизації.

Існуючі методології архітектурного проектування є переважно агностичними щодо природи комп'ютерно-програмних систем та не містять спеціалізованих настанов, необхідних для врахування фундаментальних відмінностей у архітектурній природі гетерогенних комп'ютерно-програмних систем в сучасній автоматизації.

В рамках дослідження запропоновано системо-типоцентричний метод архітектурного проектування комп'ютерно-програмних систем автоматизації. Запропонований метод вводить комплексну, орієнтовану на архітектурні точки зору, модель архітектурної документації та відтворюваний ітеративний процес архітектурного проектування.

Метод ієрархічно структурує архітектурні концерни на різних рівнях, забезпечуючи систематичний перехід від абстрактного до конкретного проектування. Шляхом визначення матриці застосовності архітектурних точок зору для систем різних типів, метод забезпечує створення релевантних, стандартизованих, структурованих, узгоджених, простежуваних та інтегрованих архітектурних артефактів.

Метод ґрунтується на системо-типоцентричній парадигмі та концепціях стандартів і підходів, орієнтованих на архітектурні точки зору. Це поєднання є основною відмінною рисою даного методу, що забезпечує застосовність методу до широкого спектру комп'ютерно-програмних систем, враховуючи відмінності в архітектурній природі різних типів систем.

Запропонований метод підвищує інтегрованість артефактів архітектурного проектування, визначає прескриптивний процес, що структурує архітектурне проектування та формує базу для інструментів автоматизованого AI-асистованого генерування архітектури.

**Ключові слова:** архітектура програмного забезпечення, системи автоматизації, модель архітектурної документації, процес архітектурного проектування.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354701**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СИМЕТРО-КОМПЕНСУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ З ВИКОРИСТАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ (с. 85–93)**

**П. Г. Плешков, В. В. Зінзура, К. Г. Петрова, В. П. Солдатенко, А. В. Некрасов**

Об'єктом дослідження є процеси автоматичного керування параметрами режиму розподільної електричної мережі напругою 6–10 кВ з різкозмінним несиметричним навантаженням.

Проблема, що вирішувалася, полягає в недостатній ефективності існуючих систем автоматичного керування симетро-компенсуючими пристроями, які базуються на методах багатокритеріальної оптимізації з незмінними ваговими коефіцієнтами. Такі системи продовжують надавати максимальний пріоритет зниженню усталеного відхилення напруги навіть за його відповідності нормативним вимогам. Це призводить до неповного використання регулюючого резерву симетро-компенсувального пристрою.

Було удосконалено систему автоматичного керування симетро-компенсувальним пристроєм за рахунок інтеграції до її структури нечіткого контролера. Цей контролер змінює значення вагових коефіцієнтів цільової функції залежно від поточних значень параметрів режиму мережі. Проведене комп'ютерне моделювання підтвердило ефективність розробленої системи, яка забезпечила зниження математичних очікувань коефіцієнта реактивної потужності  $M[\tan\varphi]$  на 13,9% та коефіцієнта несиметрії напруг  $M[k_{2U}]$  на 8,5% порівняно з базовою.

Підвищення ефективності роботи системи керування пояснюється її здатністю до адаптивної зміни вагових коефіцієнтів. Так, при наявності запасу за усталеним відхиленням напруги нечіткий контролер знижує ваговий коефіцієнт, що відповідає цьому критерію, спрямовуючи регулювальний ресурс симетро-компенсувального пристрою на підвищення рівня компенсації реактивної потужності та зниження рівня несиметрії.

Особливістю розробленої системи керування є використання в якості вхідних змінних нечіткого контролера рівнів наближення поточних значень усталеного відхилення та несиметрії напруги до їх нормативно допустимих меж.

Розроблена система автоматичного керування може бути використана в розподільних електричних мережах напругою 6–10 кВ з різкозмінним несиметричним навантаженням.

**Ключові слова:** симетро-компенсувальний пристрій, нечітка логіка, багатокритеріальна оптимізація, система автоматичного керування.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355330**

### **РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГРАФІКІВ РОБОТИ УСТАНОВОК ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ НА РИНКУ «НА ДОБУ НАПЕРЕД» З УРАХУВАННЯМ РИНКОВИХ СТРАТЕГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ (с. 94–101)**

**О. О. Гавва, Є. В. Парус, І. В. Блінов, В. А. Євдокімов**

Об'єкт дослідження – процес оптимального планування графіків роботи установок зберігання енергії на ринку «на добу наперед». Робота вирішує проблему запобігання нерентабельній експлуатації установок зберігання енергії. Розроблено комплексну математичну модель добового планування режимів роботи установок зберігання енергії, в якій враховані технологічна ефективність, процеси апаратного зношення та асиметрію ринкових платежів. Це формує адаптивний фільтр з відсіканням циклів економічно неефективного арбітражу. В основі підходу – розділення вектору керуючих змінних на два незалежні потоки заряджання та розряджання. Це дозволило диференційовано врахувати несиметрію тарифів та структуру втрат. Дослідження чутливості моделі дозволило виявити існування областей адаптивного регулювання та параметричної нечутливості до флуктуацій цінкових сигналів. В області параметричної нечутливості модель формує стійкий рентабельний розв'язок незалежно від флуктуацій цін. В області адаптивного регулювання модель змінює обсяги окремого операційного циклу в залежності від зміни середу ринкових цін. Встановлено, що ігнорування супутніх платежів для області адаптивного регулювання призводить до завищення доходу на 35,6 відсотка та формування нерентабельних операцій. В умовах низького середу ринкових цін відхилення фінансового результату досягає 91,6 відсотка, проте

параметрична нечутливість моделі гарантує рентабельну експлуатацію. Сферою практичного використання моделі є системи підтримки прийняття рішень для операторів установок зберігання енергії. Умови використання передбачають наявність детермінованих прогнозів цінних сигналів ринку на розрахункову операційну добу. Впровадження моделі сприяє подовженню життєвого циклу та підвищенню рентабельності експлуатації установок зберігання енергії.

**Ключові слова:** установки зберігання енергії, ціновий арбітраж, економічна диспетчеризація, ринок «на добу наперед».

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355849**

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДУ ДО ГНУЧНОГО РЕЦЕПТУРНОГО КЕРУВАННЯ СТАНЦІЇ МИЙКИ НА МІСЦІ (с. 102–110)**

**Р. М. Міркевич, В. В. Полупан**

Об'єктом дослідження є станція СІР-мийки. Проблема, що розглядається в роботі, полягає у відсутності гнучких методів керування рецептами станції СІР-мийки. Це пов'язано з тим, що в більшості промислових систем алгоритми мийки жорстко закладені в програму керування що ускладнює зміну технологічних процедур без втручання в програмний код. У роботі проведено розробка формалізованого підходу до рецептурного керування станцією СІР-мийки на основі принципів стандарту IEC 61512, який забезпечує відокремлення опису технологічних процедур від реалізації функцій керування обладнанням.

У роботі проведено аналіз вимог стандарту IEC 61512 щодо опису рецептур та розроблено формалізовану модель процедур. Запропоновано підхід до представлення рецептів мийки у вигляді структурованого списку технологічних операцій з параметрами процесу, що дозволяє формалізувати послідовність виконання етапів мийки. Показано, що такий спосіб опису рецептур може бути безпосередньо реалізований у програмованих логічних контролерах (ПЛК) та SCADA-системах без використання додаткових спеціалізованих засобів.

Отримані результати пояснюються застосуванням принципів декомпозиції обладнання та процедур відповідно до стандарту IEC 61512, що дозволяє розділити керування технологічним процесом і керування обладнанням. Особливістю запропонованого підходу є можливість зміни рецептур СІР-мийки без модифікації програмного коду програмованого логічного контролера (ПЛК), що забезпечує скорочення часу переналадження системи. Практичне використання результатів можливе при проектуванні та модернізації автоматизованих систем керування станціями СІР-мийки у харчовій, фармацевтичній та біотехнологічній промисловості, а також при розробці SCADA-інтерфейсів для керування рецептурними процесами.

**Ключові слова:** СІР-станція, IEC 61512, об'єктно-орієнтоване керування, декомпозиція, технологічна комірка, технологічний вузол.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358679**

## **РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ РЕГУЛЮВАННЯ СТРУМУ ЗАРЯДКИ-РОЗРЯДКИ АКУМУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЕРІВ НА НЕЧІТКІЙ ЛОГІЦІ (с. 111–126)**

**Rahim Mammadzada, Ruslan Mammadov**

Об'єктом дослідження є регулювання струмів заряду та розряду в акумуляторних системах та їх вплив на теплову поведінку в динамічних умовах експлуатації акумулятора. Проблема, яку необхідно вирішити, полягає в розробці системи керування акумуляторами, яка враховує регулювання струму заряджання та механізм скидання навантаження для регулювання струму розряджання, а також керування температурою та напругою акумуляторної батареї.

Результати моделювання показують, що запропонована гібридна система керування акумуляторами підтримує стабільні рівні температури як під час циклів заряджання, так і розряджання, де під час заряджання струм регулюється на основі напруги на клеммах, температури та швидкості зміни температури, тоді як під час розряджання керування базується на температурі та швидкості зміни як підвищення температури, так і падіння напруги.

Відмінною особливістю запропонованої системи є гібридна структура керування, яка застосовує різні стратегії регулювання для процесів заряджання та розряджання за допомогою контролерів з нечіткою логікою. У цьому підході нечітка логіка регулює струм заряджання відповідно до стану заряджання, напруги та температури елементів акумулятора, водночас скидання навантаження та перемикавання навантаження регулюють струм розряджання для підтримки безпечних умов експлуатації.

Запропонована система була змодельована в MATLAB з 3 циклами заряджання-розряджання. Вона підтримувала температуру в межах заданого значення 45°C з мінімальним перевищенням та падінням напруги не більше 25% від номінальної напруги акумуляторної батареї.

Результати можуть бути застосовані для розробки систем керування акумуляторами для акумуляторних батарей у накопичувачах енергії, електромобілях, основних джерелах живлення в промисловому застосуванні та системах генерації сонячної/вітрової енергії.

**Ключові слова:** регулювання температури акумулятора, керування зарядкою за допомогою нечіткої логіки, розрядка шляхом скидання навантаження.