

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358472

CONSTRUCTION OF A PARAMETERIZED ANALYTICAL MODEL FOR FULL LIFE-CYCLE EMISSIONS ASSESSMENT IN CLIMATE COMPARISON OF ENERGY SOLUTIONS FOR TRANSPORT SYSTEMS (p. 6–17)

Valeriia Kyryllova

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0738-0408>

Olena Kyryllova

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3414-7364>

This study investigates the process of assessing the climate efficiency of alternative energy solutions in transport systems within the full life-cycle Well-to-Wheel (WTW) approach.

The task addressed relates to the methodological inconsistency of climate comparison results when applying the Tank-to-Wheel (TTW) approach, which considers only operational emissions and neglects upstream components associated with the production and supply of energy resources. This leads to a systemic gap between estimated and actual full life-cycle climate effects of energy alternatives.

A parameterized analytical model of climate comparability, the WTW Climate Comparability Model (WTW-CCM), has been built to formalize the dependence of full life-cycle emissions on energy chain parameters. The structure of full life-cycle emissions is substantiated as the sum of Well-to-Tank, Tank-to-Wheel, and specific components. The model is aligned with international methodological frameworks EN 16258, the GLEC Framework, and ISO 14083.

The climate efficiency of energy solutions has been shown to be parameter-dependent and determined by the carbon intensity of the energy system and methane slip emissions. A threshold criterion in the form of a critical grid carbon intensity has been derived. It is demonstrated that electric solutions become climate-efficient only under specific parametric conditions.

The possibility of inversion of climate efficiency of alternatives has been demonstrated. The phenomenon of decarbonization investment asymmetry has been formalized; the DIAI index has been proposed for the quantitative assessment of distortions in investment signals. It was substantiated that different assessment boundaries (TTW and WTW) lead to the formation of incommensurable investment priorities.

The practical significance includes the application of the model for substantiating managerial and investment decisions in transport decarbonization.

Keywords: Well-to-Wheel (WTW), transport decarbonization, life-cycle emissions, decarbonization investment asymmetry, transport technologies.

References

1. Net Zero by 2050 (2021). OECD. <https://doi.org/10.1787/c8328405-en>
2. Transport. International Energy Agency (IEA). Available at: <https://www.iea.org/topics/transport>
3. BS EN 16258:2012. Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers) - (Withdrawn Standard). The British Standards Institution. Available at: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/2011-00080>

4. Global Logistics Emissions Council framework. For logistics emissions accounting and reporting (Version 3.0). Smart Freight Centre. Available at: https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_02_04_24.pdf
5. ISO 14083:2023. Greenhouse gases – Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations. Available at: <https://www.iso.org/standard/78864.html>
6. JEC well-to-tank report V5 – JEC well-to-wheels analysis – Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context (2020). European Union. <https://doi.org/10.2760/100379>
7. Bicer, Y., Dincer, I. (2018). Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles. Resources, Conservation and Recycling, 132, 141–157. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.036>
8. Ou, X., Yan, X., Zhang, X., Liu, Z. (2012). Life-cycle analysis on energy consumption and GHG emission intensities of alternative vehicle fuels in China. Applied Energy, 90 (1), 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.03.032>
9. Balcombe, P., Anderson, K., Speirs, J., Brandon, N., Hawkes, A. (2016). The Natural Gas Supply Chain: The Importance of Methane and Carbon Dioxide Emissions. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5 (1), 3–20. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00144>
10. Balcombe, P., Speirs, J. F., Brandon, N. P., Hawkes, A. D. (2018). Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon. Environmental Science: Processes & Impacts, 20 (10), 1323–1339. <https://doi.org/10.1039/c8em00414e>
11. Pavlenko, N., Comer, B., Zhou, Y., Clark, N., Rutherford, D. (2020). The climate implications of using LNG as a marine fuel (2020). International Council on Clean Transportation (ICCT). Available at: <https://theicct.org/publication/the-climate-implications-of-using-lng-as-a-marine-fuel/>
12. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis (2023). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
13. Kyryllova, O. V., Kyryllova, V. Yu. (2021). Dekarbonizatsiya morskoi haluzi: hlobalni initsiatyvy i lokalni diyi. Marine Power Plants and Operation 2021 (MPP&O-2021): materialy III Mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi morskoi konferentsiyi kafedry SEU i TE ONMU.
14. Kyryllova, O., Kyryllova, V. (2024). “Smart Ports” as an innovative vector of technological transformation and digitalization of ports: from idea to concept and practical implementation. Transport Development, 4 (23), 77–95. <https://doi.org/10.33082/td.2024.4-23.07>
15. Kyryllova, O. V., Kyryllova, V. Yu., Mahamadov, O. R. (2024). The concept of “Smart Port” in the context of global trends of integration of intelligent transport and information technologies in the port industry. Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 2 (5), 81–87. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.2/14>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354695

REVEALING THE BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN HONEY PLANTS AND THEIR TRANSLOCATION INTO APIPRODUCTS (p. 18–23)

Maryna Samilyk

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4826-2080>

Svetlana Tkachuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6923-1793>

Volodymyr Onoprienko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6825-1899>

Larysa Yepyk

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5160-6529>

Oleh Bakhmat

Higher Educational Institution “Podillia State University”,
 Kamenets-Podolsky, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8015-1567>

Danylo Plahthy

Higher Educational Institution “Podillia State University”,
 Kamenets-Podolsky, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2014-9748>

Tetiana Krachan

Higher Educational Institution “Podillia State University”,
 Kamenets-Podolsky, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0618-4483>

Anna Hotvianska

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3887-3192>

Dmytro Kisil

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3088-951X>

Dmytro Nahirnyy

Separated Subdivision of National University of Life
 and Environmental Sciences of Ukraine
 «Berezhany Agrotechnical Institute», Berezhany, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6789-272X>

This study quantifies the translocation factor (TF) for heavy metals transferred from wild honey plants to beekeeping products. The research area is located near the war zone, so its contamination with heavy metals is possible.

Analysis of honey plants and bee products can make it possible to establish their safety. Field studies were conducted in July 2025 in the village of Stepanivka (Ukraine). The concentration of Cd, Pb, As, as well as the TF for these heavy metals transferred from wild honey plants to beekeeping products (bee pollen and honey), were determined using generally accepted methods.

It was found that the concentration of Pb in wild honey plants is 1.64 ± 0.44 mg/kg, which exceeds the level permitted in Europe and Ukraine for plants by 5.5–8.2 times. However, in bee bread and honey, the concentration of Pb is within the normal range (0.15 ± 0.01 mg/kg and 0.09 ± 0.01 mg/kg, respectively). This indicates that pollen is less contaminated compared to vegetative parts of the plant, acting as a barrier for heavy metals, and bees have the ability to reduce the concentration of pollutants. This is also confirmed by the fact that the concentration of Pb in bee bread is higher than in honey, which may indicate the ability of bees to act as a biofilter. The same effect is observed with other toxins. The level of Cd in honey (0.007 ± 0.01 mg/kg) was lower than its concentration in bee bread (0.01 ± 0.05 mg/kg). The concentration of As in honey is also 0.1 mg/kg lower than its concentration in bee bread. At the same time, it was found that the concentration of As in wild honey plants (< 0.0001 mg/kg) is significantly lower than its concentration in beekeeping products. The highest bioaccumulation of Cd was registered in bee bread (TF = 0.13). Considering that the translocation factor of heavy metals does not exceed 1, honey and bee bread collected in the study area can be considered safe for consumption.

Keywords: bee pollen, heavy metals, translocation factor, military operations, safety of apiproductions.

References

- Girotti, S., Ghini, S., Ferri, E., Bolelli, L., Colombo, R., Serra, G. et al. (2020). Bioindicators and biomonitoring: honeybees and hive products as pollution impact assessment tools for the Mediterranean area. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5 (3). <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00204-9>
- Fuente-Ballesteros, A., Ciulu, M., Haque, S. M., Syrgabek, Y., Basaran, B. (2025). Honeybees as active bioindicators of plastic pollution: Environmental exposure, analytical strategies, and monitoring perspectives. *Science of The Total Environment*, 1003, 180722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180722>
- Glevitzky, M., Corcheș, M.-T., Popa, M., Vică, M. L. (2025). Honey as a Bioindicator: Pollution's Effects on Its Quality in Mining vs. Protected Sites. *Applied Sciences*, 15 (13), 7297. <https://doi.org/10.3390/app15137297>
- Margaon, R., Papa, G., Nicolescu, A., Cornea-Cipcigan, M., Kösoğlu, M., Topal, E., Negri, I. (2024). Environmental pollution effect on honey bees and their derived products: a comprehensive analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 32 (16), 10370–10391. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33754-4>
- Zavrtnik, S., Loborec, J., Kapelj, S., Grčić, I. (2024). Environmental Biomonitoring of Heavy and Toxic Metals Using Honeybees and Their Products – An Overview of Previous Research. *Sustainability*, 16 (19), 8526. <https://doi.org/10.3390/su16198526>
- Tong, D. Q., Gill, T. E., Sprigg, W. A., Van Pelt, R. S., Baklanov, A. A., Barker, B. M. et al. (2023). Health and Safety Effects of Airborne Soil Dust in the Americas and Beyond. *Reviews of Geophysics*, 61 (2). <https://doi.org/10.1029/2021rg000763>
- Borsuk, G., Sulborska, A., Stawiarz, E., Olszewski, K., Wiącek, D., Ramzi, N. et al. (2021). Capacity of honeybees to remove heavy metals from nectar and excrete the contaminants from their bodies. *Apidologie*, 52 (6), 1098–1111. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00890-6>
- Godebo, T. R., Stoner, H., Taylor, P., Jeuland, M. (2025). Metals in honey from bees as a proxy for environmental contamination in the United States. *Environmental Pollution*, 364, 125221. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125221>
- Demková, L., Hauptvogel, M., Oboňa, J., Bobuľská, L., Jančo, I., Harangozo, L. et al. (2024). Comprehensive assessment of mercury contamination in bees, bee products and moss and lichen bags. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 285, 117132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117132>
- Altahaan, Z., Dobsław, D. (2024). The Impact of War on Heavy Metal Concentrations and the Seasonal Variation of Pollutants in Soils of the Conflict Zone and Adjacent Areas in Mosul City. *Environments*, 11 (11), 247. <https://doi.org/10.3390/environments11110247>
- Samilyk, M. (2025). Assessment of the state of lead contamination of soil and agricultural products in the territory near the combat zone. *EUREKA: Life Sciences*, 4, 30–38. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2025.004071>
- Zolfaghari, G., Akhgari Sang Atash, Z., Sazgar, A. (2018). Baseline heavy metals in plant species from some industrial and rural areas: Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment. *MethodsX*, 5, 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.01.003>
- Tsytsiura, Ya. H., Shkatula, Yu. M., Zabarna, T. A., Pelekh, L. V. (2022). Innovatsiyi pidkhody do fitoremediatsiyi ta fitorekultyvatsiyi u suchasnykh systemakh zemlerobstva. *Vinnytsia: TOV «Druk»*, 1200. Available at: <https://repository.vsa.org/getfile.php/31038.pdf>
- Aldgini, H. M. M., Abdullah Al-Abbadi, A., Abu-Nameh, E. S. M., Alghazeer, R. O. (2019). Determination of metals as bio indicators in some selected bee pollen samples from Jordan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26 (7), 1418–1422. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.005>

15. Skrypka, G., Naidich, O., Timchenko, O., Dankevych, N. (2023). Toxicological and microbiological criteria for the safety of pollen load and propolis. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, 109, 95–102. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2023.109.15>
16. Šerevičienė, V., Zigmontienė, A., Paliulis, D. (2022). Heavy Metals in Honey Collected from Contaminated Locations: A Case of Lithuania. *Sustainability*, 14 (15), 9196. <https://doi.org/10.3390/su14159196>
17. Anderson, C. W. N., Smith, S. L., Jeyakumar, P., Thompson-Morrison, H., Cavanagh, J.-A. E. (2022). Forage crops and cadmium: How changing farming systems might impact cadmium accumulation in animals. *Science of The Total Environment*, 827, 154256. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154256>
18. Samilyk, M., Bokovets, S., Kovalenko, O., Ryzhkova, T., Hnoievyi, I., Hrinchenko, D. et al. (2025). Revealing the impact of military activities on the safety of agricultural produce. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (11 (138)), 47–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.343273>
19. Samilyk, M., Synenko, T., Bolgova, N., Lukhanin, B., Boroznets, N. (2025). Assessment of the risk of pollution of the ecosystem and agricultural products in the zone of military conflict. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (3 (85)), 23–28. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.341902>
20. Scott, S. B., Gardiner, M. M. (2025). Trace Metals in Nectar of Important Urban Pollinator Forage Plants: A Direct Exposure Risk to Pollinators and Nectar-Feeding Animals in Cities. *Ecology and Evolution*, 15 (4). <https://doi.org/10.1002/ece3.71238>
21. Tomczyk, M., Zaguła, G., Kaczmarski, M., Puchalski, C., Dżugan, M. (2023). The Negligible Effect of Toxic Metal Accumulation in the Flowers of Melliferous Plants on the Mineral Composition of Monofloral Honeys. *Agriculture*, 13 (2), 273. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020273>
22. Végh, R., Csóka, M., Sörös, C., Sipos, L. (2021). Food safety hazards of bee pollen – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 490–509. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.016>
23. Dżugan, M., Wesołowska, M., Zaguła, G., Kaczmarski, M., Czernicka, M., Puchalski, C. (2018). Honeybees (*Apis mellifera*) as a biological barrier for contamination of honey by environmental toxic metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (2). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6474-0>
24. Li, D., Liu, J., Yuan, Y., Chen, J., Mu, J. (2025). Cadmium Contaminants in Pollen and Nectar Are Variably Linked to the Growth and Foraging Behaviors of Honey Bees. *Insects*, 16 (3), 306. <https://doi.org/10.3390/insects16030306>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352324

DEFINING PATTERNS IN HEATING A REINFORCED CONCRETE COLUMN UNDER THE EFFECT OF A STANDARD FIRE TEMPERATURE REGIME (p. 24–31)

Vadym Yanishevskiy

Mobile Rescue Center ‘Odesa’
of the State Emergency Service of Ukraine
(Rapid Response Rescue Center ‘Odesa’ (SES)),
Zhrebkove vil., Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2514-6593>

Alina Perehin

National University of Civil Protection of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2062-5537>

Serhii Gonchar

National University of Civil Protection of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-7012>

Oleksandr Nuianzin

National University of Civil Protection of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073>

Oleh Zemlianskyi

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

Oleksandr Olefirenko

Ukrainian State Flight Academy, Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0034-049X>

This study investigates the process of heating a fragment of a reinforced concrete column under standard fire temperature conditions. The task addressed relates to the lack of data on temperatures at characteristic points of the cross-section of reinforced concrete columns during their heating according to the standard temperature curve, which complicates the refinement of calculation models of heat transfer and assessment of fire resistance of structures.

This paper identifies the features of heating a fragment of a reinforced concrete column based on the results of experimental tests in a small-sized fire furnace without applying mechanical load. Temperatures were recorded at six characteristic points of the cross-section of the studied sample, in particular at the level of the reinforcement, in the center of the cross-section, at the control point of the semi-diagonal, and at points close to the concrete surface. It was established that the maximum temperatures at the surface points reached 528°C, and in the reinforcement zone – 506°C, while in the central part of the cross-section they were equal to 468–487°C.

The results showed the absence of local overheating in the planes of thermocouple placement, the formation of a regular temperature gradient in the concrete cross-section during standard fire exposure. A feature of the results is the experimental determination of temperatures at several characteristic points of the column cross-section, which allows a more accurate assessment of the real temperatures in the reinforcement and concrete during a fire.

The findings are associated with the radiation-convective heat exchange between the concrete surface and the flame, as well as with the relatively low thermal conductivity and thermal inertia of the concrete material. Statistical processing of the results showed that the relative deviation of temperature values does not exceed 6.7% while the values of the Cochran Fisher and Student criteria are less than critical.

The obtained experimental data could be used to further determine the fire resistance limit of reinforced concrete columns and refine the calculation models of heat transfer.

Keywords: fire, reinforced concrete, column, fire exposure, temperature, sensors, measurements, experiment, combustion.

References

1. Nuianzin, O. (2022). Study of fire thermal effect on a reinforced concrete beam according to the results of experimental tests. *Nadzvychni sytuatsiyi: poperedzhennia ta likvidatsiya*, 6 (1), 75–84. Available at: <https://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/21044/1/Nuianzin%2025.pdf>
2. Yanishevskiy, V., Perehin, A. (2024). Algorithm for application of improved experimental and calculation method for assessing fire resistance limits of load-bearing reinforced concrete walls. *Emergency Situations: Prevention and Liquidation*, 8 (2). <https://doi.org/10.3173/1/2524.2636.2024.8.2.167.180>
3. Bai, L. L., Song, T. (2012). Failure Analysis of Reinforced Concrete Columns after High Temperature. *Applied Mechanics and Materi-*

als, 157-158, 1578-1581. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.157-158.1578>

4. Dmytrenko, Y., Donets, T., Odnolotok, K., Fesenko, O. (2021). Fire resistance assessment of RC columns with advanced calculation methods. *Building Constructions. Theory and Practice*, 8, 82-96. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.82-96>
5. Yang, D., Liu, F., Huang, S.-S., Yang, H. (2020). ISO 834 standard fire test and mechanism analysis of square tubed-reinforced-concrete columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 175, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106316>
6. Krishna, D. A., Priyadarsini, R. S., Narayanan, S. (2019). Effect of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Concrete. *Procedia Structural Integrity*, 14, 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.05.047>
7. Al-Jadiri, M. S. F., Said, A. M. I. (2023). Reinforced Concrete Columns Insulated by Different Gypsum Layers Exposed to 900°C One Side Fire Flame. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13 (5), 11586-11592. <https://doi.org/10.48084/etasr.6083>
8. Cao, V. V., Ngo, S. T. (2024). Residual axial strength of reinforced concrete columns after exposure to standard and non-standard fires. *Advances in Structural Engineering*, 27 (5), 709-721. <https://doi.org/10.1177/13694332241232048>
9. Prakash, R. S., Parthasarathi, N. (2025). Experimental and numerical study on FRP-rehabilitated RC beam-column joints at high temperature with artificial neural network. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16055-9>
10. Perehin, A., Nuianzin, O., Borysova, A., Nuianzin, V. (2022). Results of Experimental Investigations of Reinforced Concrete Wall Elements According to the Standard Temperature Mode of Fire. *Materials Science Forum*, 1066, 206-215. <https://doi.org/10.4028/p-18th69>
11. Perehin, A., Nuianzin, O., Shnal, T., Shchipets, S., Myroshnyk, O. (2023). Improvement of means for assessing fire resistance of fragments of reinforced concrete structures. Reliability and durability of railway transport engineering structure and buildings. <https://doi.org/10.1063/5.0120061>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357891

CONSTRUCTION OF A MODEL OF THE IMPACT INTERACTION BETWEEN A WATER JET AND A VERTICAL WALL (p. 32-39)

Oleksii Basmanov

National University of Civil Protection of Ukraine,
Dmytrivka vil., 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>

Oleksandr Telelym

The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1855-7346>

Dmytro Chalyy

State Emergency Service of Ukraine in Lviv Region, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7136-6582>

Iryna Chala

State Emergency Service of Ukraine in Lviv Region, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2221-7503>

Vasyl Maliarchuk

National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5435-4601>

Anastasiia Hryshchenko

National University of Civil Protection of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1035-2624>

Artem Huz

National University of Civil Protection of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8869-2423>

This work investigates the process of interaction between the droplet phase of a two-phase flow "droplet-air" and a vertical wall; the subject of this study is the trajectory of motion and characteristics of water droplets in a two-phase flow when they collide with a vertical surface. The task addressed is to reduce water losses when it is supplied by a fire hose to a vertical wall while splashing upon impact.

The droplet motion was modeled within the framework of the Lagrangian approach, in which the dynamics of each droplet were described by the equations of motion in three-dimensional space taking into account the forces of aerodynamic resistance and gravity. To take into account the stochastic nature of droplet sizes and transverse velocity components, 10^5 trajectories with diameter distribution according to the Rosin-Ramler law were simulated.

It was established that the density distribution of a water particle reaching the vertical wall has a unimodal character. With increasing water supply pressure, the fraction of water reaching the wall increases significantly, and the maximum of the distribution density becomes more pronounced. In particular, when water is supplied by a fire hose with a nozzle diameter of 19 mm at an angle of 35° from a distance of 25 m, the fraction of water that does not reach the wall decreases from 49% at a pressure of 40 m to 8% at a pressure of 70 m.

It is shown that the interaction of droplets with the wall occurs mainly under the spreading and splashing modes, while the deposition and reflection modes account for less than 1%. With increasing pressure, the fraction of spreading droplets decreases, and the fraction of splashing droplets increases. Under the splashing mode, on average, about 50% of the drop mass is lost. As a result of taking splashing into account, the water distribution density along the vertical wall changes from unimodal to bimodal, where the second maximum corresponds to the zone of predominant droplet spreading.

Keywords: two-phase jet, drop zone, fire hydrant, droplet-vertical wall interaction.

References

1. Rahman, F. S., Tannous, W. K., Avsar, G., Agho, K. E., Ghassem-pour, N., Harvey, L. A. (2023). Economic Costs of Residential Fires: A Systematic Review. *Fire*, 6 (10), 399. <https://doi.org/10.3390/fire6100399>
2. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilov, M., Krainiukov, O., Biryukov, I. et al. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>
3. Abramov, Y., Basmanov, O., Salamov, J., Mikhayluk, A., Yashchenko, O. (2019). Developing a model of tank cooling by water jets from hydraulic monitors under conditions of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 14-20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154669>
4. Vasilchenko, A., Otrosh, Y., Adamenko, N., Doronin, E., Kovalov, A. (2018). Feature of fire resistance calculation of steel structures with intumescent coating. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02036. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002036>

5. 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>
6. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finelydispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 38–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127865>
7. Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnaya, 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>
8. Salyers, B. E. (2010). *Spray Characteristics From Fire Hose Nozzles*. University of Maryland. Available at: <http://hdl.handle.net/1903/10486>
9. 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>
10. 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>
11. Basmanov, O., Oliynyk, V., Zemlianskiy, O., Derevyanko, O., Karpova, D. (2025). Building a model of water jet motion exiting a fire hose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (137)), 77–86. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341606>
12. 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>
13. Ponziani, F. A., Tinaburri, A. (2015). Water jet streams modeling for firefighting activities with the aid of CDF. *Safety and Security Engineering VI*, 1, 323–334. <https://doi.org/10.2495/safe150281>
14. Kim, H., Choi, H., Kim, D., Chung, J., Kim, H., Lee, K. (2020). Experimental study on splash phenomena of liquid jet impinging on a vertical wall. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 116, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110111>
15. Ersoy, N. E., Eslamian, M. (2020). Phenomenological study and comparison of droplet impact dynamics on a dry surface, thin liquid film, liquid film and shallow pool. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112, 109977. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2019.109977>
16. Bai, C. X., Rusche, H., Gosman, A. D. (2002). Modeling of gasoline spray impingement. *Atomization and Sprays*, 12 (1-3), 1–28. <https://doi.org/10.1615/atomizspr.v12.i1.23.10>
17. Burzynski, D. A., Roisman, I. V., Bansmer, S. E. (2020). On the splashing of high-speed drops impacting a dry surface. *Journal of Fluid Mechanics*, 892. <https://doi.org/10.1017/jfm.2020.168>
18. Subedi, K. K., Kong, S.-C., Kweon, C.-B. M. (2022). Numerical Study of Consecutive Drop/Wall Impacts Using Smoothed Particle Hydrodynamics. *International Journal of Multiphase Flow*, 151, 104060. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104060>
19. Zhai, J., Lee, S.-Y. (2023). Determination of the single droplet post-impingement pattern on a dry wall: A data-driven approach. *Results in Engineering*, 17, 100887. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100887>
20. Qian, S., Zhu, D. Z., Xu, H. (2022). Splashing generation by water jet impinging on a horizontal plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 130, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2021.110518>
21. 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>
22. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357600

ESTABLISHING THE PATTERNS OF CHANGE IN THE FIRE RESISTANCE OF TENT FABRIC DURING TREATMENT WITH POWDER PAINT (p. 40–48)

Yuriy Tsapko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0625-0783>

Aleksii Tsapko

Kyiv International University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Oksana Berdnyk

LLC «MC-Bauchemie», Berezan, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Ruslan Likhnyovskiy

Institute of Scientific Research on Civil Protection of the National University of Civil Protection of Ukraine, Dmytrivka vil., Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9187-9780>

Tetiana Nehrii

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178>

Oksana Kasianova

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5769-2496>

Stanislav Skarlat

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2967-066X>

Anduij Lyn

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4012-4556>

Yarema Velykyi

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3241-5211>

Roman Konanets

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2360-4002>

This study investigates the process that forms a fire-resistant coating based on polyester powder paint on tent fabric. The task addressed is to enable the fire resistance of tent fabric when treated with a coating based on polyester powder paint. This is important as the production of fire-resistant materials for construction is a relevant task.

It has been proven that under the influence of a burner flame on a sample of tent fabric treated with a powder coating based on polyester paint, a heat-insulating layer of foam coke of about 4 mm was formed on the surface within 15 s. However, the absence of foam coke was found in some places. A layer of foam coke with a length of more than 50 mm and a width of 20 ÷ 30 formed on the surface of a sample of tent fabric treated with a mixture of polyester powder paint and an intumescent system, while the height of the swelling exceeds 10 mm.

This refers the tent fabric to flame-retardant materials as no burning or smoldering was recorded during the temperature exposure, and the temperature did not exceed 100°C.

Studies have shown that the obtained thermogravimetric indicators make it possible to establish the rate of thermal decomposition of the coating at certain temperatures and show a qualitative assessment of thermal effects and thermal destruction of materials, which is characterized by mass loss. Thus, endothermic processes for powder polyester paint begin when 210–290°C is reached with a subsequent intense mass loss of about 70%; when an intumescent system is added, the endothermic effects shift to the region of about 300–340°C with a mass loss of less than 56%. Thus, there is reason to argue about the possibility of effectively designing operationally stable biocomposites for construction.

Keywords: tent fabric, polyester powder paint, intumescent system, fireproof coating, foam coke.

References

- Rabajczyk, A., Zielecka, M., Chmiel, M. (2025). Modern Fire-Resistant Fabrics – Requirements for Durability of Materials After Washing After a Fire. *Materials*, 19 (1), 44. <https://doi.org/10.3390/ma19010044>
- Ma, Y., Wu, Z., Qu, M., Chen, R., Guo, J., Bin, Y. (2025). Hydrophobic surface modified calcium alginate fibers for preparing flame retardant and comfortable Janus fabrics. *Carbohydrate Polymers*, 369, 124340. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.124340>
- Smith, D. L., Montemayor, M. D., Carosio, F., Grunlan, J. C. (2024). Universal intumescent polyelectrolyte complex treatment for cotton, polyester, and blends thereof. *Polymer Degradation and Stability*, 228, 110936. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.110936>
- Chen, S., Liang, F., Jin, L., Ji, C., Xu, N., Qian, K., Guo, W. (2024). A molecularly engineered fully bio-derived phosphorylated furan-based flame retardant for biomass-based fabrics. *International Journal of Biological Macromolecules*, 263, 129836. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129836>
- Aly, N. M. (2023). Fire protective textiles. *Advances in Healthcare and Protective Textiles*, 203–258. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91188-7.00007-8>
- Tamás-Bényei, P., Sántha, P. (2022). Potential applications of basalt fibre composites in thermal shielding. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148 (2), 271–279. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11799-2>
- Mohanraj, S. (2022). Effect of Natural Agents on the Mechanical and Flame Retardant Properties of Cotton Fabric–Dyeing Technique. *Journal of Testing and Evaluation*, 50 (4), 2009–2020. <https://doi.org/10.1520/jte20210773>
- Faheem, S., Nahid, N., Wiener, J., Baheti, V., Mazari, A., Militky, J. (2022). Estimation of Radiant Heat Resistance of Cotton Fabrics Treated with Bio-Based Flame Retardant. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 15 (2), 67–77. <https://doi.org/10.3993/jfbim00383>
- Zhu, W., Wang, S., Peng, W., Xu, S., Liu, J., Ma, K. et al. (2026). Scalable preparation of cottonseed meal-based flame retardants via mechanical grinding for surface modification of cotton fibers. *Applied Surface Science*, 718, 164879. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2025.164879>
- Khan, J., Shibly, M. A. H., Shahruzzaman, M., Muntasir, K. S., Khan, M., Hasan, Md. M. (2026). Evaluation of flame retardant knitted fabrics treated with nitrogen containing natural substances using Taguchi method. *Discover Applied Sciences*, 8 (2). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-08163-y>
- Ramaiah, G., Meko, R. L., Abreham, A., Negawo, T. A., Baraki, S. Y., Asfaw, D. (2025). Development of eco-friendly, flame-retardant cotton fabric via coating with calcium phosphate extracted from waste chicken bones. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 28 (1), 232–252. <https://doi.org/10.1007/s10163-025-02412-3>
- Luo, T., Zhang, X., Chen, J., Gu, M., Hu, Y., Hu, C., Liu, B. (2026). Impact of N-P flame retardants on PET fabric's fire safety: Combustion resistance and melt-dripping suppression. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 737, 139642. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2026.139642>
- 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., Bondarenko, O., Chudovska, V. (2021). Thermophysical characteristics of the formed layer of foam coke when protecting fabric from fire by a formulation based on modified phosphorus-ammonium compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233479>
- Tsapko, Y., Tsapko, A. (2018). Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (94)), 62–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Berdnyk, O., Likhnyovskiy, R., Bielikova, K., Slutska, O. et al. (2026). Establishing patterns in the formation of a fire-resistant sip panel with hemp insulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (139)), 39–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.352433>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Likhnyovskiy, R., Berdnyk, O., Sukhaneych, M., Slutska, O. et al. (2025). Establishing the thermal changes in the foam layer of a biocomposite coating upon the addition of potassium nitrate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (137)), 67–76. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341605>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2021). Defining patterns of heat transfer through the fire-protected fabric to wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (114)), 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245713>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358178

DEFINING THE PATTERNS OF WOOD FLAMMABILITY REDUCTION CONSIDERING COMBUSTION PROCESSES AND THERMAL OXIDATIVE DESTRUCTION (p. 49–59)

Volodymyr Balanyuk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0853-4229>

Viktor Pykus

Research and Testing Center “Eurostandard”, Cherylany vil., Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8850-9068>

Oleksandr Harasymyuk

Lviv Institute Interregional Academy of Personnel Management,

Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9708-9862>

Kateryna Kudrynska

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1782-5497>

Pavlo Pastukhov

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3140-1101>

Yurii Kopystynskiy

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4182-7106>

This study explores the mechanism and processes behind thermal oxidative destruction and the formation of char and pyrolysis layers in wood.

The task addressed is to establish patterns of wood combustibility and features in the formation of pyrolysis and char layers at heating in order to improve the effectiveness of fire protection.

The experimental results established that for untreated wood the average depth of the pyrolysis layer is 4 mm for birch and 7 mm for pine, while the char layer reaches 8 mm and 12 mm, respectively. When applying a fire-retardant coating, these values decrease to 1 mm (pyrolysis) and 2 mm (char) for birch, and to 2 mm (pyrolysis) and 4 mm (char) for pine. Thus, the use of fire-retardant compositions leads to a reduction in the depth of thermal oxidative destruction by 3–4 times and a significant decrease in the intensity of char formation.

The findings indicate that fire-retardant coatings modify the mechanism of thermal decomposition of wood, limit heat and mass transfer processes, reduce the release of combustible gaseous products, as well as promote the formation of a thinner but more stable protective char layer.

A quantitative relationship between the depth of pyrolysis and char layers and the type of wood (birch, pine) under surface fire-retardant treatment has been established. The results show a reduction in combustibility parameters compared to untreated samples.

The findings could be used in the design and optimization of fire-retardant compositions, as well as for improving fire protection measures for wooden structures.

Keywords: pyrolysis zone, thermal oxidative destruction, charring rate, fire-retardant coatings.

References

- Statystichni dovidky. 2025 rik. Available at: <https://dsns.gov.ua/statystichni-dovidki/2025-rik>
- Sekizawa, A., Goto, O. (2022). Challenges in Fire Protection for Cultural Property Buildings Based on the Lessons from the Shurijo Castle Fire. *Fire Technology*, 61 (3), 1079–1097. <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01330-2>
- Laban, M., Milanko, V., Kočetov Mišulić, T., Draganić, S. (2017). Fire statistics and risk analysis in wooden building structures in Serbia. *International Wood Products Journal*, 8 (2), 62–70. <https://doi.org/10.1080/20426445.2017.1309808>
- Can we learn from the heritage lost in a fire? Experiences and practices on the fire protection of historic buildings in Finland, Norway and Sweden (2004). Stockholm: Riksantikvarieämbetet. Available at: <https://www.raa.se/publicerat/9516161170.pdf>
- Mensah, R. A., Jiang, L., Renner, J. S., Xu, Q. (2022). Characterisation of the fire behaviour of wood: From pyrolysis to fire retardant mechanisms. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148 (4), 1407–1422. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11442-0>
- Berhanu, S., Hervy, M., Weiss-Hortala, E., Proudhon, H., Berger, M.-H., Chesnaud, A. et al. (2018). Advanced characterization unravels the structure and reactivity of wood-based chars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 130, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.01.024>
- Guizani, C., Jeguirim, M., Valin, S., Limousy, L., Salvador, S. (2017). Biomass Chars: The Effects of Pyrolysis Conditions on Their Morphology, Structure, Chemical Properties and Reactivity. *Energies*, 10 (6), 796. <https://doi.org/10.3390/en10060796>
- Lee, Y. X., Wang, W., Lei, Y., Xu, L., Agarwal, V., Wang, C., Yeoh, G. H. (2025). Flame-retardant coatings for wooden structures. *Progress in Organic Coatings*, 198, 108903. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108903>
- de Hoyos-Martínez, P. L., Issaoui, H., Herrera, R., Labidi, J., Charrier-El Bouhtoury, F. (2021). Wood Fireproofing Coatings Based on Bio-based Phenolic Resins. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9 (4), 1729–1740. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c07505>
- Xie, Y., Xu, J., Militz, H., Wang, F., Wang, Q., Mai, C., Xiao, Z. (2016). Thermo-oxidative decomposition and combustion behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood modified with phenol- and melamine-formaldehyde resins. *Wood Science and Technology*, 50 (6), 1125–1143. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0857-6>
- Xiao, Z., Xu, J., Mai, C., Militz, H., Wang, Q., Xie, Y. (2016). Combustion behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sapwood treated with a dispersion of aluminum oxychloride-modified silica. *Holzforschung*, 70 (12), 1165–1173. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0062>
- Lainioti, G. C., Koukoumtzis, V., Andrikopoulos, K. S., Tsantariadis, L., Östman, B., Voyiatzis, G. A., Kallitsis, J. K. (2022). Environmentally Friendly Hybrid Organic–Inorganic Halogen-Free Coatings for Wood Fire-Retardant Applications. *Polymers*, 14 (22), 4959. <https://doi.org/10.3390/polym14224959>
- Rowell, R., Pettersen, R., Tshabalala, M. (2012). Cell Wall Chemistry. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, Second Edition, 33–72. <https://doi.org/10.1201/b12487-5>
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86 (12–13), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Boerjan, W., Ralph, J., Baucher, M. (2003). Lignin Biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54 (1), 519–546. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>
- Lin, S., Qin, Y., Huang, X., Gollner, M. (2023). Use of pre-charred surfaces to improve fire performance of wood. *Fire Safety Journal*, 136, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103745>
- Commandré, J.-M., Lahmidi, H., Salvador, S., Dupassieux, N. (2011). Pyrolysis of wood at high temperature: The influence of experimental parameters on gaseous products. *Fuel Processing Technology*, 92 (5), 837–844. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.07.009>
- Turns, R. E. (2012). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw Hill. Available at: <https://dokumen.pub/an-introduction-to-combustion-concepts-and-applications-3rd-ed-978-0-07-338019-3-0-07-338019-9.html#Stephen+R.+Turns>
- Laidler, K. J. (1984). The development of the Arrhenius equation. *Journal of Chemical Education*, 61 (6), 494. <https://doi.org/10.1021/ed061p494>
- Almagro-Herrera, N., Lozano-Calvo, S., Palma, A., García, J. C., Díaz, M. J. (2024). Assessing the influence of biomass origin and fractionation methods on pyrolysis of primary biomass fractions. *Fuel*, 367, 131501. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131501>
- NIST-JANAF Thermochemical Tables. NIST. <https://doi.org/10.18434/T42S31>
- Balanyuk, V., Pykus, V. (2026). Study of the effectiveness of a complex polymer flame-retardant system based on amino-formaldehyde resins. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 363 (2), 118–124. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-15>
- Balanyuk, V. M. (2015). The effectiveness of open space fire extinguishing with flammable liquid fighting aerosols. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (77)), 4–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51399>
- Balanyuk, V., Kozyar, N., Garasyumyk, O. (2016). Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (81)), 4–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72399>
- Balanyuk, V. M., Koziar, N. M., Harasymiuk, O. I. (2016). The usage of gas and aerosol powder extinguishing mixtures for protection of incendiary mixtures. *ScienceRise*, 5 (2 (22)), 10–14. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.69333>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358472**РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЗОВАНОЇ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ПОВНОЦИКЛОВИХ ВИКИДІВ ДЛЯ КЛІМАТИЧНОГО ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ (с. 6–17)****В. Ю. Кириллова, О. В. Кириллова**

Об'єктом дослідження є процес оцінювання кліматичної ефективності альтернативних енергетичних рішень у транспортних системах у межах повноциклового підходу Well-to-Wheel (WTW).

Проблема полягає у методологічній неузгодженості результатів кліматичного порівняння при застосуванні підходу Tank-to-Wheel (TTW), який враховує лише експлуатаційні викиди та ігнорує upstream-компоненти, пов'язані з виробництвом і постачанням енергоресурсів. Це призводить до системного розриву між оціненими та фактичними повноцикловими кліматичними ефектами енергетичних альтернатив.

У роботі розроблено параметризовану аналітичну модель кліматичної порівнюваності – WTW Climate Comparability Model (WTW-CCM), що формалізує залежність повноциклових викидів від параметрів енергетичного ланцюга. Обґрунтовано структуру повноциклових викидів як суму компонентів Well-to-Tank, Tank-to-Wheel і специфічних складових. Модель узгоджена з міжнародними методологічними рамками EN 16258, GLEC Framework та ISO 14083.

Встановлено параметричну залежність кліматичної ефективності від вуглецевої інтенсивності енергосистеми та methane slip emissions. Виведено пороговий критерій у вигляді критичної вуглецевої інтенсивності електромережі. Показано, що електричні рішення є доцільними лише за визначених параметричних умов.

Продемонстровано можливість інверсії кліматичної ефективності альтернатив. Формалізовано явище інвестиційної асиметрії декарбонізації та запропоновано індекс DIAL. Обґрунтовано, що різні межі оцінювання (TTW і WTW) формують несумірні інвестиційні пріоритети.

Практичне значення полягає у застосуванні моделі для обґрунтування управлінських і інвестиційних рішень у декарбонізації транспорту.

Ключові слова: Well-to-Wheel (WTW), декарбонізація транспорту, повноциклові викиди, інвестиційна асиметрія декарбонізації, транспортні технології.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354695**ВИЯВЛЕННЯ БІОАКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У МЕДОНОСАХ ТА ЇХ ТРАНСЛОКАЦІЯ У АПІПРОДУКТИ (с. 18–23)****М. М. Самілик, С. А. Ткачук, В. П. Онопрієнко, Л. І. Єпик, О. М. Бахмат, Д. П. Плахтій, Т. М. Крачан, А. С. Готвянська, Д. О. Кисіль, Д. Б. Нагірний**

Об'єктом даного дослідження є коефіцієнт переносу важких металів (TF) із дикорослих медоносів у продукти бджільництва. Оскільки дослідна територія знаходиться поблизу зони бойових дій, можливе її забруднення важкими металами. Аналіз медоносів та апіпродуктів дозволить встановити їх безпечність. Польові дослідження проводилися у липні 2025 року у с. Степанівка (Україна). Загальноприйнятими методами визначали концентрацію Cd, Pb, As та TF цих важких металів із дикорослих медоносів до продуктів бджільництва (обніжжя бджіл та меду). Виявлено, що концентрація Pb в дикорослих медоносах становить $1,64 \pm 0,44$ мг/кг, що перевищує дозволений в Європі та Україні рівень для рослин у 5,5–8,2 рази. Проте, у бджолиному обніжжі та медові концентрація Pb знаходиться в межах норми ($0,15 \pm 0,01$ мг/кг та $0,09 \pm 0,01$ мг/кг відповідно). Це вказує на те, що пилок є менш забрудненим, порівняно з вегетативними частинами рослини, виступаючи бар'єром для важких металів, а бджоли мають здатність знижувати концентрацію забруднювачів. Підтвердженням цього є й те, що концентрація Pb в бджолиному обніжжі вища ніж у медові, що може вказувати на здатність бджіл діяти як біофільтр. Такий же ефект спостерігається із іншими токсинами. Рівень Cd в медові ($0,007 \pm 0,01$ мг/кг) був нижчий за його концентрацію в бджолиному обніжжі ($0,01 \pm 0,05$ мг/кг). Концентрація As у медові також на $0,1$ мг/кг менша за його концентрацію у бджолиному обніжжі. Разом з тим, було виявлено, що концентрація As у дикорослих медоносах ($< 0,0001$ мг/кг) значно нижча за його концентрацію в продуктах бджільництва. Найвищою була біоаккумуляція Cd у бджолиному обніжжі (TF = 0,13). Враховуючи, що коефіцієнт переносу важких металів не перевищує 1, мед та бджолине обніжжя, зібрані на дослідній території, можна вважати безпечними для вживання.

Ключові слова: пилок бджолиний, важкі метали, коефіцієнт переносу, військові дії, безпечність апіпродуктів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352324**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОГРІВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ ПРИ ВОГНЕВОМУ ВПЛИВІ СТАНДАРТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОЖЕЖІ (с. 24–31)****В. Е. Янішевський, А. В. Перегін, С. В. Гончар, О. М. Нуянзін, О. М. Землянський, О. Г. Олєфіренко**

Об'єктом дослідження є процес нагрівання фрагменту залізобетонної колони в умовах стандартного температурного режиму пожежі. Проблема полягає у недостатності даних щодо температур у характерних точках перерізу залізобетонних колон під час їх нагрівання за стандартною температурною кривою, що ускладнює уточнення розрахункових моделей теплопереносу та оцінювання вогнестійкості конструкцій.

У роботі визначено особливості прогрівання фрагмента залізобетонної колони за результатами експериментальних випробувань у малогабаритній вогневій печі без прикладення механічного навантаження. Зафіксовано температури у шести характерних точках перерізу досліджуваного зразка, зокрема на рівні арматури, у центрі перерізу, у контрольній точці напівдіагоналі та в точках, наближених до

поверхні бетону. Встановлено, що максимальні температури у поверхневих точках досягали 528°C, а у зоні арматури – 506°C, тоді як у центральній частині перерізу вони становили 468–487°C.

Отримані результати показали відсутність локальних перегрівів у площинах розміщення термопар, формування закономірного температурного градієнта в бетонному перерізі під час стандартного пожежного впливу. Особливістю отриманих результатів є експериментальне визначення температур у декількох характерних точках перерізу колони, що дозволяє більш точно оцінити реальні температури в арматурі та бетоні під час пожежі.

Пояснення отриманих результатів пов'язане з радіаційно-конвективним теплообміном між поверхнею бетону та полум'ям, а також із відносно низькою теплопровідністю і тепловою інерційністю бетонного матеріалу. Статистична обробка результатів показала, що відносне відхилення температурних значень не перевищує 6,7%, а значення критеріїв Кохрена Фішера, та Стьюдента є меншими за критичні.

Отримані експериментальні дані можуть бути використані для подальшого визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон та уточнення розрахункових моделей теплопереносу.

Ключові слова: пожежа, залізобетон, колона, вогневий вплив, температура, датчики, вимірювання, експеримент, горіння.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357891

РОЗРОБКА МОДЕЛІ УДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ВОДНОГО СТРУМЕНЯ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ СТІНКОЮ (с. 32–39)

О. Є. Басманов, В. В. Олійник, О. В. Телелим, Д. О. Чалий, І. В. Чала, В. О. Малярчук, А. А. Грищенко, А. С. Гузь

Об'єктом дослідження є процес взаємодії крапельної фази двофазного потоку «краплі-повітря» з вертикальною стінкою, а предметом дослідження – траєкторія руху і характеристики крапель води у двофазному потоці при зіткненні з вертикальною поверхнею. Розглядається проблема зменшення втрат води при її подачі пожежним стволом на вертикальну стінку внаслідок розбризкування при ударі. Моделювання руху крапель здійснювалося в рамках лагранжевого підходу, в якому динаміка кожної краплі описувалася рівняннями руху в тривимірному просторі з урахуванням сил аеродинамічного опору та гравітації. Для врахування стохастичного характеру розмірів крапель і поперечних складових швидкості проведено моделювання 10^5 траєкторій із розподілом діаметрів за законом Розіна-Рамлера.

Встановлено, що щільність розподілу частки води, яка досягає вертикальної стінки, має унімодальний характер. Зі збільшенням напору подачі води частка води, що досягає стінки, суттєво зростає, а максимум щільності розподілу стає більш вираженим. Зокрема, при подачі води пожежним стволом з діаметром насадка 19 мм під кутом 35° з відстані 25 м частка води, яка не досягає стінки, зменшується з 49% при напорі 40 м до 8% при напорі 70 м. Показано, що взаємодія крапель зі стінкою відбувається переважно в режимах розтікання та розбризкування, тоді як на режими прилипання та відбиття припадає менше 1%. Зі зростанням напору частка крапель, що розтікаються, зменшується, а частка крапель, що розбризкуються – збільшується. У режимі розбризкування в середньому втрачається близько 50% маси краплі. В результаті врахування розбризкування щільність розподілу води по вертикальній стінці переходить від унімодального до бімодального характеру, де другий максимум відповідає зоні переважного розтікання крапель.

Ключові слова: двофазний струмінь, крапельна зона, пожежний ствол, взаємодія краплі з вертикальною стінкою.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.357600

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НАМЕТОВОЇ ТКАНИНИ ПРИ ОБРОБЛЕНІ ПОРОШКОВОЮ ФАРБОЮ (с. 40–48)

Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, О. Ю. Бердник, Р. В. Ліхнівський, Т. О. Негрій, О. М. Касьянова, С. О. Скарлат, А. С. Лин, Я. Б. Великий, Р. М. Конанець

Об'єктом досліджень є процес виникнення вогнестійкого покриття на основі порошкової поліефірної фарби наметової тканини. Проблема, яка досліджувалась, полягає у забезпеченні вогнестійкості наметової тканини при обробленні покриттям на основі порошкової поліефірної фарби. Це важливо, оскільки виробництво з вогнестійких матеріалів для будівництва є актуальним. Доведено, що під впливом полум'я пальника на зразок наметової тканини, обробленої порошковим покриттям на основі поліефірної фарби, протягом 15 с на поверхні утворився теплоізолювальний шар пінококсу близько 4 мм. Але в окремих місцях виявлено відсутність пінококсу. Про те на поверхні зразка наметової тканини, обробленої сумішшю порошкової поліефірної фарби та інтумесцентної системи, утворився шар пінококсу довжиною понад 50 мм та шириною $20 \div 30$, а висота спучення становить понад 10 мм. Це відносить наметову тканину до важкогорючих матеріалів, оскільки під час температурного впливу не було зафіксовано горіння та тління, а температура не перевищила 100°C. Дослідження показали, що отримані термогравіметричні показники уможливають встановлення швидкості термічного розкладу покриття при певних температурах та показують якісне оцінювання теплових ефектів і термодеструкцію матеріалів, що характеризується втратою маси. Так, ендотермічні процеси для порошкової поліефірної фарби починаються при досягненні 210–290°C з послідовною інтенсивною втратою маси, що склала близько 70%, а при додаванні інтумесцентної системи ендотермічні ефекти зміщуються в область близько 300–340°C з втратою маси менше 56%. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість ефективного створення експлуатаційно стійких біокомпозитів для будівництва.

Ключові слова: наметова тканина, порошкова поліефірна фарба, інтумесцентна система, вогнезахисне покриття, пінококс.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358178

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗНИЖЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ДЕРЕВИНИ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ТА ТЕРМООКИСНОЇ ДЕКТРУКЦІЇ (с. 49–59)

В. М. Балажук, В. С. Пикус, Ю. О. Копистинський, П. В. Пастухов, О. І. Гарасим'юк, К. О. Кудринська

Об'єктом дослідження є механізм і процеси під час термоокисної деструкції та формування шарів обуглення та піролізу деревини.

Проблема, що вирішується, полягає у встановленні закономірностей горючості деревини та особливостей формування піролізного та вуглецевого шарів під час нагрівання з метою підвищення ефективності вогнезахисту.

Отримані результати полягають у тому, що експериментально встановлено: для необробленої деревини середня глибина піролізного шару становить 4 мм для берези та 7 мм для сосни, тоді як товщина вуглецевого шару досягає відповідно 8 мм і 12 мм. При нанесенні вогнезахисного покриття ці значення зменшуються до 1 мм (піроліз) і 2 мм (вуглецевий шар) для берези та до 2 мм (піроліз) і 4 мм (вуглецевий шар) для сосни. Таким чином, застосування вогнезахисних композицій призводить до зменшення глибини термоокиснювальної деструкції у 3–4 рази та зниження інтенсивності утворення вуглецевого шару.

Отримані результати свідчать про те, що вогнезахисні покриття змінюють механізм термічного розкладу деревини, обмежують процеси тепло- і масообміну, зменшують виділення горючих газоподібних продуктів і сприяють формуванню тоншого, але більш стабільного захисного вуглецевого шару.

Встановлено кількісну залежність між глибиною піролізного та вуглецевого шарів і породою деревини (береза, сосна) за умови поверхневої вогнезахисної обробки. Результати демонструють зниження показників горючості порівняно з необробленими зразками.

Результати можуть бути використані під час розроблення та оптимізації вогнезахисних композицій, а також для вдосконалення заходів протипожежного захисту дерев'яних конструкцій.

Ключові слова: зона піролізу, термоокиснювальна деструкція, швидкість обуглення, вогнезахисні покриття.