

ABSTRACT AND REFERENCES

ECOLOGY

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340754

DEFINING DUST LOAD PATTERNS AND ASSESSING HEALTH RISK TO PEOPLE FROM TRAFFIC FLOWS NEAR A QUARRY (p. 6–19)**Tetiana Rusakova**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5526-3578>**Kateryna Rusakova**

Metal Expert, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9881-9035>**Yuliia Voitenko**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0819-3794>**Olena Dolzhenkova**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7970-8110>**Olena Zolotko**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2482-7574>**Olena Gunko**Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9257-763X>

This study investigates atmospheric dust pollution generated by quarrying activities, particularly the impact of traffic on access roads. The task addressed relates to the lack of a comprehensive assessment of dust levels and associated health risks, considering the actual operation of quarry infrastructure and seasonal variability.

Emissions from quarrying during 2020–2024 have been analyzed, which made it possible to evaluate anthropogenic pressure. PM_{2.5} and PM₁₀ measurements were conducted along the access road to the Rybalskyi quarry (Ukraine); the results were used for statistical processing and dust load modeling.

Correlation-regression models were built to assess the impact of environmental and transport factors, identifying key pollution drivers. A mathematical model of the spatial distribution of concentrations was constructed, including an evaluation of health risks for people.

Maximum recorded PM₁₀ concentrations reached 312 µg/m³, thereby exceeding the permissible limit by 6.2 times. Considering meteorological conditions, vehicle types, as well as traffic intensity enabled quantitative assessment of each factor's contribution to dust load and identification of high-risk zones.

The results are attributed to the high sensitivity of dust concentrations to local changes, confirmed by determination coefficients and spatial modeling outcomes. The proposed approach is suitable for environmental protection measures aimed at reducing dust emission impact on the environment and public health. It could be applied to plan sanitary-protection zones, regulate traffic, and optimize logistics according to local conditions. This approach requires the availability of meteorological data and traffic information to provide reliable forecasts.

Keywords: dust pollution, quarry access roads, correlation-regression analysis, health risk assessment, environmental safety.

References

- Kafu-Quvane, B., Mlaba, S. (2024). Assessing the Impact of Quarrying as an Environmental Ethic Crisis: A Case Study of Limestone Mining in a Rural Community. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21 (4), 458. <https://doi.org/10.3390/ijerph21040458>
- Boutemedjet, A., Bounouala, M., Idres, A., Benselhoub, A. (2019). Assessment of dust pollution related to granite quarry operations in Kef Bouacida, Annaba (Algeria). *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 117–124. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/13>
- da Silva-Rêgo, L. L., de Almeida, L. A., Gasparotto, J. (2022). Toxicological effects of mining hazard elements. *Energy Geoscience*, 3 (3), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2022.03.003>
- Pham, T. T. K., Le, S. H., Nguyen, T., Balasubramanian, R., Tran, P. T. M. (2024). Characteristics of airborne particles in stone quarrying areas: Human exposure assessment and mitigation. *Environmental Research*, 245, 118087. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118087>
- Saka, M. B., Hashim, M. H. bin M. (2024). Critical assessment of the effectiveness of different dust control measures in a granite quarry. *Journal of Public Health Policy*, 45 (2), 212–233. <https://doi.org/10.1057/s41271-024-00481-6>
- Khan, M. M. H., Kurniawan, T. A., Chandra, I., Lei, T. M. T. (2025). Modeling PM₁₀ Emissions in Quarry and Mining Operations: Insights from AERMOD Applications in Malaysia. *Atmosphere*, 16 (4), 369. <https://doi.org/10.3390/atmos16040369>
- Demirarslan, K. O., Yener, İ. (2022). Investigation of total suspended particulate matter dispersion from quarries in Artvin, Turkey, using AERMOD and its relationship with topography. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 15 (12), 2313–2327. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01253-5>
- Tripathi, A. K., Aruna, M., Parida, S., Nandan, D., Elumalai, P. V., Prakash, E. et al. (2024). Integrated smart dust monitoring and prediction system for surface mine sites using IoT and machine learning techniques. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58021-x>
- Sairanen, M., Pursio, S. (2020). Near field modelling of dust emissions caused by drilling and crushing. *SN Applied Sciences*, 2 (7). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2976-9>
- Peng, X., Shi, G.-L., Zheng, J., Liu, J.-Y., Shi, X.-R., Xu, J., Feng, Y.-C. (2016). Influence of quarry mining dust on PM 2.5 in a city adjacent to a limestone quarry: Seasonal characteristics and source contributions. *Science of The Total Environment*, 550, 940–949. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.195>
- Wang, H., Wang, Z., Wang, R. (2025). Characteristics of dust pollution and its influencing factors during cold period of open-pit coal mines in northern China. *Frontiers in Earth Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/feart.2025.1458847>
- Chamdimba, G., Vunain, E., Maoni, M. (2023). Assessment of particulate matter exposure on ambient air and its impact on workers at two granite quarry mines at Njuli, Southern Malawi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195 (9). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11708-6>
- Leon-Kabamba, N., Ngatu, N. R., Muzembo, B. A., Kakoma, S., Michel-Kabamba, N., Danuser, B. et al. (2020). Air Quality in the Working Environment and Respiratory Health of Female Congolese Stone Quarry Workers. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 5 (4), 171. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed5040171>
- Nemer, M., Giacaman, R., Hussein, A. (2020). Lung Function and Respiratory Health of Populations Living Close to Quarry Sites in Palestine: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (17), 6068. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176068>
- Hoang, A. N., Pham, T. T. K., Mai, D. T. T., Nguyen, T., Tran, P. T. M. (2022). Health risks and perceptions of residents exposed to multiple sources of air pollutions: A cross-sectional study on landfill and stone mining in Danang city, Vietnam. *Environmental Research*, 212, 113244. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113244>

16. Bakamwesiga, H., Mugisha, W., Kisira, Y., Muwanga, A. (2022). An Assessment of Air and Water Pollution Accrued from Stone Quarrying in Mukono District, Central Uganda. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 10 (05), 25–42. <https://doi.org/10.4236/gep.2022.105003>
17. Swangiang, K., Dantrakul, A., Panishkan, K. (2025). Potential Health Risk of Dust from Stone Mill Industries. *Atmosphere*, 16 (2), 230. <https://doi.org/10.3390/atmos16020230>
18. Qian, Q., Cao, X., Qian, Q., Shen, F., Wang, Q., Liu, H., Tong, J. (2016). Relationship of cumulative dust exposure dose and cumulative abnormal rate of pulmonary function in coal mixture workers. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 32 (1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2015.11.003>
19. Laaouaoucha, D., Farhane, M., Essaouini, M., Souhar, O. (2021). Analytical model for the two-dimensional advection-diffusion equation with the logarithmic wind profile in unstable conditions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19 (7), 6825–6832. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03554-1>
20. Querol, X., Pérez, N., Reche, C., Ealo, M., Ripoll, A., Tur, J., Pandolfi, M. et al. (2019). African dust and air quality over Spain: Is it only dust that matters? *Science of The Total Environment*, 686, 737–752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.349>
21. Casotti Rienda, I., Alves, C. A. (2021). Road dust resuspension: A review. *Atmospheric Research*, 261, 105740. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105740>
22. Zhao, Z., Tian, J., Zhang, W., Zhang, Q., Wu, Z., Xing, Y. et al. (2023). Chemical Source Profiles and Toxicity Assessment of Urban Fugitive Dust PM_{2.5} in Guanzhong Plain, China. *Toxics*, 11 (8), 676. <https://doi.org/10.3390/toxics11080676>
23. Nath, P., Saha, P., Middya, A. I., Roy, S. (2021). Long-term time-series pollution forecast using statistical and deep learning methods. *Neural Computing and Applications*, 33 (19), 12551–12570. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-05901-2>
24. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, 290. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
25. IARC Monographs Volume 136: Talc monograph now available (2025). IARC. Available at: <https://monographs.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-volume-136-talc-monograph-now-available/>
26. EPA released the final report of the Integrated Science Assessment for Particulate Matter (EPA/600/AR-08/139F) (2009). Available at: https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter?utm_source=chatgpt.com

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331523

EVALUATING DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR CO₂ EMISSIONS FORECASTING: TCN, LSTM, AND HYBRID APPROACHES WITH HYPERPARAMETER OPTIMIZATION (p. 20–32)

Roni Yunis

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia
Universitas Mikroskil, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7856-7205>

Tengku Henny Febriana Harumy

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1504-5570>

Syahril Efendi

Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-5459>

The object of the study is CO₂ emission prediction using deep learning models. The problem lies in developing accurate models capable of handling temporal dependencies and periodic patterns

in CO₂ data. To address this, three deep learning models – temporal convolutional network (TCN), long short-term memory (LSTM), and a hybrid TCN-LSTM are evaluated. These models are optimized using random search and Bayesian optimization. Results indicate that the Hybrid TCN-LSTM model, optimized via random search, performs best, achieving MAE: 1.0269, R²: 0.9305, and MAPE: 4.47%. TCN excels at capturing periodic patterns through dilated convolutions, while LSTM handles long-term dependencies. Their integration combines these strengths, improving accuracy. Optimal hyperparameters (learning rate: 0.000539, dropout rate: 0.5) enhance robustness. Random search outperforms Bayesian optimization in navigating complex search spaces and avoiding local optima. Key findings include the hybrid model's ability to address short-term periodicity and long-term trends, and Random Search's reliability over Bayesian methods in this context. These insights advance time series forecasting methodologies and support robust predictive frameworks. Practically, they aid environmental policy, energy planning, and carbon trading by enabling data-driven decisions for emission reduction. However, implementation requires high-quality historical data and sufficient computational resources.

Keywords: CO₂ prediction, deep learning, random search, Bayesian optimization, hyperparameter, accuracy.

References

1. DeAngelo, J., Azevedo, I., Bistline, J., Clarke, L., Luderer, G., Byers, E., Davis, S. J. (2021). Energy systems in scenarios at net-zero CO₂ emissions. *Nature Communications*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26356-y>
2. Zhao, Y., Liu, L., Wang, A., Liu, M. (2023). A novel deep learning based forecasting model for carbon emissions trading: A comparative analysis of regional markets. *Solar Energy*, 262, 111863. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111863>
3. Wei, X., Xu, Y. (2023). Research on carbon emission prediction and economic policy based on TCN-LSTM combined with attention mechanism. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270248>
4. Chen, C., Guo, J., Zhang, L., Wu, X., Yang, Z. (2024). Robust multi-scale time series prediction for building carbon emissions with explainable deep learning. *Energy and Buildings*, 312, 114159. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114159>
5. Hanifi, S., Cammarono, A., Zare-Behtash, H. (2024). Advanced hyperparameter optimization of deep learning models for wind power prediction. *Renewable Energy*, 221, 119700. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119700>
6. Yin, H., Yin, Y., Li, H., Zhu, J., Xian, Z., Tang, Y. et al. (2025). Carbon emissions trading price forecasting based on temporal-spatial multi-dimensional collaborative attention network and segment imbalance regression. *Applied Energy*, 377, 124357. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124357>
7. Gong, M., Zhang, Y., Li, J., Chen, L. (2024). Dynamic spatial-temporal model for carbon emission forecasting. *Journal of Cleaner Production*, 463, 142581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142581>
8. Chen, J., Cui, Y., Zhang, X., Yang, J., Zhou, M. (2024). Temporal Convolutional Network for Carbon Tax Projection: A Data-Driven Approach. *Applied Sciences*, 14 (20), 9213. <https://doi.org/10.3390/app14209213>
9. Rafi, M. A., Rodrigues, G. N., Mir, M. N. H., Bhuiyan, M. S. M., Mridha, M. F., Islam, M. R., Watanobe, Y. (2025). A Hybrid Temporal Convolutional Network and Transformer Model for Accurate and Scalable Sales Forecasting. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, 6, 380–391. <https://doi.org/10.1109/ojcs.2025.3538579>
10. Liu, X., Yang, L., Du, J., Zhang, H., Hu, J., Chen, A., Lv, W. (2024). Carbon and air pollutant emissions forecast of China's cement industry from 2021 to 2035. *Resources, Conservation and Recycling*, 204, 107498. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107498>

11. Shaikh, A. K., Nazir, A., Khaliq, N., Shah, A. S., Adhikari, N. (2023). A new approach to seasonal energy consumption forecasting using temporal convolutional networks. *Results in Engineering*, 19, 101296. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101296>
12. Li, Q., Ren, X., Zhang, F., Gao, L., Hao, B. (2024). A novel ultra-short-term wind power forecasting method based on TCN and Informer models. *Computers and Electrical Engineering*, 120, 109632. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109632>
13. Liu, S., Xu, T., Du, X., Zhang, Y., Wu, J. (2024). A hybrid deep learning model based on parallel architecture TCN-LSTM with Savitzky-Golay filter for wind power prediction. *Energy Conversion and Management*, 302, 118122. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118122>
14. Tahir, M. F., Yousaf, M. Z., Tzes, A., El Moursi, M. S., El-Fouly, T. H. M. (2024). Enhanced solar photovoltaic power prediction using diverse machine learning algorithms with hyperparameter optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200, 114581. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114581>
15. Mahmoud, A., Mohammed, A. (2024). Leveraging Hybrid Deep Learning Models for Enhanced Multivariate Time Series Forecasting. *Neural Processing Letters*, 56 (5). <https://doi.org/10.1007/s11063-024-11656-3>
16. Ritchie, H., Rosado, P., Roser, M. (2023). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
17. Barzani, A. R., Pahlavani, P., Ghorbanzadeh, O., Gholamnia, K., Ghamisi, P. (2024). Evaluating the Impact of Recursive Feature Elimination on Machine Learning Models for Predicting Forest Fire-Prone Zones. *Fire*, 7 (12), 440. <https://doi.org/10.3390/fire7120440>
18. Wang, M., Qin, F. (2024). A TCN-Linear Hybrid Model for Chaotic Time Series Forecasting. *Entropy*, 26 (6), 467. <https://doi.org/10.3390/e26060467>
19. Yao, J., Cai, Z., Qian, Z., Yang, B. (2023). A novel approach based on TCN-LSTM network for predicting waterlogging depth with waterlogging monitoring station. *PLOS ONE*, 18 (10), e0286821. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286821>
20. Dong, J., Liu, X., Su, R., Xu, H., Yu, T. (2025). TCN-Transformer Deep Network with Random Forest for Prediction of the Chemical Synthetic Ammonia Process. *ACS Omega*, 10 (2), 2269–2279. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c09634>
21. Kong, F., Song, J., Yang, Z. (2022). A novel short-term carbon emission prediction model based on secondary decomposition method and long short-term memory network. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(43), 64983–64998. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20393-w>
22. Xie, T., Huang, Z., Tan, T., Chen, Y. (2024). Forecasting China's agricultural carbon emissions: A comparative study based on deep learning models. *Ecological Informatics*, 82, 102661. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102661>
23. Bi, J., Zhang, X., Yuan, H., Zhang, J., Zhou, M. (2022). A Hybrid Prediction Method for Realistic Network Traffic With Temporal Convolutional Network and LSTM. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 19 (3), 1869–1879. <https://doi.org/10.1109/tase.2021.3077537>
24. Ankalaki, S., Thippeswamy, M. N. (2023). A novel optimized parametric hyperbolic tangent swish activation function for 1D-CNN: application of sensor-based human activity recognition and anomaly detection. *Multimedia Tools and Applications*, 83 (22), 61789–61819. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-15766-3>
25. Sunkari, S., Sangam, A., P., V. S., M., S., Raman, R., Rajalakshmi, R., S., T. (2024). A refined ResNet18 architecture with Swish activation function for Diabetic Retinopathy classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 88, 105630. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.105630>
26. Harumy, T. H. F., Zarlis, M., Lydia, M. S., Efendi, S. (2023). A novel approach to the development of neural network architecture based on metaheuristic protis approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (124)), 46–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.281986>
27. Harumy, T. H. F., Br Ginting, D. S., Manik, F. Y., Alkhowarizmi, A. (2024). Developing an early detection model for skin diseases using a hybrid deep neural network to enhance health independence in coastal communities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (9 (132)), 71–85. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313983>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341736

DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF USING BIOGAS TECHNOLOGIES FOR THE INTRODUCTION OF ENERGY-SAVING SYSTEMS MICROCLIMATE (p. 33–40)

Ruslan Kassym

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
University of Jaén, Jaén, Spain
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

Asan Baibolov

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1529-4673>

Nessipbek Alibek

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8116-0193>

Shurat Sydykov

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4323-0611>

Francisco Jurado

University of Jaén, Jaén, Spain
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8122-7415>

Gulnar Akhmetkanova

Kazakh National Agrarian Research University,
Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4827-0223>

Gulfairuz Zhunisbekova

NARXOZ University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0712-6434>

Amanzhol Tokmoldayev

ALT University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0064-6170>

The object of this study is the greenhouse gas (GHG) emissions generated in livestock farming, primarily methane (CH₄) from enteric fermentation and nitrous oxide (N₂O) from manure management processes. The problem under study is the lack of instrumental methods and national programs for measuring and reducing emissions from confined animals, which results in excessive methane release and inefficient manure utilization.

Based on inventory data, the results show that annual agricultural emissions amount to 20,982.25 thousand tons of CO₂-eq. methane (58% of agricultural GHGs) and 15,239.72 thousand tons of CO₂-eq. nitrous oxide (42%), with a total of 319.547 million tons of CO₂, 2.313 million tons of CH₄, and 0.058 million tons of N₂O released in 2018. Interpretation of these results confirms that improper manure storage, outdated technologies, and the absence of biogas recovery systems are the main contributors to elevated GHG emissions worldwide.

The distinctive feature of this research is the development of autonomous climate-friendly bioenergy systems equipped with solar collectors and bioreactors that convert animal waste into biogas and organic fertilizer. This innovative technological solution not only explains the mechanisms of emission reduction but also demonstrates how livestock enterprises can generate renewable thermal and elec-

trical energy, covering up to 80–85% of their total energy demand. The practical significance of the study lies in demonstrating how the integration of such biogas technologies can improve environmental safety, reduce dependence on fossil fuels, enhance long-term energy resilience, and promote sustainable agricultural development on a global scale.

Keywords: energy-saving technologies, microclimate systems, renewable energy sources, biogas plants, waste disposal.

References

- Islam, S. M. M., Gaihre, Y. K., Biswas, J. C., Jahan, Md. S., Singh, U., Adhikary, S. K. et al. (2018). Different nitrogen rates and methods of application for dry season rice cultivation with alternate wetting and drying irrigation: Fate of nitrogen and grain yield. *Agricultural Water Management*, 196, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.002>
- Schmithausen, A. J., Schiefler, I., Trimborn, M., Gerlach, K., Südekum, K.-H., Pries, M., Büscher, W. (2018). Quantification of Methane and Ammonia Emissions in a Naturally Ventilated Barn by Using Defined Criteria to Calculate Emission Rates. *Animals*, 8 (5), 75. <https://doi.org/10.3390/ani8050075>
- Genstwa, N., Zmysłona, J. (2023). Greenhouse Gas Emissions Efficiency in Polish Agriculture. *Agriculture*, 14 (1), 56. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010056>
- Bobrowski, A. B., Willink, D., Janke, D., Amon, T., Hagenkamp-Korth, F., Hasler, M., Hartung, E. (2021). Reduction of ammonia emissions by applying a urease inhibitor in naturally ventilated dairy barns. *Biosystems Engineering*, 204, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.01.011>
- Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Antanaitis, R. (2024). Relationship between Dairy Cow Health and Intensity of Greenhouse Gas Emissions. *Animals*, 14 (6), 829. <https://doi.org/10.3390/ani14060829>
- Waghorn, G. C., Hegarty, R. S. (2011). Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019>
- Bell, M. J., Wall, E., Simm, G., Russell, G. (2011). Effects of genetic line and feeding system on methane emissions from dairy systems. *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 699–707. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.049>
- Shibata, M., Terada, F. (2010). Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal*, 81 (1), 2–10. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2009.00687.x>
- Baibolov, A., Sydykov, S., Alibek, N., Tokmoldayev, A., Turdybek, B., Jurado, F., Kassym, R. (2022). Map of zoning of the territory of Kazakhstan by the average temperature of the heating period in order to select a heat pump system of heat supply: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44 (3), 7303–7315. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2108168>
- National report on the state of the environment and on the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2019. Available at: https://www.cawater-info.net/pdf/ndsos_2019.pdf
- Rotz, C. A. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 101 (7), 6675–6690. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
- Gomez-Zavaglia, A., Mejuto, J. C., Simal-Gandara, J. (2020). Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. *Food Research International*, 134, 109256. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109256>
- Qian, H., Zhu, X., Huang, S., Linquist, B., Kuzyakov, Y., Wassmann, R. et al. (2023). Greenhouse gas emissions and mitigation in rice agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4 (10), 716–732. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00482-1>
- Bai, M., Sun, J., Denmead, O. T., Chen, D. (2017). Comparing emissions from a cattle pen as measured by two micrometeorological techniques. *Environmental Pollution*, 230, 584–588. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.012>
- Janke, D., Willink, D., Ammon, C., Hempel, S., Schrade, S., Demeyer, P. et al. (2020). Calculation of ventilation rates and ammonia emissions: Comparison of sampling strategies for a naturally ventilated dairy barn. *Biosystems Engineering*, 198, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.07.011>
- Qu, Q., Groot, J. C. J., Zhang, K., Schulte, R. P. O. (2021). Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating ammonia and methane emission rates in dairy barns: A meta-analysis. *Biosystems Engineering*, 205, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.02.012>
- McGeough, E. J., Little, S. M., Janzen, H. H., McAllister, T. A., McGinn, S. M., Beauchemin, K. A. (2012). Life-cycle assessment of greenhouse gas emissions from dairy production in Eastern Canada: A case study. *Journal of Dairy Science*, 95 (9), 5164–5175. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5229>
- Chianese, D. S., Rotz, C. A., Richard, T. L. (2009). Whole-Farm Greenhouse Gas Emissions: A Review with Application to a Pennsylvania Dairy Farm. *Applied Engineering in Agriculture*, 25 (3), 431–442. <https://doi.org/10.13031/2013.26895>
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8 (1), 015009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
- Hadipour, A., Mohit, A., Kuhi, H. D., Hashemzadeh, F. (2021). Recent Nutritional Advances to Mitigate Methane Emission in Cattle: A Review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 11 (1).
- Islam, S. M. M., Gaihre, Y. K., Islam, M. N., Jahan, A., Sarkar, M. A. R., Singh, U. et al. (2024). Effects of integrated nutrient management and urea deep placement on rice yield, nitrogen use efficiency, farm profits and greenhouse gas emissions in saline soils of Bangladesh. *Science of The Total Environment*, 909, 168660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168660>
- Shen, M., Huang, W., Chen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y. (2020). (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>
- Aboagye, I. A., Beauchemin, K. A. (2019). Potential of Molecular Weight and Structure of Tannins to Reduce Methane Emissions from Ruminants: A Review. *Animals*, 9 (11), 856. <https://doi.org/10.3390/ani9110856>
- Clemens, J., Cuhls, C. (2003). Greenhouse gas emissions from mechanical and biological waste treatment of municipal waste. *Environmental Technology*, 24 (6), 745–754. <https://doi.org/10.1080/09593330309385611>
- Hashish, M. S., Hasanien, H. M., Ji, H., Alkuhayli, A., Alharbi, M., Akmaral, T. et al. (2023). Monte Carlo Simulation and a Clustering Technique for Solving the Probabilistic Optimal Power Flow Problem for Hybrid Renewable Energy Systems. *Sustainability*, 15 (1), 783. <https://doi.org/10.3390/su15010783>
- Tlenshiyeva, A., Tostado-Véliz, M., Hasanien, H. M., Khosravi, N., Jurado, F. (2024). A data-driven methodology to design user-friendly tariffs in energy communities. *Electric Power Systems Research*, 228, 110108. <https://doi.org/10.1016/j.eprsr.2023.110108>
- Baimukhanbetov, A., Bakhtiyar, B., Tokmoldayev, A., Kassym, R., Tur-sunbayeva, G., Korobkov, M. et al. (2025). Improvement of technology of biological purification of waste from sheep farms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (134)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323371>
- Isakov, R., Gulyarenko, A., Bembek, M., Kassym, R. (2025). Technologies for efficient grinding of plant and animal waste: a review. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 54–77. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003733>

29. Utegenova, A., Bapyshev, A., Suimenbayeva, Z., Aden, A., Kassym, R., Tansaule, S. (2023). Development system for coordination of activities of experts in the formation of machineschetable standards in the field of military and space activities based on ontological engineering: a case study. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (125)), 67–77. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288542>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341531

DETERMINING BASIC TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE PROCESS OF ELECTROCHEMICAL EXTRACTION OF COPPER FROM ACID SULFATE CONCENTRATED TECHNOLOGICAL SOLUTIONS (p. 41–51)

Mykola Yatskov

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6231-6583>

Natalia Korchyk

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4919-6510>

Nadia Budenkova

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2176-3405>

Oksana Mysina

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2556-0947>

Serhii Kovalchuk

Separate Structural Unit “Rivne Technical Vocational College of the
National University of Political Science and Technology”, Rivne,
Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2546-8349>

This study investigates concentrated model solutions, acid sulfate spent technological solutions (STs) from surface preparation and coating operations by a number of enterprises, in order to devise unified technologies and to design relevant equipment.

To substantiate the basic parameters for an electrolysis system within the framework of the system approach (Quality Function Deployment), it is shown that regardless of the concept and mechanism of electrochemical transformations, one of the main elements is redox reactions that occur both at the electrode-solution interface and in the solution volume.

This paper reports experimental studies on electrochemical cathodic extraction of copper from acid sulfate concentrated technological solutions under conditions of non-stationary composition and changes in the properties of STs. The basic technological parameters of the electrolysis process have been defined; a cathodic extraction installation of metal (copper) has been designed.

To adapt the installation to changes in technological parameters and to avoid the formation of by-products together with the main product (copper), installation and dismantling of cathodes and diaphragms are implied. To eliminate secondary contamination of STS, it is proposed to abandon the use of reagents in local cycles at all stages of STS purification in favor of electrochemical technology.

The kinetic data reported here (current density, current consumption/1 mol, deposition rate) make it possible to define the basic principles of control and regulation of the electrolysis process. The pH and Eh values make it possible to adjust the type of precipitate (foil, precipitate containing foreign substances), as well as determine the purpose of the technological process (regeneration, disposal).

It is recommended to use diaphragm-free electrolysis in local regeneration cycles and diaphragm electrolysis in local disposal cycles.

Keywords: cathodic extraction, spent technological solutions, technological parameters, diaphragm and diaphragm-free electrolysis

References

1. Abidli, A., Huang, Y., Ben Rejeb, Z., Zaoui, A., Park, C. B. (2022). Sustainable and efficient technologies for removal and recovery of toxic and valuable metals from wastewater: Recent progress, challenges, and future perspectives. *Chemosphere*, 292, 133102. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133102>
2. Fylypchuk, V. L., Shatalov, O. S. (2014). Bezpeka ekspluatatsiyi ustanovok dlia elektrokhimichnoho ochyshchennia stichnykh vod promyslovykh pidpriemstv. *Visnyk NUVHP*, 1 (65), 436–445. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/1431/1/Vt6551.pdf>
3. Grebenyuk, V. D., Linkov, N. A., Linkov, V. M. (1998). Removal of Ni and Cu ions from aqueous solutions by means of a hybrid electrosorption/electrodialysis process. *Water SA*, 24 (2), 123–127. Available at: https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/WaterSA_1998_02_apr98_p123.pdf
4. Mourdikoudis, S., Dominguez-Benetton, X. (2025). Physicochemical vs Electrochemical Technologies for Metal Recovery – Main Insights, Comparison, Complementarity and Challenges. *Chemistry–Methods*, 5 (3). <https://doi.org/10.1002/cmdt.202400046>
5. Dermentzis, K. I., Marmanis, D. I., Christoforidis, A. K., Stergiopoulos, D. K. (2016). Electrochemical recovery of metallic copper from galvanic effluents. 13th Intern. Conf. PHYSICAL CHEMISTRY 2016. Belgrade. Available at: https://www.researchgate.net/publication/344132075_Electrochemical_recovery_of_metallic_copper_from_galvanic_effluents
6. Dzyazko, Yu., Atamanyuh, V. (2004). Electrodionization method and its perspectives for natural and waste waters purification from heavy metals ions. Available at: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7894a973-6d26-46b3-9d0f-fled6ff3076b/content>
7. Stergiopoulos, D., Dermentzis, K., Spanos, T., Giannakoudakis, P., Agapiou, A., Stylianou, M. (2019). Combined electrocoagulation/electrowinning process for recovery of metallic copper from electroplating effluents. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 12 (3). Available at: https://www.researchgate.net/publication/344112550_Combined_electrocoagulationelectrowinning_process_for_recovery_of_metallic_copper_from_electroplating_effluents
8. Fylypchuk, V. (2002). Elektrokhimichna zmina oksyno-vidnovnoho potentsialu pry ochyshchenni stichnykh vod. *Visnyk ternopilskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, 7 (4), 131–137. Available at: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/42474/2/TSTUSJ_2002v7n4_Filipchuk_V-Electrochemical_changing_131-137.pdf
9. Antropov, L. I. (1993). *Teoretychna elektrokimiya*. Kyi: Lybid, 544.
10. Yatskov, M. V., Korchyk, N. M., Kyrlyuk, S. V. (2024). Ochyshchennia kontsentrovanykh stichnykh vod halvanichnoho vyrobnytstva u kombinovanykh systemakh. Rivne: O. Zen, 200.
11. Yatskov, M., Korchyk, N., Prorok, O. (2019). Developing a technology for processing cuprum containing wastes from galvanic production aimed at their further use. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (102)), 32–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186620>
12. Yatskov, M. V., Korchyk, N. M., Prorok, O. A., (2017). Research of physico-chemical properties for high-concentrated suspensions from galvanic manufactures in the reagent slims form. *Visnyk NUVHP*, 3 (79), 60–67. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgp_tekhn_2017_3_9
13. Jackowska, K., Krysiński, P. (2020). *Applied Electrochemistry*. De Gruyter Brill. <https://doi.org/10.1515/9783110600834>
14. Volkov, S. V., Kozin, L. F., Omelchuk, A. O. (2005). Deiaki problemy suchasnoi elektrokhimiyi. *Ukrainskyi khimichniy zhurnal*,

- 71 (7), 3–32. Available at: <https://ucj.org.ua/index.php/journal/issue/download/190/7-2005>
15. Stezeryanskii, E. A. (2024). Electrochemical redox reactions of hexamethyleneteramine tetraiodide. *Modern Aspects of Electrochemistry*. Kyiv: MPBP «Hordon», 120–121. <https://doi.org/10.33609/elchim-congr.2024.09.1-210>
 16. Cesiulis, H., Tsyntsaru, N. (2023). Eco-Friendly Electrowinning for Metals Recovery from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). *Coatings*, 13 (3), 574. <https://doi.org/10.3390/coatings13030574>
 17. Chen, L., Zhang, G., Liu, H., Miao, S., Chen, Q., Lan, H., Qu, J. (2024). Efficient Metal Recovery from Industrial Wastewater: Potential Oscillation and Turbulence Mode for Electrochemical System. *Engineering*, 38, 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.12.002>
 18. Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92 (3), 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>
 19. Zeng, H., Liu, S., Chai, B., Cao, D., Wang, Y., Zhao, X. (2016). Enhanced Photoelectrocatalytic Decomplexation of Cu–EDTA and Cu Recovery by Persulfate Activated by UV and Cathodic Reduction. *Environmental Science & Technology*, 50 (12), 6459–6466. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00632>
 20. Yatskov, M. V., Korchyk, N. M., Shchuhailov, V. S., Mysina, O. I. (2001). Pat. No. 35505 A UA. Sposib ochyshchennia stichnykh vod vyrobnytstva drukovanykh plat vid orhanichnykh domishok. No. 99105840; declared: 26.10.1999; published: 15.03.2001. Available at: https://base.nipo.gov.ua/search/InvRevoke/search.php?action=shows_earchresults&page=1&lang=ukr&q=claims_per_page%3D10%3Bch_0%3Don%3Bqe0%3D35505%3B
 21. Chan, L.-K., Wu, M.-L. (2002). Quality Function Deployment: A Comprehensive Review of Its Concepts and Methods. *Quality Engineering*, 15 (1), 23–35. <https://doi.org/10.1081/qen-120006708>
 22. Laboratorna robota No. 10 Fotometrychnyi analiz. Vyznachennia vmistu midi (II) u rozch (2020). *Analitichna khimiya*. Chernihiv: NU «Chernihivska politehnika», 59–64. Available at: <https://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/20292/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%20%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F..pdf?sequence=1&isAllowed=y/>
 23. Korchyk, N. M., Budenkova, N. M., Sen, O. M. (2013). Elektrokhimichni protsesy vyluchennia metaliv z vidkhodiv halvanichnogo vyrobnytstva. *Visnyk NUVHP*, 3 (63), 133–141.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341353

INCREASING THE YIELD OF ACTIVE CHLORINE FROM CHLORINE CONCENTRATES BY IMPROVING ELECTRODIALYSIS PROCESSES (p. 52–66)

Mykola Gomelya

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <http://orcid.org/0009-0007-1221-1197>

Yana Kryzhanovska

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9747-969X>

Tetyana Shablii

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <http://orcid.org/0000-0003-3454-675X>

Olena Hlushko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8243-5707>

This study investigates processes related to processing sodium chloride solutions at a concentration of 3.5–120 g/dm³ by electrodi-
alysis to solve the task of utilizing chlorine-containing concentrates
of membrane water desalination to obtain active chlorine.

When electrolyzing the solutions, open and sealed two-chamber
electrolyzers with an anion exchange membrane MA-41 were used. So-
lutions with NaCl were placed in the anode chamber, and the cathode
chamber was filled with NaOH solutions (200–1000 mg-equiv./dm³).

The electrolysis processes were carried out at an anode current
density of 1.67–12.5 A/dm². With an increase in the anode current
density and chloride concentration in the solution, the intensity of
chloride oxidation increases. During the anodic oxidation of chlo-
rides, hypochlorites and chlorides are formed along with the forma-
tion of chlorine in the presence of hydroxides. This confirms the ratio
of the amounts of active chlorine and oxidized chlorides.

Prolonging the electrolysis time in an open electrolyzer does not
contribute to an increase in the concentrations of oxidized chlorine in
the anolyte because of its significant degassing. At low initial chloride
concentrations (60 mg-equiv./dm³) and at low anodic current den-
sity ($J = 0.83 \text{ A/dm}^2$, 1.67 A/dm^2), the yield of sodium hypochlorite
reached 100.0–87.0%, respectively. At a current density of 4.17 A/dm^2
and the same NaCl concentration, the yield of sodium hypochlorite
decreased to 51.2%. The concentration of active chlorine in the solu-
tions did not exceed 80–90 mg-equiv./dm³.

When using a sealed two-chamber electrolyzer, the bulk of the ac-
tive chlorine was concentrated in the anolyte. To capture active chlo-
rine vapors, gases from the anode zone were passed through a NaOH
solution in the absorber. The concentrations of active chlorine in the
anolytes reached 1240–1920 mg-equiv./dm³. The degree of degassing
of active chlorine did not exceed 11–17%.

Keywords: reverse osmosis, electrodi-
alysis water purification,
active chlorine, anodic current density.

References

1. WHO Country Office in Ukraine annual report 2024 (2025). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 116.
2. Our Mission (2021). World Economic Forum.
3. Trus, I., Gomelya, M., Tverdokhib, M., Halysh, V., Radoven-
chuk, I., Benatov, D. (2022). Purification of Mine Waters Using Lime
and Aluminum Hydroxochloride. *Ecological Engineering & Envi-
ronmental Technology*, 23 (5), 169–176. <https://doi.org/10.12912/27197050/152104>
4. Trus, I. M., Gomelya, M. D. (2021). Desalination of mineralized wa-
ters using reagent methods. *Journal of Chemistry and Technologies*,
29 (3), 417–424. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v29i3.214939>
5. Pro yakist vody, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoiu (1998).
Dyrektyva Rady 98/83/IE. 03.11.1998. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60063
6. Nyangi, M. J. (2023). Simultaneous removal of chloride and hardness
from groundwater by cassava peel biosorption: Optimization and
sorption studies. *Remediation Journal*, 34 (1). <https://doi.org/10.1002/rem.21770>
7. Tsutano, K. (2022). Application of Monolithic Ion Exchange resins for
the field of Ultrapure Water. *Journal of Ion Exchange*, 33 (3), 51–55.
<https://doi.org/10.5182/jaie.33.51>
8. Koliehova, A., Trokhymenko, H., Melnychuk, S., Gomelya, M. (2019).
Treatment of Wastewater Containing a Mixture of Heavy Metal
Ions (Copper-Zinc, Copper-Nickel) using Ion-Exchange Methods.
Journal of Ecological Engineering, 20 (11), 146–151. <https://doi.org/10.12911/22998993/112746>
9. Wang, Y., Yang, S. (2019). Thermodynamic analysis of an absorption-
assisted multi-effect thermal desalination system with an extended
operating temperature range. *Desalination and Water Treatment*, 155,
370–380. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23874>

10. Safder, U., Ifaei, P., Nam, K., Rashidi, J., Yoo, C. (2018). Availability and reliability analysis of integrated reverse osmosis – forward osmosis desalination network. *Desalination and Water Treatment*, 109, 1–7. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22147>
11. Vargas, C., Bórquez, R. (2020). Evaluation of the operation seawater and brackish water desalination system using two-pass nanofiltration. *Desalination and Water Treatment*, 204, 50–58. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26287>
12. Bagastyo, A. Y., Sari, P. P. I., Direstiyani, L. C. (2020). Effect of chloride ions on the simultaneous electrodialysis and electrochemical oxidation of mature landfill leachate. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (45), 63646–63660. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11519-z>
13. Zhu, M., He, F., Feng, L., Chi, Y., Li, Y.-Y., Tian, B. (2024). Comparison of bipolar membrane electrodialysis, electrodialysis metathesis, and bipolar membrane electrodialysis multifunction for the conversion of waste Na₂SO₄: Process performance and economic analysis. *Journal of Environmental Management*, 370, 122513. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122513>
14. Gomelya, M., Kryzhanovska, Y., Makarenko, I., Shablii, T., Kyrylyuk, O. (2025). Evaluation of the efficiency of the processing of sodium chloride solutions by electrodialysis in a three-chamber electrolyzer using a high-basic anionite. *Proceedings of the NTUU “Igor Sikorsky KPI”. Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, 2, 60–69. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2025.333975>
15. Gomelya, M., Kryzhanovska, Y., Pliatsuk, Y. (2024). Production of active chlorine and sodium hypochlorite in a closed electrolyser. *Proceedings of the NTUU “Igor Sikorsky KPI”. Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, 4, 41–50. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.4.2024.319015>
16. Liu, Q., Feng, T., Zhu, S., Lu, G. (2024). Simulation study of the electrothermal field in a chloride electrolysis cell with 16 electrode pairs. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 102 (11), 3909–3921. <https://doi.org/10.1002/cjce.25281>
17. Gomelya, M., Kryzhanovska, Y. (2023). Concentration of sodium chloride solutions in the processing of concentrates for reverse osmotic water desalification. *Proceedings of the NTUU “Igor Sikorsky KPI”. Series: Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving*, 3, 85–93. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.288253>
18. Akhter, M., Habib, G., Qamar, S. U. (2018). Application of Electrodialysis in Waste Water Treatment and Impact of Fouling on Process Performance. *Journal of Membrane Science & Technology*, 8 (2). <https://doi.org/10.4172/2155-9589.1000182>
19. Martins, V. L., Ogden, M. D., Jones, M. R., Trowsdale, S. A., Hall, P. J., Jensen, H. S. (2020). Opportunities for coupled electrochemical and ion-exchange technologies to remove recalcitrant micropollutants in water. *Separation and Purification Technology*, 239, 116522. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116522>
20. Li, F., Jia, Y., Wang, M. (2024). Recovery of low-concentration waste acid by electrodialysis: Modeling and validation. *Journal of Cleaner Production*, 482, 144203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144203>
21. Gomelya, M., Kryzhanovska, Y., Shablii, T., Makarenko, I., Hlushko, O., Vember, V. (2025). Synthesis of oxidized chlorine compounds by electrodialysis using a strongly basic anion exchange resin. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26 (6), 98–107. <https://doi.org/10.12912/27197050/204068>
22. Scarazzato, T., Panossian, Z., Tenório, J. A. S., Pérez-Herranz, V., Espinosa, D. C. R. (2017). A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1590–1602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.152>
23. Wang, D., Chen, X., Luo, J., Shi, P., Zhou, Q., Li, A., Pan, Y. (2024). Comparison of chlorine and chlorine dioxide disinfection in drinking water: Evaluation of disinfection byproduct formation under equal disinfection efficiency. *Water Research*, 260, 121932. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121932>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341605

ESTABLISHING THE THERMAL CHANGES IN THE FOAM LAYER OF A BIOCOMPOSITE COATING UPON THE ADDITION OF POTASSIUM NITRATE (p. 67–76)

Yuriy TsapkoKyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0625-0783>**Aleksii Tsapko**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>**Ruslan Likhnyovskiy**Institute of Scientific Research on Civil Protection of the
National University of Civil Protection of Ukraine, Dmytrivka, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9187-9780>**Oksana Berdnyk**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>**Maryna Sukhanevych**

University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9644-2852>**Oksana Slutska**Institute of Scientific Research on Civil Protection of the
National University of Civil Protection of Ukraine, Dmytrivka, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1723-8181>**Anna Borysova**Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National
University of Civil Protection of Ukraine, Dmytrivka, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8700-0761>**Oleksandr Dotsenko**Institute of Scientific Research on Civil Protection of the
National University of Civil Protection of Ukraine, Dmytrivka, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-8733>**Anduij Lyn**

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4012-4556>**Oles Lastivka**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3670-0020>

The object of research is the fire-retardant properties of biocomposite coating for wood when potassium nitrate is added during thermal action. The problem of fire resistance of biocomposites, which is aimed at increasing the efficiency of fire protection of wooden structures, consists in the formation of fire-resistant coatings by adding inorganic compounds. Such compounds are characterized by thermal stability, reduced smoke-forming ability and toxicity of combustion products and are mostly used as synergistic additives. Therefore, the work proves that during thermal action on wood treated with biocomposite coating, intensive formation of a foam coke layer began after 62 s to a height of 16 mm, which thermally insulated the wood. Instead, after the radiation panel was exposed to a sample of wood treated with a biocomposite coating with the addition of potassium nitrate, the formation of a foam coke layer began after 48 s of thermal exposure, the height of which was 15 mm, and the temperature of the flue gases did not exceed 100°C. At the same time, chemical reactions of potassium nitrate begin in the coating with the release of carbon monoxide, with the subsequent destruction of ammonium polyphosphate, which interacts with the biopolymer. The

latter, in turn, affects the dehydration of pentaerythritol with the formation of coke, and the simultaneous decomposition of melamine causes the coke to foam. The composition of the gaseous products of thermal destruction of the biocomposite coating showed that when potassium nitrate was added, the amount of combustible gases decreased by more than 19%, and the amount of nitrogen increased by more than 10%. The practical significance is that the results obtained were taken into account when developing a fire-retardant coating for construction. Thus, there are grounds to argue about the possibility of effective protection of wood with a coating containing biopolymers.

Keywords: biocomposite coating, wood processing, coating swelling, foam coke layer, combustion products.

References

- Kwang Yin, J. J., Yew, M. C., Yew, M. K., Saw, L. H. (2019). Preparation of Intumescent Fire Protective Coating for Fire Rated Timber Door. *Coatings*, 9 (11), 738. <https://doi.org/10.3390/coatings9110738>
- Tang, G., Shang, C., Qin, Y., Lai, J. (2025). Current Advances in Flame-Retardant Performance of Tunnel Intumescent Fireproof Coatings: A Review. *Coatings*, 15 (1), 99. <https://doi.org/10.3390/coatings15010099>
- Nazrun, T., Hassan, M. K., Hasnat, M. R., Hossain, M. D., Ahmed, B., Saha, S. (2025). A Comprehensive Review on Intumescent Coatings: Formulation, Manufacturing Methods, Research Development, and Issues. *Fire*, 8 (4), 155. <https://doi.org/10.3390/fire8040155>
- Wang, F., Liu, H., Yan, L. (2021). Comparative Study of Fire Resistance and Char Formation of Intumescent Fire-Retardant Coatings Reinforced with Three Types of Shell Bio-Fillers. *Polymers*, 13 (24), 4333. <https://doi.org/10.3390/polym13244333>
- Bi, W., Tao, Z., Li, F., Nahar, Y., Jiang, C. (2025). Development of waterborne transparent intumescent coatings for timber buildings: Influence of phosphoric acid ratio. *Construction and Building Materials*, 493, 143225. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143225>
- Faryal, S., Zafar, M., Nazir, M. S., Ali, Z., Hussain, M., Muhammad Imran, S. (2022). The Synergic Effect of Primary and Secondary Flame Retardants on the Improvement in the Flame Retardant and Mechanical Properties of Thermoplastic Polyurethane Nanocomposites. *Applied Sciences*, 12 (21), 10866. <https://doi.org/10.3390/app122110866>
- Ai, L., Chen, S., Zeng, J., Yang, L., Liu, P. (2019). Synergistic Flame Retardant Effect of an Intumescent Flame Retardant Containing Boron and Magnesium Hydroxide. *ACS Omega*, 4 (2), 3314–3321. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03333>
- Wang, G., Li, W., Bai, S., Wang, Q. (2019). Synergistic Effects of Flame Retardants on the Flammability and Foamability of PS Foams Prepared by Supercritical Carbon Dioxide Foaming. *ACS Omega*, 4 (5), 9306–9315. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00321>
- Lin, F., Zhang, M., Li, X., Mao, S., Wei, Y. (2022). Synergistic Effects of Diatoms on Intumescent Flame Retardant High Impact Polystyrene System. *Polymers*, 14 (20), 4453. <https://doi.org/10.3390/polym14204453>
- Li, L., Shao, X., Zhao, Z., Liu, X., Jiang, L., Huang, K., Zhao, S. (2020). Synergistic Fire Hazard Effect of a Multifunctional Flame Retardant in Building Insulation Expandable Polystyrene through a Simple Surface-Coating Method. *ACS Omega*, 5 (1), 799–807. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03541>
- Li, L., Huang, Y., Tang, W., Zhang, Y., Qian, L. (2022). Synergistic Effect between Piperazine Pyrophosphate and Melamine Polyphosphate in Flame Retardant Coatings for Structural Steel. *Polymers*, 14 (18), 3722. <https://doi.org/10.3390/polym14183722>
- Hobson, J., Yin, G.-Z., Yu, X., Zhou, X., Prolongo, S. G., Ao, X., Wang, D.-Y. (2022). Synergistic Effect of Cerium Oxide for Improving the Fire-Retardant, Mechanical and Ultraviolet-Blocking Properties of EVA/Magnesium Hydroxide Composites. *Materials*, 15 (17), 5867. <https://doi.org/10.3390/ma15175867>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Likhnyovskiy, R., Bielikova, K., Berdnyk, O., Gavryliuk, A. et al. (2025). Establishing regularities of fire protection of wood by a composite coating with a biopolymer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (135)), 16–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.332443>
- Kryvenko, P., Tsapko, Y., Guzii, S., Kravchenko, A. (2016). Determination of the effect of fillers on the intumescent ability of the organic-inorganic coatings of building constructions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (83)), 26–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79869>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Lomaha, V., Illiuchenko, P., Berdnyk, O., Likhnyovskiy, R. et al. (2025). Establishing patterns in the formation of biocomposites for thermal insulation of building structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (136)), 56–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337401>
- Broido, A. (1969). A simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data. *Journal of Polymer Science Part A-2: Polymer Physics*, 7 (10), 1761–1773. <https://doi.org/10.1002/pol.1969.160071012>
- Tsapko, Y., Tsapko, A. (2017). Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (87)), 50–55. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102393>
- Kolya, H., Kang, C.-W. (2024). Eco-Friendly Polymer Nanocomposite Coatings for Next-Generation Fire Retardants for Building Materials. *Polymers*, 16 (14), 2045. <https://doi.org/10.3390/polym16142045>
- Tsapko, Y., Tkachenko, T., Tsapko, A., Likhnyovskiy, R., Sukhaneych, M., Bereznutska, Y. et al. (2024). Defining patterns in the fire protection of wood with reactive coating. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (132)), 55–63. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317334>
- Yan, Y., Dong, S., Jiang, H., Hou, B., Wang, Z., Jin, C. (2022). Efficient and Durable Flame-Retardant Coatings on Wood Fabricated by Chitosan, Graphene Oxide, and Ammonium Polyphosphate Ternary Complexes via a Layer-by-Layer Self-Assembly Approach. *ACS Omega*, 7 (33), 29369–29379. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03624>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Likhnyovskiy, R., Shumbar, K., Slutsk, O., Berdnyk, O. et al. (2025). Establishing the rules of formation of fire-resistant biocomposites for building materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (134)), 35–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326655>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341606

BUILDING A MODEL OF WATER JET MOTION EXITING A FIRE HOSE (p. 77–86)

Oleksii Basmanov

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-6575>

Volodymyr Oliinyk

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-1775>

Oleh Zemlianskyi

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

Olexander Derevyanko

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3602-2055>

Daryna Karpova

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1692-3630>

This study investigates the process of water jet motion in the air; the subject is the trajectory of motion and the velocity vector of water droplets in a two-phase “droplets-air” flow. The task addressed is to

construct a model of water jet motion in the air, which would take into account its destruction and transformation into a stream of droplets.

A model of water jet motion in the field of gravity after exiting the fire hydrant in the area of the jet core has been built. The jet expansion coefficient was experimentally determined to be 0.016. Estimates of the jet radius, water droplet velocity, and effective radius of the jet of trapped air at the boundary of the core zone and the droplet zone were constructed. The values obtained are the initial conditions for the model of the motion of the droplet and gas phases of the jet in the droplet zone. The droplet motion was modeled by using the Lagrangian approach, within which the dynamics of the motion of individual drops were considered, described by the equations of motion in three-dimensional space taking into account the forces of aerodynamic resistance and gravity. It was assumed that the distribution of the droplet diameter obeys the Rosin-Ramler law.

A model of the motion of the gas phase of the jet was constructed, based on the equations of mass and momentum balance; it also takes into account the curvature of the jet axis due to the capture of air by drops moving under the action of gravity. The model is based on the assumption of the axisymmetric nature of the jet and the Gaussian velocity distribution in its cross section. A feature of the model is the mutual influence of the droplet and gas phases of the jet on the motion of each other: drops, losing momentum due to aerodynamic resistance, give it to the air. It is shown that drops of smaller diameter have a shorter range compared to drops of larger diameter. As a result, the water falls to the ground not at a specific point but in a certain range. In particular, for a fire hose with a diameter of 19 mm, a delivery angle of 35° to the horizon and a water pressure of (40÷70) m, the width of the range into which 90% of the water falls was (8.7÷11.0) m.

Keywords: two-phase jet, drop zone, fire hose, jet core.

References

- Rahman, F. S., Tannous, W. K., Avsar, G., Agho, K. E., Ghassempour, N., Harvey, L. A. (2023). Economic Costs of Residential Fires: A Systematic Review. *Fire*, 6 (10), 399. <https://doi.org/10.3390/fire6100399>
- Kawade, A. U., Kawade, P. A., Kaware, A. P., Kkulthe, A. A., Amune, A. C. (2022). Smart Fire Fighting Robot. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 7 (2), 157–162. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2022.7.2.0137>
- Abramov, Y., Basmanov, O., Krivtsova, V., Khyzhnyak, A. (2020). Estimating the influence of the wind exposure on the motion of an extinguishing substance. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 51–59. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001400>
- Etzold, M., Deswal, A., Chen, L., Durst, F. (2018). Break-up length of liquid jets produced by short nozzles. *International Journal of Multiphase Flow*, 99, 397–407. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2017.11.006>
- Fan, Q., Deng, Q., Liu, Q. (2024). Research and application on modeling and landing point prediction technology for water jet trajectory of fire trucks under large-scale scenarios. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72476-y>
- Hou, X., Cao, Y., Mao, W., Wang, Z., Yuan, J. (2021). Models for Predicting the Jet Trajectory and Intensity Drop Point of Fire Monitors. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 17 (5), 859–869. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2021.015967>
- Sallam, K. A., Dai, Z., Faeth, G. M. (2002). Liquid breakup at the surface of turbulent round liquid jets in still gases. *International Journal of Multiphase Flow*, 28 (3), 427–449. [https://doi.org/10.1016/s0301-9322\(01\)00067-2](https://doi.org/10.1016/s0301-9322(01)00067-2)
- Rezayat, S., Farshchi, M., Berrocal, E. (2021). High-speed imaging database of water jet disintegration Part II: Temporal analysis of the primary breakup. *International Journal of Multiphase Flow*, 145, 103807. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103807>
- Liu, X., Wang, J., Li, B., Li, W. (2018). Experimental study on jet flow characteristics of fire water monitor. *The Journal of Engineering*, 2019 (13), 150–154. <https://doi.org/10.1049/joe.2018.8950>
- Trettel, B. (2020). Reevaluating the jet breakup regime diagram. *Atomization and Sprays*, 30 (7), 517–556. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.2020033171>
- Trettel, B., Ezekoye, O. A. (2015). Theoretical Range and Trajectory of a Water Jet. Volume 7A: Fluids Engineering Systems and Technologies. <https://doi.org/10.1115/imece2015-52103>
- Zhu, J., Li, W., Lin, D., Zhao, G. (2018). Study on Water Jet Trajectory Model of Fire Monitor Based on Simulation and Experiment. *Fire Technology*, 55 (3), 773–787. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0804-1>
- Kooij, S., Sijs, R., Denn, M. M., Villermaux, E., Bonn, D. (2018). What Determines the Drop Size in Sprays? *Physical Review X*, 8 (3). <https://doi.org/10.1103/physrevx.8.031019>
- Privitera, S., Manetto, G., Pascuzzi, S., Pessina, D., Cerruto, E. (2023). Drop Size Measurement Techniques for Agricultural Sprays: A State-of-The-Art Review. *Agronomy*, 13 (3), 678. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030678>
- Salysers B. E. (2010). Spray Characteristics From Fire Hose Nozzles. University of Maryland. Available at: <https://drum.lib.umd.edu/items/bd81aff2-327f-4cfe-8047-58e5515c0396>
- Valencia, A., Zheng, Y., Marshall, A. W. (2021). A Model for Predicting the Trajectory and Structure of Firefighting Hose Streams. *Fire Technology*, 58 (2), 793–815. <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01175-1>
- Fan, X., Wang, J., Zhao, F., Li, J., Yang, T. (2018). Eulerian-Lagrangian method for liquid jet atomization in supersonic crossflow using statistical injection model. *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (2). <https://doi.org/10.1177/1687814018761295>
- Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnyaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9 (1), 9–20. <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>
- Zhang, C., Zhang, R., Dai, Z., He, B., Yao, Y. (2019). Prediction model for the water jet falling point in fire extinguishing based on a GA-BP neural network. *PLOS ONE*, 14 (9), e0221729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221729>
- Cheng, H., Zhu, J., Wang, S., Yan, K., Wang, H. (2024). A Study on Predicting the Deviation of Jet Trajectory Falling Point under the Influence of Random Wind. *Sensors*, 24 (11), 3463. <https://doi.org/10.3390/s24113463>
- Lin, Y., Ji, W., He, H., Chen, Y. (2021). Two-Stage Water Jet Landing Point Prediction Model for Intelligent Water Shooting Robot. *Sensors*, 21 (8), 2704. <https://doi.org/10.3390/s21082704>
- Vambol, S., Vambol, V., Abees Hmood Al-Khalidy, K. (2019). Experimental study of the effectiveness of water-air suspension to prevent an explosion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294 (7), 072009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072009>
- EN 15182-2. Portable equipment for projecting extinguishing agents supplied by firefighting pumps – Hand-held branchpipes for fire service use. Part 2: Combination branchpipes PN 16. Available at: <https://www.norm-splash.com/FreeDownload/115458135/DIN-EN-15182-2-2019-en.PDF>
- Abramov, Y. A., Basmanov, O. E., Salamov, J., Mikhayluk, A. A. (2018). Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 95–101. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/12>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.340754

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ БІЛЯ КАР'ЕРУ (с. 6–19)

Т. І. Русакова, К. О. Русакова, О. В. Золотько, О. В. Долженкова, Ю. В. Войтенко, О. Ю. Гунько

Об'єктом дослідження є пилове забруднення атмосферного повітря, спричинене діяльністю кар'єрів, зокрема вплив транспортного потоку на під'їзних дорогах. Проблема полягала у відсутності комплексної оцінки рівнів пилу та пов'язаних ризиків для здоров'я населення з урахуванням реальних умов експлуатації кар'єрної інфраструктури та сезонної мінливості показників.

У дослідженні проаналізовано викиди від кар'єрних розробок 2020–2024 років, що дало змогу оцінити антропогенне навантаження. Проведено вимірювання $PM_{2.5}$ і PM_{10} на під'їзній дорозі до Рибальського кар'єру (Україна), результати використано для статистичної обробки й моделювання пилового навантаження. Побудовано кореляційно-регресійні моделі впливу довкілля та транспорту, які визначили ключові фактори формування забруднення. Створено математичну модель просторового розподілу концентрацій з оцінкою ризиків для здоров'я населення. Максимальні зафіксовані концентрації PM_{10} становили 312 мкг/м^3 , що у 6,2 рази перевищує гранично допустиму норму. Урахування метеоумов, типу транспорту та інтенсивності руху дозволило кількісно оцінити внесок кожного фактору у формування пилового навантаження та визначити зони підвищеного ризику. Результати пояснюються високою чутливістю пилових концентрацій до зміни локальних умов, що підтверджено коефіцієнтами детермінації та результатами просторового моделювання. Запропонований підхід придатний для природоохоронних заходів, що зменшують вплив пилових викидів на довкілля та здоров'я населення. Його можна застосовувати для планування санітарно-захисних зон, регулювання транспорту й оптимізації логістики з урахуванням місцевих умов. Використання можливе лише за наявності метеоданих і даних про транспортний потік, що гарантує достовірність прогнозування.

Ключові слова: пилове забруднення, під'їзні дороги до кар'єру, кореляційно-регресійний аналіз, прогнозування ризиків для здоров'я, екологічна безпека.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331523

ОЦІНКА АРХІТЕКТУР ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИКИДІВ CO_2 : ПІДХОДИ TCN, LSTM ТА ГІБРИДНИЙ З ОПТИМІЗАЦІЄЮ ГІПЕРПАРАМЕТРІВ (с. 20–32)

Roni Yunis, Tengku Henny Febriana Harumy, Syahril Efendi

Об'єктом дослідження є прогнозування викидів CO_2 за допомогою моделей глибокого навчання. Проблема полягає в розробці точних моделей, здатних обробляти часові залежності та періодичні закономірності в даних CO_2 . Для вирішення цієї проблеми оцінюються три моделі глибокого навчання – часова згортоква мережа (TCN), довга короткочасна пам'ять (LSTM) та гібридна TCN-LSTM. Ці моделі оптимізовані за допомогою випадкового пошуку та байєсівської оптимізації. Результати показують, що гібридна модель TCN-LSTM, оптимізована за допомогою випадкового пошуку, працює найкраще, досягаючи MAE: 1,0269, R^2 : 0,9305 та MAPE: 4,47%. TCN чудово справляється з фіксацією періодичних закономірностей за допомогою розширених згорток, тоді як LSTM обробляє довгострокові залежності. Їхня інтеграція поєднує ці сильні сторони, підвищуючи точність. Оптимальні гіперпараметри (швидкість навчання: 0,000539, коефіцієнт відсіву: 0,5) підвищують стійкість. Випадковий пошук перевершує байєсівську оптимізацію в навігації складними просторами пошуку та уникненні локальних оптимумів. Ключові висновки включають здатність гібридної моделі враховувати короткострокову періодичність та довгострокові тенденції, а також надійність випадкового пошуку порівняно з байєсівськими методами в цьому контексті. Ці дані вдосконалюють методології прогнозування часових рядів та підтримують надійні прогностичні рамки. Практично вони допомагають екологічній політиці, енергетичному плануванню та торгівлі вуглецем, дозволяючи приймати рішення на основі даних щодо скорочення викидів. Однак, для впровадження потрібні високоякісні історичні дані та достатні обчислювальні ресурси.

Ключові слова: прогнозування CO_2 , глибоке навчання, випадковий пошук, байєсівська оптимізація, гіперпараметр, точність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341736

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ (с. 33–40)

Ruslan Kassym, Asan Baibolov, Nessipbek Alibek, Shurat Sydykov, Francisco Jurado, Gulnar Akhmetkanova, Gulfairuz Zhunisbekova, Amanzhol Tokmoldayev

Об'єктом цього дослідження є викиди парникових газів (ПГ), що утворюються у тваринництві, головним чином метану (CH_4) внаслідок кишкової ферментації та закису азоту (N_2O) внаслідок процесів управління гноєм. Проблема, що досліджується, полягає в відсутності інструментальних методів та національних програм для вимірювання та скорочення викидів від тварин, що утримуються в обмеженому просторі, що призводить до надмірного викиду метану та неефективного використання гною.

На основі даних інвентаризації результати показують, що щорічні викиди від сільського господарства становлять 20982,25 тис. тон CO_2 -екв. метану (58% від сільськогосподарських ПГ) та 15 239,72 тис. тон CO_2 -екв. закису азоту (42%), із загальною кількістю викидів 319,547 млн тон CO_2 , 2,313 млн тон CH_4 та 0,058 млн тон N_2O у 2018 році. Інтерпретація цих результатів підтверджує, що неправильне зберігання гною, застарілі технології та відсутність систем рекуперації біогазу є основними факторами, що сприяють підвищенню викидів ПГ у всьому світі.

Відмінною особливістю цього дослідження є розробка автономних кліматично чистих біоенергетичних систем, оснащених сонячними колекторами та біореакторами, які перетворюють відходи тваринного походження на біогаз та органічні добрива. Це інноваційне технологічне рішення не лише пояснює механізми скорочення викидів, але й демонструє, як тваринницькі підприємства можуть генерувати відновлювану теплову та електричну енергію, покриваючи до 80–85% своїх загальних потреб в енергії.

Практичне значення дослідження полягає в демонстрації того, як інтеграція таких біогазових технологій може покращити екологічну безпеку, зменшити залежність від викопного палива, підвищити довгострокову енергетичну стійкість та сприяти сталому розвитку сільського господарства в глобальному масштабі.

Ключові слова: енергозберігаючі технології, мікрокліматичні системи, відновлювані джерела енергії, біогазові установки, утилізація відходів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341531

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИЛУЧЕННЯ МІДІ З СУЛЬФАТНОКИСЛИХ КОНЦЕНТРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗЧИНІВ (с. 41–51)

М. В. Яцков, Н. М. Корчик, Н. М. Буденкова, О. І. Мисіна, С. В. Ковальчук

Об'єктом дослідження є концентровані модельні розчини, сульфатнокислі відпрацьовані технологічні розчини (ВТР) від операцій підготовки поверхні та покриття ряду підприємств з метою розробки уніфікованих технологій та обладнань.

Для обґрунтування основних параметрів електролізної системи в рамках системного підходу (Quality Function Deployment) показано, що незалежно від концепції і механізму електрохімічних перетворень одним із основним елементів є окисно-відновні реакції, які відбуваються як на межі електрод – розчин, так і в об'ємі розчину.

Представлені експериментальні дослідження щодо електрохімічного катодного вилучення міді з сульфатнокислих концентрованих технологічних розчинів в умовах нестаціонарного складу та зміни властивостей ВТР. Рекомендовані основні технологічні параметри процесу електролізу та розроблена установка катодного вилучення металу (міді). Для адаптації установок до зміни технологічних параметрів та уникнення утворення побічних продуктів разом із основним продуктом (міді) передбачається монтаж та демонтаж катодів і діафрагми. Для виключення вторинного забруднення ВТР пропонується відмовитися від застосування в локальних циклах реагентів на всіх стадіях очищення ВТР на користь електрохімічної технології. Наведені кінетичні дані (густина струму, витрата струму/1 моль, швидкість осадження) дозволяють розробити основні принципи контролю та регулювання процесу електролізу.

За значеннями рН та Eh можна регулювати тип осаду (фольга, осад, що включає сторонні речовини), а також визначити мету технологічного процесу (регенерація, утилізація). Рекомендовано застосовувати бездіафрагмовий електроліз в локальних циклах регенерації, а діафрагмовий електроліз – у локальних циклах утилізації.

Ключові слова: катодне вилучення, відпрацьовані технологічні розчини, технологічні параметри, діафрагмовий і бездіафрагмовий електроліз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341353

ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ АКТИВНОГО ХЛОРУ З ХЛОРМІСТКИХ КОНЦЕНТРАТИВ ВДОСКОНАЛЕННЯМ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОДІАЛІЗУ (с. 52–66)

М. Д. Гомеля, Я. П. Крижановська, Т. О. Шаблій, О. В. Глушко

Об'єктом дослідження були процеси переробки розчинів хлоридів натрію концентрацією 3,5–120 г/дм³ методом електродіалізу для вирішення проблеми утилізації хлормістких концентратів мембранного знесолення води з отриманням активного хлору.

При проведенні електролізу розчинів використовували відкриті та герметичні двокамерні електролізери із аніонообмінною мембраною МА-41. Розчини з NaCl розміщували в анодній камері, а катодну камеру наповнювали розчинами NaOH (200–1000 мг-екв/дм³).

Процеси електролізу проводили при анодній щільності струму 1,67–12,5 А/дм². Із підвищенням анодної щільності струму та концентрації хлоридів у розчині інтенсивність окиснення хлоридів зростає. При анодному окисненні хлоридів разом з утворенням хлору у присутності гідроксидів відбувається утворення гіпохлоритів та хлоридів. Це підтверджує співвідношення кількостей активного хлору та окиснених хлоридів.

Збільшення терміну електролізу у відкритому електролізері не сприяє підвищенню концентрацій окисненого хлору в аноліті через значну його дегазацію. За низьких вихідних концентрацій хлоридів (60 мг-екв/дм³) та при низькій анодній щільності струму ($J = 0,83$ А/дм², 1,67 А/дм²) вихід гіпохлориту натрію сягав відповідно 100,0–87,0%. При щільності струму 4,17 А/дм² за тієї ж концентрації NaCl вихід за струмом гіпохлориту натрію знизився до 51,2%. Концентрація активного хлору у розчинах не перевищувала 80–90 мг-екв/дм³.

При застосуванні герметичного двокамерного електролізера основна маса активного хлору концентрувалась в аноліті. Для уловлювання парів активного хлору газу з анодної зони пропускали крізь розчин NaOH в абсорбері. Концентрації активного хлору в анолітах досягали 1240–1920 мг-екв/дм³. Ступінь дегазації активного хлору не перевищував 11–17%.

Ключові слова: зворотній осмос, електродіалізне очищення води, активний хлор, анодна щільність струму.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341605**ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ЗМІНИ ШАРУ ПІНОКОКСУ БІОКОМПОЗИТНОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ДОДАВАННІ НІТРАТУ КАЛІЮ (с. 67–76)****Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, Р. В. Ліхнівський, О. Ю. Бердник, М. В. Суханевич, О. М. Слущька, А. С. Борисова, О. Г. Доценко, А. С. Лин, О. В. Ластівка**

Об'єктом досліджень є вогнезахисні властивості біокомпозитного покриття для деревини при додаванні нітрату калію під час термічної дії. Проблема вогнестійкості біокомпозитів, яка спрямована на підвищення ефективності вогнезахисту конструкцій з деревини, полягає у формуванні вогнестійких покриттів шляхом додавання неорганічних сполук. Такі сполуки характеризуються термостабільністю, зниженою димоутворювальною здатністю і токсичністю продуктів горіння та здебільшого використовуються як синергетичні добавки. Тому в роботі доведено, що при термічній дії на оброблену біокомпозитним покриттям деревину інтенсивне утворення шару пінококсу розпочалося після 62 с на висоту 16 мм, який теплоізолював деревину. Натомість, після впливу радіаційної панелі на зразок деревини, обробленої біокомпозитним покриттям з додаванням нітрату калію, утворення шару пінококсу розпочалося після 48 с термічного впливу, висота якого склала 15 мм, а температура димових газів не перевищила 100°C. При цьому у покритті розпочинаються хімічні реакції нітрату калію з виділенням оксиду вуглецю, з послідовною деструкцією поліфосфату амонію, який взаємодіє з біополімером. Та, в свою чергу, впливає на дегідратцію пентаерітриру з утворенням коксу, а одночасний розклад мелаіну спонукають кокс пінітися. Склад газоподібних продуктів термічної деструкції біокомпозитного покриття показав, що при додаванні нітрату калію, кількість горючих газів знизилась понад 19 %, а кількість азоту підвищилась понад 10%. Практичне значення полягає у тому, що отримані результати було враховано під час розроблення вогнезахисного покриття для будівництва. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість ефективного захисту деревини покриттям з наявністю біополімерів.

Ключові слова: біокомпозитне покриття, оброблення деревини, спучення покриття, шар пінококсу продукти горіння.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.341606**РОЗРОБКА МОДЕЛІ РУХУ ВОДНОГО СТРУМЕНЯ ПІСЛЯ ВИХОДУ З ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА (с. 77–86)****О. Є. Басманов, В. В. Олійник, О. М. Землянський, О. А. Дерев'янко, Д. І. Карпова**

Об'єктом дослідження є процес руху водного струменя в повітрі, а предметом дослідження – траєкторія руху і вектор швидкості крапель води у двофазному потоці «краплі-повітря». Вирішувалася проблема побудови моделі руху водного струменя в повітрі, яка б враховувала його руйнування і перетворення на потік крапель.

Побудовано модель руху водного струменя в полі сили тяжіння після виходу з пожежного ствола на ділянці існування ядра струменя. Експериментальним шляхом визначено коефіцієнт розширення струменя, величина якого склала 0,016. Побудовано оцінки радіуса струменя, швидкості крапель води і ефективного радіуса струменя захопленого повітря на межі зони ядра і крапельної зони. Отримані величини є початковими умовами для моделі руху крапельної і газової фаз струменя в крапельній зоні. Моделювання руху крапель проводилося з використанням лагранжевого підходу, в рамках якого розглядалася динаміка руху окремих крапель, описана рівняннями руху в тривимірному просторі з урахуванням сил аеродинамічного опору та гравітації. Припускалося, що розподіл діаметру крапель підкоряється закону Розіна-Рамлера.

Побудовано модель руху газової фази струменя, яка спирається на рівняння балансу маси і імпульсу, а також враховує викривлення осі струменя внаслідок захоплення повітря краплями, що рухаються під дією сили тяжіння. Модель виходить із припущення про вісесиметричність струменя і гаусів розподіл швидкості в його поперечному перерізі. Особливістю моделі є взаємний вплив крапельної і газової фаз струменя на рух одна одної: краплі, втрачаючи імпульс внаслідок аеродинамічного опору, віддають його повітрю. Показано, що краплі меншого діаметру мають меншу дальність порівняно з краплями більшого діаметру. Внаслідок цього падіння води на землю відбувається не в певній точці, а в деякому діапазоні. Зокрема, для пожежного ствола діаметром 19 мм, кута подачі 35° до горизонту і напорі води (40÷70) м ширина діапазону, в який потрапляє 90% води, склала (8,7÷11,0) м.

Ключові слова: двофазний струмінь, крапельна зона, пожежний ствол, ядро струменя.