

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.311832

**JUSTIFICATION OF AN INNOVATIVE SYSTEM FOR THE COMPLETE BURIAL OF SOLID, HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTE (HLW) IN SPENT OPEN-PIT MINES (p. 6–28)****Aidarkhan Kaimov**Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9737-9605>**Talгат Kaiym**Military Engineering Institute of Radio Electronics  
and Communications of the Ministry of Defense  
of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3806-5606>**Suleimen Kaimov**Institute of Mechanics and Engineering  
named after academician U. A. Dzholdasbekova,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4255-6926>**Abylay Kaimov**Institute of Mechanics and Engineering  
named after academician U. A. Dzholdasbekova,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4363-142X>**Nazym Kanagatova**

Bereke Bank, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6282-5574>

The object of research is the spent open-pit mines themselves where the proposed system could be applied. The primary reason for this studying is the following circumstance: up to the present time period, in all countries of the world, no methods of HLW disposal in a storage facility has been identified that is absolutely safe for any length of time, taking into account the impact of catastrophic natural emergencies and man-made emergencies. The research was conducted to address the problem of safely managing and storing HLW, leveraging the unique characteristics of spent open-pit mines, such as their large volume and geological stability, to prevent environmental contamination and ensure long-term safety. In the article has been justified a novel approach to the burial of sarcophagus containers with solid HLW in exhausted mining pits and studied the usability of the basalt sarcophagus container. Robust materials and advanced robotic systems proposed in the article aims to address the challenges associated with long-term radioactive waste disposal effectively. The robotic systems transfer the basalt container with HLW, ensuring personnel safety by minimizing human presence near radioactive materials. In the article have been established the distribution of temperature into the multi-layered composite structure of the basalt sarcophagus with HLW from 300 °C into the inner space to 50 °C onto on the its outer suffer where the thickness of each layers (from inner to outer radius) was respectively: for lead matrix: from  $r_1=0.1$  m to  $r_2=0.2$  m; for clay layer: from  $r_2=0.2$  m to  $r_3=0.3$  m; for basalt block: from  $r_3=0.3$  m to  $r_4=0.4$  m. The findings on temperature distribution are crucial as they directly affect the performance and longevity of the basalt containment system.

**Keywords:** spent open-pit, basalt container, robotic system, radioactive waste.

**References**

1. Skrzypkowski, K., Zagórski, K., Zagórska, A., Sengani, F. (2022). Access to Deposits as a Stage of Mining Works. *Energies*, 15 (22), 8740. <https://doi.org/10.3390/en15228740>
2. Novak, A., Fesenko, E., Pavlov, Y. (2021). Improvement of technological processes for mining solid mineral resources. *Technology Audit and Production Reserves*, 5 (1 (61)), 41–45. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.240260>
3. Nehrii, S., Sakhno, S., Sakhno, I., Nehrii, T. (2018). Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (4), 115–120. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.115>
4. Skrzypkowski, K. (2021). Determination of the Backfilling Time for the Zinc and Lead Ore Deposits with Application of the BackfillCAD Model. *Energies*, 14 (11), 3186. <https://doi.org/10.3390/en14113186>
5. Iordanov, I., Novikova, Y., Simonova, Y., Korol, A., Podkopayev, Y., Kayun, O. et al. (2020). Determining stability conditions for haulage drifts protected by coal pillars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (108)), 72–81. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216530>
6. Kaimov, A., Kaimov, A., Kaimov, S., Kaiym, T., Primbetova, A., Mamyrbayev, O. et al. (2022). Development of intelligent and expert system for automation of processes of mining and transport works on the basis of satellite navigation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (116)), 13–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255720>
7. Jomartov, A., Kamal, A., Abduraimov, A. (2021). Development of a planar cable parallel robot for practical application in the educational process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 67–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237772>
8. Kaimov, A., Syrgaliyev, Y., Tuleshov, A., Kaimov, S., Kaiym, T., Kaimov, A., Primbetova, A. (2022). Creation of an innovative robot with a gripper for moving plant microshoots from the in vitro transport tank to the working tank with soil ground at the stage of their adaptation in soil ground during microclonal reproduction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 48–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253135>
9. Sirinanda, K., Brazil, M., Grossman, P., Rubinstein, H., Thomas, D. (2014). Optimally locating a junction point for an underground mine to maximise the net present value. *ANZIAM Journal*, 54, 315. <https://doi.org/10.21914/anziamj.v55i0.7791>
10. Gulik, V. I., Biland, A. B. (2012). The use of basalt, basalt fibers and modified graphite for nuclear waste repository. WM2012 Conference. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/274636200\\_The\\_Use\\_of\\_Basalt\\_Basalt\\_Fibers\\_and\\_Modified\\_Graphite\\_for\\_Nuclear\\_Waste\\_Repository](https://www.researchgate.net/publication/274636200_The_Use_of_Basalt_Basalt_Fibers_and_Modified_Graphite_for_Nuclear_Waste_Repository)
11. Kaiym, T., Chsherbinin, Y., Kaimov, S., Kaimov, A., Kaimov, A., Bakhyieva, K. (2023). Justification of the innovative design of the skip winch with a body moved by a counterweight gravity drive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (124)), 72–84. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285259>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313044

**A MECHANIZED ASSEMBLY FOR ERECTING SOIL-CEMENT BARRIERS TO PROTECT AGRICULTURAL LANDS FROM LOW-ACTIVE WASTE DURING FLOOD (p. 29–36)****Oleksandr Petrash**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8151-6460>

**Vasyl Zotsenko**

“FUNDAMENT BUD-3” LTD, Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5878-7246>

**Ruslan Petrash**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5812-4044>

**Nataliia Popovych**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6450-6332>

**Iлона Rozhko**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0646-4004>

**Karyna Danova**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1994-703X>

**Viktoriiia Malysheva**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5849-8206>

**Olha Nikitchenko**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-0772-3603>

**Mykola Moroz**

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0852-2677>

**Oleg Bogatov**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7342-7556>

The object of this study is the process of constructing a waterproof underground barrier from local soil using loess loam and medium-sized sand as an example. The values of waterproofing of soil cements on different types of soil and the norms of net labor consumption corresponding to them were obtained. The research solves the task of protecting agricultural lands in the areas of geological burials of low-level radioactive waste.

Configuration of a mechanized drilling mixing assembly for installing a waterproof barrier in the field has been proposed. Waterproofness of soil cement on clay and sandy soils was determined experimentally. The corresponding norms of the net consumption of time for manufacturing the barrier in these soils have been determined.

Units of the mechanized assembly are repairable, utilize widely available materials, parts, and mechanisms. As a result of studies on the labor intensity of the installation of soil cement, a net labor rate was established, which varies from 35 to 52 min/m<sup>3</sup> depending on the type of soil. The corresponding values of waterproofness, which ranged from W6 to W14, were determined, which substantiates the possibility of effective functioning of soil-cement underground barriers. Options for the structural solution for impenetrable barriers have been offered. The values of the obtained net time rates are explained by the high degree of mechanization of the technological process and the use of local materials.

A distinctive feature of the results is the emphasis on the data collection on the time consumption of machines and mechanisms, the characteristics of local soils under production conditions, and the use of local materials. The assembly implies using affordable and repairable units that can be serviced right in the field. Given this, the manufacturability of the proposed process was defined, confirmed by time-keeping studies.

The realm of practical application of the reported results are sites within flat areas with sandy or loess bases. Barrier solutions are designed exclusively for geological waste storage facilities under the conditions of a high level of groundwater and the presence of a waterproof layer at the base.

**Keywords:** low-level radioactive waste, soil-cement, mechanized assembly, waterproof engineering barriers, immobilization.

**References**

- Hosan, Md. I. (2017). Radioactive Waste Classification, Management and Environment. *Engineering International*, 5 (2), 53–62. <https://doi.org/10.18034/ei.v5i2.178>
- Natarajan, V., Karunanidhi, M., Raja, B. (2020). A critical review on radioactive waste management through biological techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (24), 29812–29823. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08404-0>
- Mir, B. A. (2017). Some Studies on Mechanical Behaviour of Cement Stabilized Dredged Soil from Flood Spill Channel of Jhelum River Srinagar. *Contemporary Issues in Geoenvironmental Engineering*, 386–406. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61612-4\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61612-4_32)
- Hietala, M., Geysmans, R. (2020). Social sciences and radioactive waste management: acceptance, acceptability, and a persisting socio-technical divide. *Journal of Risk Research*, 25 (4), 423–438. <https://doi.org/10.1080/13669877.2020.1864010>
- Al Nuaimi, A. H., Williams, L. G. (2022). Radioactive waste management in the UAE: Proposal for an inventory management system. *Progress in Nuclear Energy*, 146, 104140. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104140>
- Beaven, R. P., Stringfellow, A. M., Nicholls, R. J., Haigh, I. D., Kebede, A. S., Watts, J. (2020). Future challenges of coastal landfills exacerbated by sea level rise. *Waste Management*, 105, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.027>
- Gupta, A., Arora, V. K., Biswas, S. (2017). Contaminated dredged soil stabilization using cement and bottom ash for use as highway subgrade fill. *International Journal of Geo-Engineering*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0057-8>
- Chen, Z., Feng, Q., Yue, R., Chen, Z., Moselhi, O., Soliman, A. et al. (2022). Construction, renovation, and demolition waste in landfill: a review of waste characteristics, environmental impacts, and mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (31), 46509–46526. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20479-5>
- Zotsenko, M. L., Petrash, S. S., Petrash, R. V., Petrash, O. V., Popovych, N. M. (2016). Normatyvni doslidzhennia burozmishuvalnoi tekhnolohiyi vyhotovlennia gruntotsementnykh pal. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 84 (2), 219–223. Available at: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/1233>
- Zotsenko, M. L., Mykhailovska, O. V., Sivitska, S. P. (2020). Construction Features Durable Storage of Toxic Waste in Boreholes. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations*, 325–334. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_33)
- Stempkowska, A., Wójcik, Ł., Ostrowski, K. A., Gawenda, T. (2022). Low-Energy Clay–Cement Slurries Find Application as Waterproofing Membranes for Limiting the Migration of Contaminants—Case Studies in Poland. *Energies*, 16 (1), 230. <https://doi.org/10.3390/en16010230>
- Du, X., Wu, Q., Ma, Q., Tian, Y., Zhang, J. (2023). Study on Strengthening and Waterproofing Mechanism of Calcium Lignosulfonate in Silty Soil Sites. *Coatings*, 13 (8), 1402. <https://doi.org/10.3390/coatings13081402>
- Wang, M., Yang, X., Zheng, K., Chen, R. (2024). Properties and Microstructure of a Cement-Based Capillary Crystalline Waterproofing Grouting Material. *Buildings*, 14 (5), 1439. <https://doi.org/10.3390/buildings14051439>
- Brasse, K., Tracz, T., Zdeb, T., Rychlewski, P. (2018). Influence of Soil-Cement Composition on its Selected Properties. *MATEC*

Web of Conferences, 163, 06006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816306006>

15. Karpisz, I., Pyda, J., Cichy, L., Sobala, D. (2018). Study of the effect of cement amount on the soil-cement sample strength. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 365, 042061. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/365/4/042061>
16. Zotcenko, M. L., Petrash, S. S., Petrash, R. V., Petrash, O. V. (2015). Normative observations of deep soil mixing technology of soil-cement piles manufacturing. Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo, 3 (45), 212–217. Available at: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/5015>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313830**

**IDENTIFYING THE DISTRIBUTION AND SOURCE OF RIVERINE PLASTIC WASTE CONTAMINATION: CASE STUDY OF BRANTAS RIVER IN MALANG CITY (p. 37–44)**

**Wresti L. Anggayasti**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7869-0924>

**Sri Sudaryanti**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-6990-8561>

**Maya Pertiwi**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-5597-7977>

**R.S. Fitriah Nurjannah**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-9744-2579>

**Tsamara Yona Sheviyandini**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-7153-4338>

**Jaka Suryatama**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-7247-8398>

**Renung Rubiyatadji**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0004-4612-8082>

**Maharani Pertiwi Koentjoro**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2658-6401>

**Andi Kurniawan**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6301-0861>

Brantas River experiences significant pollution due to domestic and industrial wastes. This condition also causes natural disasters such as floods. Single use plastics generally made up a large portion of local wastes. However, previous studies mostly investigated plastic waste pollution and local waste management habits as separate topics. Therefore, the objects of this study are the plastic wastes in Brantas River, as microplastic particles, and the identification of its source. The assessments were based on microplastic counts, macroinvertebrate bioassessment with SIGNAL-2 index, and the quantitative data of local domestic waste management at three Stations in Malang City area. Riverine microplastic pollutant concentrations and its sources were both successfully identified and solved. The results showed that the highest riverine microplastic particles were found in Station 3. This station only had four macroinvertebrate taxa with a SIGNAL-2 score of 4.42, indicating severe degradation. Quantitative data showed that 80 % of Station 3

residents threw plastic wastes directly to Brantas River. The low macroinvertebrate counts possibly caused by ingestion of microplastic from households and small-scale enterprises which heavily utilized single use plastics to trade their goods. The first distinctive feature of this study is the comparability of the microplastic, and macroinvertebrate counts with the river degradation status. Secondly, the quantitative data can serve as complementary evidence. Practically, the obtained results can be developed into an integrated plastic waste management plan for the residents surrounding the rivers, particularly in developing countries with similar socio-cultural conditions as elaborated in this study, to maintain the ecosystem quality.

**Keywords:** riverine microplastic, macroinvertebrate SIGNAL-2 index, waste management, domestic plastic waste, small-scale industry waste.

**References**

1. Anggayasti, W. L., Salamah, L. N., Rizkymaris, A., Yamamoto, T., Kurniawan, A. (2023). The role of ion charge density and solubility in the biosorption of heavy metals by natural biofilm matrix of polluted freshwater: the cases of Mg(II), Cr(VI), and Cu(II). *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 35 (1). <https://doi.org/10.1080/26395940.2023.2220571>
2. Kurniawan, A. A., Sunardi, Hendarmawan, Ridwansyah, I. (2024). Evaluation of Watershed Carrying Capacity on Flood Management in Greater Malang East Java Indonesia. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18 (3), e07378. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-155>
3. Sudaryanti, S. (2020). Makroinvertebrata untuk indikator perencanaan pengelolaan sub daerah aliran Sungai Brantas hulu wilayah Kota Batu. Universitas Brawijaya.
4. Sudaryanti, S. (2021). Makroinvertebrata bentik untuk bioassessment kesehatan daerah aliran sungai (DAS). Malang.
5. Elias, J. D., Ijumba, J. N., Mgaya, Y. D., Mamboya, F. A. (2014). Study on Freshwater Macroinvertebrates of Some Tanzanian Rivers as a Basis for Developing Biomonitoring Index for Assessing Pollution in Tropical African Regions. *Journal of Ecosystems*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/985389>
6. Anggayasti, W. L. (2024). Local Perception and Behavior in Domestic Waste Management and Water Quality of The Brantas River, Dinoyo Ward. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 15 (2). <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2024.015.02.04>
7. Echendu, A. J. (2023). Flooding and Waste Disposal Practices of Urban Residents in Nigeria. *GeoHazards*, 4 (4), 350–366. <https://doi.org/10.3390/geohazards4040020>
8. Asmaranto, R., Fidari, J. S., Sari, R. R., Pramesti, M. Y. (2024). Storm water management model to evaluate urban inundation in Lowokwaru and Blimbing sub-catchments in the city of Malang. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1311 (1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1311/1/012063>
9. Syaiful, A., Dermawan, V., Purwati, E. (2023). Study of Flood Control Due To Land Use Change at the Estuary of Bang River, Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*, 14 (2), 114–124. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2023.014.02.2>
10. Setyaningsih, W., Hadiyanto, H., Triadi Putranto, T. (2023). Microplastic Pollution in Indonesia: The Contribution of Human Activity to the Abundance of Microplastics. *E3S Web of Conferences*, 448, 03073. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344803073>
11. Salamah, L. N., Al-Zamzami, I. M., Pramudia, Z., Susanti, Y. A. D., Dhea, L. A., Kurniawan, A. (2024). Distribution of microplastics in Lusi Island, Sidoarjo, Indonesia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1328 (1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1328/1/012012>
12. Sudaryanti, S., Herawati, E. Y. (2024). The river health of Alista River based on macroinvertebrates communities at Selorejo Village Dau Subdistrict Malang Regency. IOP Conference Series: Earth

- and Environmental Science, 1328 (1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1328/1/012008>
13. Stitz, L., Fabbro, L., Kinnear, S. (2013). Macroinvertebrate tolerance across a range of conductivities in the Isaac River catchment (Central Queensland). Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
  14. Noor, S., Tajik, O., Golzar, J. (2022). Simple Random Sampling. International Journal of Education & Language Studies, 1 (2), 78–82. <https://doi.org/10.22034/ijels.2022.162982>
  15. Wang, X., Cheng, Z. (2020). Cross-Sectional Studies. Chest, 158 (1), S65–S71. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.012>
  16. Ebere, E. C., Wirmkor, V. A., Ngozi, V. E., Chukwuemeka, I. S. (2019). Macrodebris and microplastics pollution in Nigeria: first report on abundance, distribution and composition. Environmental Analysis Health and Toxicology, 34 (4), e2019012. <https://doi.org/10.5620/eah.t.e2019012>
  17. Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., Kržan, A. (2016). Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. Journal of Visualized Experiments, 118. <https://doi.org/10.3791/55161>
  18. Belqat, B., Afzan, H. (2015). Faunistic and bibliographical inventory of the Psychodinae moth-flies of North Africa (Diptera, Psychodidae). ZooKeys, 558, 119–145. <https://doi.org/10.3897/zookeys.558.6593>
  19. DeWalt, R. E., Resh, V. H., Hilsenhoff, W. L. (2010). Diversity and Classification of Insects and Collembola. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, 587–657. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374855-3.00016-9>
  20. Gerhardt, A., de Bisthoven, L. J. (1995). Behavioural, developmental and morphological responses of Chironomus gr. thummi larvae (Diptera, Nematocera) to aquatic pollution. Journal of Aquatic Ecosystem Health, 4 (3), 205–214. <https://doi.org/10.1007/bf00116655>
  21. Glasby, C. J., Erséus, C., Martin, P. (2021). Annelids in Extreme Aquatic Environments: Diversity, Adaptations and Evolution. Diversity, 13 (2), 98. <https://doi.org/10.3390/d13020098>
  22. Anggayasti, W. L., Satrio N., W., Wardana, I. N. G., Kurniawan, A. (2022). The mechanism of pH recalibration by dissolved oxygen in alkaline modified aquaculture seawater. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (10 (119)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266012>
  23. Rico-Sánchez, A. E., Rodríguez-Romero, A. J., Sedeño-Díaz, J. E., López-López, E., Sundermann, A. (2022). Aquatic macroinvertebrate assemblages in rivers influenced by mining activities. Scientific Reports, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06869-2>
  24. Hertika, A. M. S., Sudaryanti, S., Musa, M., Amron, K., Putra, R. B. D. S., Alfari, M. A. et al. (2024). Benthic macroinvertebrates as bioindicators to detect the level of water pollution in the upstream segment of Brantas River Watershed in Malang, East Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 25 (2). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250222>
  25. Muntalif, B. S., Chazanah, N., Ilmi, F., Sari, N. E., Bagaskara, S. W. (2023). Distribution of the riverine benthic macroinvertebrate community along the citarum cascading dam system in West Java, Indonesia. Global Ecology and Conservation, 46, e02580. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02580>
  26. Pathak, G., Nichter, M., Hardon, A., Moyer, E., Latkar, A., Simbaya, J. et al. (2023). Plastic pollution and the open burning of plastic wastes. Global Environmental Change, 80, 102648. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102648>
  27. Zakiah, Riani, E., Taryono, Cordova, M. R. (2024). Microplastic contamination in water, sediment, and fish from the Kahayan River, Indonesia. Chemistry and Ecology, 40 (6), 697–720. <https://doi.org/10.1080/02757540.2024.2357205>
  28. Windsor, F. M., Tilley, R. M., Tyler, C. R., Ormerod, S. J. (2019). Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. Science of The Total Environment, 646, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.271>
  29. Parker, B., Andreou, D., Pabortsava, K., Barrow, M., Green, I. D., Britton, J. R. (2022). Microplastic loads within riverine fishes and macroinvertebrates are not predictable from ecological or morphological characteristics. Science of The Total Environment, 839, 156321. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156321>
  30. Redondo-Hasselerharm, P. E., Falahudin, D., Peeters, E. T. H. M., Koelmans, A. A. (2018). Microplastic Effect Thresholds for Freshwater Benthic Macroinvertebrates. Environmental Science & Technology, 52 (4), 2278–2286. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05367>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313629

**APPLYING HETEROGENEOUS BUILDING MATERIALS FOR THE PROTECTION OF PEOPLE AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION (p. 45–52)**

**Nataliia Burdeina**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

**Larysa Levchenko**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7227-9472>

**Iryna Korduba**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-8465>

**Sergii Shamanskyi**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6215-3438>

**Yana Biruk**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>

**Maksym Dovhanovskiy**

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2064-805X>

**Serhii Zozulya**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1192-8088>

**Andrii Klymchuk**

LIMITED LIABILITY COMPANY DK HOTEL, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1248-7316>

**Kyrylo Nikolaiev**

Interregional Academy of Personnel Management, Kyiv, Ukraine

Defence intelligence research institute, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0404-6113>

**Dmytro Osadchyi**

International Committee of the Red Cross, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>

The object of this study is the processes of shielding electromagnetic radiation by building and facing materials. The research is aimed at solving the problem of ensuring the electromagnetic safety of people by improving the composition and structures of building and facing materials.

Means for improving the electromagnetic safety of people under industrial and domestic conditions using non-homogeneous building materials have been determined. The shielding properties of reinforced concrete structures were studied. A methodology for increasing their

efficiency depending on the amplitude-frequency characteristics of the radiation that needs shielding has been devised. The efficiency of electromagnetic radiation shielding by heterogeneous dielectric building materials based on cement concrete and basalt fibers was determined. It was established that shielding through the refraction of electromagnetic waves on inhomogeneities does not give an acceptable effect. The expediency of covering basalt fibers with a conductive substance to increase the protective properties of materials was substantiated. The protective properties of flat facing material with carbonyl iron content were studied. It has been shown that the properties of materials can be effectively controlled by adjusting the filler. The material's transmission coefficient of ultra-high frequency electromagnetic radiation does not exceed 0.40, and the reflection coefficient – 0.25 with a filler content in the base of 14–15 % by volume. This makes it possible to simultaneously ensure the electromagnetic safety of people and the stable functioning of wireless communication devices. The advantage of the material is the low coefficients of reflection of electromagnetic waves, which does not lead to deterioration of the electromagnetic situation in other areas where people stay. It has been established that the addition of boron nitride to the facing material significantly increases the thermal insulation characteristics of the coating and contributes to the solution of energy saving problems. Adding a layer containing boron nitride to the material provides thermal conductivity coefficients of 0.030–0.031 W/m·K, which is better than known analogs.

**Keywords:** population protection, electromagnetic safety, electromagnetic radiation, building material, shielding efficiency.

#### References

1. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
2. Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz) (2020). *Health Physics*, 118 (5), 483–524. <https://doi.org/10.1097/hp.0000000000001210>
3. Ji, K. F., Gao, J., Cao, X., Han, J., Yang, H. (2021). Design of Ultra-wideband Low RCS Reflecting Screen Based on Phase Gradient Metasurface. *Radioengineering*, 30 (2), 314–322. <https://doi.org/10.13164/re.2021.0314>
4. Senyk, I. V., Kuryptya, Y. A., Barsukov, V. Z., Butenko, O. O., Khomenko, V. G. (2020). Development and Application of Thin Wide-Band Screening Composite Materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21 (4), 771–778. <https://doi.org/10.15330/pssc.21.4.771-778>
5. Tudose, I. V., Mouratis, K., Ionescu, O. N., Romanitan, C., Pachiuc, C., Popescu, M. et al. (2022). Novel Water-Based Paints for Composite Materials Used in Electromagnetic Shielding Applications. *Nanomaterials*, 12 (3), 487. <https://doi.org/10.3390/nano12030487>
6. Glyva, V. A., Podoltsev, A. D., Bolibrukh, B. V., Radionov, A. V. (2018). A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2018 (4), 14–18. <https://doi.org/10.15407/technd2018.04.014>
7. Caramitu, A. R., Ion, I., Bors, A. M., Tsakiris, V., Pintea, J., Caramitu, A.-M. D. (2001). Preparation and Spectroscopic Characterization of Some Hybrid Composites with Electromagnetic Shielding Properties Exposed to Different Degradation Factors. *Materiale Plastice*, 59 (4), 82–94. <https://doi.org/10.37358/mp.22.4.5627>
8. Hashimov, E., Sabziev, E., Huseynov, B., Huseynov, M. (2023). Mathematical aspects of determining the motion parameters of a target by UAV. *Advanced Information Systems*, 7 (1), 18–22. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.1.03>
9. Krasnianskyi, G., Glyva, V., Burdeina, N., Biruk, Y., Levchenko, L., Tykhenko, O. (2024). Methodology For Designing Facing Building Materials with Electromagnetic Radiation Shielding Functions. *International Journal of Conservation Science*, 15 (SI), 53–62. <https://doi.org/10.36868/ijcs.2024.si.05>
10. Glyva, V., Levchenko, L., Burdeina, N., Tkachenko, T., Twardowski, G., Biruk, Y. et al. (2024). Innovative Means of Normalizing Physical Factors the Environment in the Processes of Reconstruction and Restoration Historical Heritage Objects. *International Journal of Conservation Science*, 15 (3), 1287–1302. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.03.09>
11. Kryvenko, P. V., Kovalchuk, O. Y. (2020). Influence of Type of Alkaline Activator on Durability of Alkali Activated Concrete Using Aggregates Capable to Alkali-Silica Reaction. *Key Engineering Materials*, 864, 180–188. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.180>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313827

#### BUILDING A MODEL OF OIL TANK WATER COOLING IN THE CASE OF FIRE (p. 53–61)

**Oleksii Basmanov**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-6575>

**Volodymyr Oliinyk**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-1775>

**Kostiantyn Afanasenko**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1877-1551>

**Oleksandr Hryhorenko**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4629-1010>

**Yaroslav Kalchenko**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3482-0782>

The object of this study is the process of liquid combustion in spillage, and the subject is the temperature distribution along the wall of a vertical steel tank when it is heated under the thermal influence of fire and cooled by water. A system of equations describing the water cooling of the wall of a vertical steel tank under the conditions of the thermal effect of a fire spilling a flammable liquid has been constructed. The system consists of a heat balance equation for the tank wall, a heat balance equation for the water film flowing over the wall, and a mass balance equation for the water film. The equations take into account the radiative heat exchange with the flame, the environment, the internal space of the tank, as well as the convective heat exchange with the surrounding air, the vapor-air mixture, and the liquid inside the tank, as well as between the water film and the wall. The joint solution to the system of equations makes it possible to determine the temperature distribution along the tank wall and the water film at an arbitrary time point, as well as to determine the thickness and flow rate of the water film at a certain point.

The finite difference method was used to solve the system of heat and mass balance equations. It is shown that the insufficient intensity of water supply for cooling leads to boiling of water from the film, as a result of which the wall temperature in such areas can reach 300 °C. A delay in the supply of water, even with sufficient intensity, could lead to the establishment of a film-like mode of boiling. In such a situation, the water film is thrown away from the wall, as a result of which the part of the wall below the film boiling zone remains without cooling. The practical significance of the built model is the possibility of determining the necessary intensity of water supply for cooling the tank and the limit time for the start of cooling.

**Keywords:** flammable liquid spill, spill fire, tank heating, heat flow.

## References

- Yang, R., Khan, F., Neto, E. T., Rusli, R., Ji, J. (2020). Could pool fire alone cause a domino effect? *Reliability Engineering & System Safety*, 202, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.106976>
- Migalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 31–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727>
- 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>
- Abdolhamidzadeh, B., Abbasi, T., Rashtchian, D., Abbasi, S. A. (2011). Domino effect in process-industry accidents – An inventory of past events and identification of some patterns. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24 (5), 575–593. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.06.013>
- Amin, Md. T., Scarponi, G. E., Cozzani, V., Khan, F. (2024). Improved pool fire-initiated domino effect assessment in atmospheric tank farms using structural response. *Reliability Engineering & System Safety*, 242, 109751. <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109751>
- Reniers, G., Cozzani, V. (2013). Features of Escalation Scenarios. *Domino Effects in the Process Industries*, 30–42. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-54323-3.00003-8>
- Kustov, M. V., Kalugin, V. D., Tutunik, V. V., Tarakhno, E. V. (2019). Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 1, 92–99. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99>
- Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Kameneva, I., Taraduda, D. et al. (2020). Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*, 10 (25). <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.25.200303>
- Loboichenko, V., Strelec, V. (2018). The natural waters and aqueous solutions express-identification as element of determination of possible emergency situation. *Water and Energy International*, 61 (9), 43–50. Available at: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/10156>
- Paula, H. M. (2023). Insights from 595 tank farm fires from around the world. *Process Safety and Environmental Protection*, 171, 773–782. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.058>
- Guo, Y., Xiao, G., Wang, L., Chen, C., Deng, H., Mi, H. et al. (2023). Pool fire burning characteristics and risks under wind-free conditions: State-of-the-art. *Fire Safety Journal*, 136, 103755. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103755>
- Wang, M., Wang, J., Yu, X., Zong, R. (2023). Experimental and numerical study of the thermal response of a diesel fuel tank exposed to fire impingement. *Applied Thermal Engineering*, 227, 120334. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120334>
- Abramov, Y., Basmanov, O., Oliinik, V., Khmyrov, I., Khmyrova, A. (2022). Modeling the convective component of the heat flow from a spill fire at railway accident. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 128–138. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002702>
- Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006, 179–184. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>
- 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>
- Oliinik, V., Basmanov, O., Romanyuk, I., Rashkevich, O., Malovyk, I. (2024). Building a model of heating an oil tank under the thermal influence of a spill fire. *Ecology*, 4 (10 (130)), 21–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309731>
- Wu, Z., Hou, L., Wu, S., Wu, X., Liu, F. (2020). The time-to-failure assessment of large crude oil storage tank exposed to pool fire. *Fire Safety Journal*, 117, 103192. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103192>
- Elhelw, M., El-Shobaky, A., Attia, A., El-Maghlany, W. M. (2021). Advanced dynamic modeling study of fire and smoke of crude oil storage tanks. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 670–685. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.12.002>
- Saber, A., El-Nasr, M. A., Elbanhawy, A. Y. (2022). Generalized formulae for water cooling requirements for the fire safety of hydrocarbon storage tank farms. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 80, 104916. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104916>
- 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>
- Vorontsov, E. G., Tananaiko, Iu. M. (1972). *Teploobmen v zhidkostnykh plenkakh*. Kyiv: Tekhnika, 194.
- Shafiq, I., Hussain, M., Shafique, S., Hamayun, M. H., Mudassir, M., Nawaz, Z. et al. (2021). A comprehensive numerical design of firefighting systems for onshore petroleum installations. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 38 (9), 1768–1780. <https://doi.org/10.1007/s11814-021-0820-6>
- Abramov, Y., Basmanov, O., Oliinik, V., Khmyrov, I. (2022). Justifying the experimental method for determining the parameters of liquid infiltration in bulk material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (118)), 24–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262249>
- Ramsden, N., Abusaieda, K. A. M. (2017). A study of water cooling using different water application techniques to protect storage tank walls against thermal radiation. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 577–598. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.009>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313423

### ESTABLISHING FIRE PROTECTION PATTERNS IN WOOD USING IMPREGNATION COMPOSITIONS FROM INORGANIC SALTS (p. 62–70)

Yuriy Tsapko

The Ukrainian State Scientific Research Institute Resurs, Kyiv, Ukraine

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

Aleksii Tsapko

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068x>

Sergii Zhartovskiy

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7512-0988>

Ruslan Likhnyovskiy

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine

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

Maryna Kravchenko

The Ukrainian State Scientific Research Institute Resurs, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0428-6440>

Natalia Lialina

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9364-0925>

**Yurii Berezovskyi**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9645-2743>

**Kostiantyn Kaveryn**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9086-5953>

**Yuriy Sarapin**

National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3114-5934>

An issue related to using inorganic salts for fire protection of wood is to ensure their flame-inhibiting ability and compatibility with wood and application technology. That is why the object of research was to establish the effectiveness of inhibitory properties of mixtures of inorganic salts during interaction with the flame and enabling interplay with wood. A synergistic increase in the inhibitory capacity of mixtures of aqueous solutions of salts of diammonium phosphate and ammonium sulfate at a ratio of 2:1, and for a mixture based on orthophosphoric acid, urea, and oxyethylidenediphosphonic acid in the concentration range of 20–25 % by mass, has been proven. During the interaction of the specified mixtures with the wood surface, it was found that after application to the wood surface, the dispersed component of the free energy of the wood surface decreased to zero; instead, the polar component increased 13 times, which indicates a change in the wood surface. During the tests of wood samples on the effect of the burner flame, it was found that the untreated sample ignited on second 53, and the flame spread throughout the sample for 102 s. On the other hand, the samples treated with a mixture of an aqueous solution of phosphate and ammonium sulfate, as well as a mixture of aqueous solutions based on orthophosphoric acid and urea and oxyethylidenediphosphonic acid, did not catch fire, the flame did not spread over the surface, and the flammability index was 0. The practical significance is that the results were taken into account when designing flame retardant compositions for wood. Thus, there are reasons to assert the possibility of targeted regulation of wood protection processes through the use of mixtures of inorganic salts capable of forming a protective layer on the surface of the material that inhibits the burning of wood.

**Keywords:** phosphorous-ammonium salts, protective agents, growth in wood mass, wood surface treatment, free energy of wood surface.

**References**

- Zhao, Z., Zhang, Z., Sun, C., Xu, M., Li, B. (2024). A novel macromolecular phosphorus-nitrogen containing flame retardant for polycarbonate. *Polymer Degradation and Stability*, 220, 110648. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110648>
- Yu, M., Chu, Y., Xie, W., Fang, L., Zhang, O., Ren, M., Sun, J. (2024). Phosphorus-containing reactive compounds to prepare fire-resistant vinyl resin for composites: Effects of flame retardant structures on properties and mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 480, 148167. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.148167>
- Li, X., Ji, S., Mou, Q., Chen, Z., Li, X. (2023). Evaluation of flammability for bamboo products treated with water-soluble flame retardants. *Wood Material Science & Engineering*, 19 (2), 302–310. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2241036>
- Wang, B., Ye, R., Guo, Z., Li, J., Fang, Z., Ran, S. (2023). Thermal stability and fire safety of polycarbonate flame retarded by the brominated flame retardant and a non-antimony synergistic agent. *Journal of Polymer Research*, 30 (6). <https://doi.org/10.1007/s10965-023-03586-w>
- Yan, D., Chen, D., Tan, J., Yuan, L., Huang, Z., Zou, D. et al. (2023). Synergistic flame retardant effect of a new N-P flame retardant on poplar wood density board. *Polymer Degradation and Stability*, 211, 110331. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110331>
- Lyu, P., Hou, Y., Hu, J., Liu, Y., Zhao, L., Feng, C. et al. (2022). Composites Filled with Metal Organic Frameworks and Their Derivatives: Recent Developments in Flame Retardants. *Polymers*, 14 (23), 5279. <https://doi.org/10.3390/polym14235279>
- Liu, B., Liu, P., Ma, Z., Chola, M., Chen, M., Guo, H. et al. (2024). Chemical, pyrolysis, combustion properties and mechanism analysis of wood treated with biomass-based carrageenan-collagen modified ammonium polyphosphate. *Surfaces and Interfaces*, 46, 104121. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.104121>
- Thomas, A., Arun, M., Moinuddin, K., Joseph, P. (2020). Mechanistic Aspects of Condensed- and Gaseous-Phase Activities of Some Phosphorus-Containing Fire Retardants. *Polymers*, 12 (8), 1801. <https://doi.org/10.3390/polym12081801>
- Lahtela, V., Turku, I., Kärki, T. (2023). A review of flame protection of wooden material and future potential with nano additives. *Baltic Forestry*, 29 (2), 636. <https://doi.org/10.46490/bf636>
- Mi, Z., Chu, F., Hu, W., Hu, Y., Song, L. (2024). Eco-friendly preparation of advanced epoxy composites and their pyrolysis and flame retardant mechanisms. *Polymer Degradation and Stability*, 224, 110749. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.110749>
- Ma, C., Wang, J., Yuan, Y., Mu, X., Pan, Y. et al. (2019). An insight into gas phase flame retardant mechanisms of AHP versus ALPI in PBT: Online pyrolysis vacuum ultraviolet photoionization time-of-flight mass spectrometry. *Combustion and Flame*, 209, 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.08.020>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Likhnyovskyi, R., Sukhaneych, M., Slutskaya, O., Lialina, N., Bondarenko, O. (2024). Identifying the regularities of n-heptane flame inhibition by inorganic compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (128)), 59–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301322>
- Horbachova, O., Tsapko, Y., Mazurchuk, S., Tsapko, O. (2022). Mobile technology of thermal modification of wood. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 13 (3), 22–31. [https://doi.org/10.31548/forest.13\(3\).2022.22-31](https://doi.org/10.31548/forest.13(3).2022.22-31)
- Rekiel, E., Zdziennicka, A., Jańczuk, B. (2021). Mutual influence of ethanol and surfactin on their wetting and adhesion properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 627, 127161. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127161>
- 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., Bondarenko, O. (2019). Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (98)), 49–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163591>
- Tsapko, Y., Vasylyshyn, R., Melnyk, O., Lomaha, V., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2021). Regularities in the washing out of water-soluble phosphorus-ammonium salts from the fire-protective coatings of timber through a polyurethane shell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 51–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229458>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.311832

**ОБҐРУНТУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПОВНОГО ЗАХОРОНЕННЯ ТВЕРДИХ ВИСОКОАКТИВНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ (ВАВ) У ВІДПРАЦЬОВАНИХ КАР'ЄРАХ (с. 6–28)**

Aidarkhan Kaimov, Talgat Kaiym, Suleimen Kaimov, Abylay Kaimov, Nazym Kanagatova

Об'єктом дослідження є самі відпрацьовані кар'єри, де може бути застосована запропонована система. Основною передумовою цього дослідження є наступна обставина: до теперішнього часу в усіх країнах світу не виявлено способів захоронення ВАВ у сховищі, абсолютно безпечних протягом будь-якого часу, враховуючи вплив надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Дослідження було проведено з метою вирішення проблеми безпечного управління та зберігання ВАВ, використовуючи унікальні характеристики відпрацьованих кар'єрів, такі як їх великий об'єм і геологічна стабільність, для запобігання забрудненню навколишнього середовища та забезпечення довгострокової безпеки. У статті обґрунтовано новий підхід до захоронення контейнерів-саркофагів із твердими ВАВ у відпрацьованих виробках та досліджено можливості використання базальтового контейнера-саркофага. Надійні матеріали та вдосконалені роботизовані системи, запропоновані в статті, спрямовані на ефективне вирішення проблем, пов'язаних із довготривалим захороненням радіоактивних відходів. Роботизовані системи переміщують базальтовий контейнер з ВАВ, забезпечуючи безпеку персоналу за рахунок мінімізації перебування людини поблизу радіоактивних матеріалів. У статті встановлено розподіл температури в багат шаровій композиційній структурі базальтового саркофага з ВАВ від 300 °C у внутрішній простір до 50 °C на його зовнішню поверхню, де товщина кожного шару (від внутрішнього до зовнішнього радіуса) було відповідно: для свинцевої матриці: від  $r_1=0,1$  м до  $r_2=0,2$  м; для шару глини: від  $r_2=0,2$  м до  $r_3=0,3$  м; для базальтового блоку: від  $r_3=0,3$  м до  $r_4=0,4$  м. Висновки щодо розподілу температури мають вирішальне значення, оскільки вони безпосередньо впливають на продуктивність і довговічність системи базальтової оболонки.

**Ключові слова:** відпрацьований кар'єр, базальтовий контейнер, роботизована система, радіоактивні відходи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313044

**МЕХАНІЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЛАШТУВАННЯ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ БАР'ЄРІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ВІД НИЗЬКОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ПІД ЧАС ПАВОДКУ (с. 29–36)**

О. В. Петраш, В. М. Зоценко, Р. В. Петраш, Н. М. Попович, І. І. Рожко, К. В. Данова, В. В. Малишева, О. Ю. Нікітченко, М. О. Мороз, О. І. Богатов

Об'єктом дослідження є процес зведення водонепроникного підземного бар'єру з місцевого ґрунту на прикладі лесового суглинку та піску середньої крупності. Отримані значення водонепроникності ґрунтоцементів на різних типах ґрунту та відповідні їм норми чистої витрати праці. Дослідження вирішують проблему захисту сільськогосподарських земель в районах геологічних захоронень низькоактивних радіоактивних відходів.

Запропоновано комплектацію механізованого бурозмішувального комплексу для влаштування водонепроникного бар'єру у польових умовах. Експериментально визначено водонепроникність ґрунтоцементу на глинистому та піщаному ґрунтах. Визначено відповідні норми чистої витрати часу на виготовлення бар'єру в цих ґрунтах.

Агрегати механізованого комплексу є ремонтпридатними, використовують широко доступні матеріали, деталі та механізми. В результаті досліджень трудомісткості влаштування ґрунтоцементу встановлено чисту норму трудовитрати, яка змінює значення від 35 до 52 хв/м<sup>3</sup> в залежності від типу ґрунту. Визначені відповідні значення водонепроникності, котрі склали від W6 до W14, чим обґрунтовується можливість ефективного функціонування ґрунтоцементних підземних бар'єрів. Запропоновані варіанти конструктивного рішення непроникних бар'єрів. Значення отриманих норм чистого часу пояснюється високим ступенем механізації технологічного процесу та використанням місцевих матеріалів.

Особливістю отриманих результатів є акцент на зборі даних витрати часу роботи машин і механізмів, характеристик місцевих ґрунтів у виробничих умовах та використанні місцевих матеріалів. Комплекс передбачає використання доступних та ремонтпридатних агрегатів, котрі можна обслуговувати прямо у полі. Завдяки цьому досягнуто технологічності запропонованого процесу, що підтверджують хронометражні дослідження.

Сферою практичного застосування наведених результатів є майданчики в межах рівнинних територій з піщаними чи лесовими основами. Рішення бар'єрів передбачені виключно для геологічних сховищ відходів за умов високого рівня ґрунтових вод та наявності водотривкого шару в основі.

**Ключові слова:** низькоактивні радіоактивні відходи, ґрунтоцемент, механізований комплекс, водонепроникні інженерні бар'єри, іммобілізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313830

**ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛЕННЯ ТА ДЖЕРЕЛ РІЧКОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПЛАСТИКОВИМИ ВІДХОДАМИ: ПРИКЛАД РІЧКИ БРАНТАС У МІСТІ МАЛАНГ (с. 37–44)**

Wresti L. Anggayasti, Sri Sudaryanti, Maya Pertiwi, R.S. Fitriah Nurjannah, Tsamara Yona Sheviyandini, Jaka Suryatama, Renung Rubiyatadji, Maharani Pertiwi Koentjoro, Andi Kurniawan

Річка Брантас зазнає значного забруднення через побутові та промислові відходи. Цей стан також викликає стихійні лиха, такі як повені. Одноразовий пластик, як правило, становив значну частину місцевих відходів. Однак попередні дослідження здебіль-



шого досліджували забруднення пластиківими відходами та місцеві звички поводження з відходами як окремі теми. Таким чином, об'єктами цього дослідження є пластикові відходи в річці Брантас, як мікрочастинки пластику, та ідентифікація їх джерела. Оцінки базувалися на підрахунку мікропластику, біооцінці макробезхребетних з індексом SIGNAL-2 і кількісних даних місцевого поводження з побутовими відходами на трьох станціях у районі міста Маланг. Річкові концентрації мікропластикових забруднюючих речовин та їх джерела були успішно ідентифіковані та розкриті. Результати показали, що найбільше річкових частинок мікропластику було знайдено на станції 3. Ця станція мала лише чотири таксони макробезхребетних з балом SIGNAL-2 4,42, що вказує на серйозну деградацію. Кількісні дані показали, що 80 % мешканців станції 3 викидали пластикове сміття прямо в річку Брантас. Низька кількість макробезхребетних, ймовірно, спричинена споживанням мікропластику домогосподарствами та малими підприємствами, які активно використовують одноразовий пластик для торгівлі своїми товарами. Першою відмінною рисою цього дослідження є порівняння кількості мікропластику та макробезхребетних із станом деградації річки. По-друге, кількісні дані можуть слугувати додатковими доказами. На практиці отримані результати можуть бути застосовані в інтегрованому плані управління пластиківими відходами для мешканців, що оточують річки, особливо в країнах, що розвиваються, з подібними соціально-культурними умовами, як описано в цьому дослідженні, для підтримки якості екосистеми.

**Ключові слова:** річковий мікропластик, макробезхребетні індекс SIGNAL-2, поводження з відходами, побутові пластикові відходи, відходи малого виробництва.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313629

### ЗАСТОСУВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ (с. 45–52)

Н. Б. Бурдейна, Л. О. Левченко, І. Б. Кордуба, С. Й. Шаманський, Я. І. Бірук, М. О. Довгановський, С. В. Зозуля, А. В. Климчук, К. Д. Ніколаєв, Д. Б. Осадчий

Об'єктом дослідження є процеси екранування електромагнітних випромінювань будівельними та облицювальними матеріалами. Дослідження спрямоване на вирішення проблеми забезпечення електромагнітної безпеки населення за рахунок вдосконалення складу та конструкції будівельних та облицювальних матеріалів.

Визначено засоби підвищення електромагнітної безпеки населення у виробничих та побутових умовах з використанням неоднорідних будівельних матеріалів. Досліджено екрануючі властивості залізобетонних конструкцій. Надано методику підвищення їх ефективності у залежності від амплітудно-частотних характеристик випромінювання, яке потребує екранування. Визначено ефективність екранування електромагнітних випромінювань неоднорідними діелектричними будівельними матеріалами на основі цементобетону та базальтових волокон. Встановлено, що екранування за рахунок заломлення електромагнітних хвиль на неоднорідностях не дає прийняттого ефекту. Обґрунтовано доцільність покриття базальтових волокон провідною субстанцією для підвищення захисних властивостей матеріалів. Досліджено захисні властивості плаского облицювального матеріалу з вмістом карбонільного заліза. Показано, що регулюванням наповнювача можна ефективно керувати властивостями матеріалів. Коефіцієнт пропускання електромагнітних випромінювань ультрависоких частот матеріалом не перевищує 0,40, а коефіцієнт відбиття – 0,25 при вмісті наповнювача в основі 14–15 % за об'ємом. Це надає можливість здійснювати одночасне забезпечення електромагнітної безпеки людей та стабільного функціонування засобів бездротового зв'язку. Перевагою матеріалу є низькі коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль, що не призводить до погіршення електромагнітної обстановки у інших зонах перебування людей. Встановлено, що додавання нітриду бору в облицювальний матеріал значно підвищує термоізоляційні характеристики покриття і сприяє вирішенню задач енергозбереження. Додавання до матеріалу шару із вмістом нітриду бору забезпечує коефіцієнти теплопровідності 0,030–0,031 Вт/м·К, що краще відомих аналогів.

**Ключові слова:** захист населення, електромагнітна безпека, електромагнітне випромінювання, будівельний матеріал, ефективність екранування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313827

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОХОЛОДЖЕННЯ ВОДОЮ РЕЗЕРВУАРА З НАФТОПРОДУКТОМ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ (с. 53–61)

О. Є. Басманов, В. В. Олійник, К. А. Афанасенко, О. М. Григоренко, Я. Ю. Кальченко

Об'єктом дослідження є процес горіння рідини в розливі, а предметом дослідження – розподіл температури по стінці вертикального сталевго резервуара при його нагріві під тепловим впливом пожежі і охолодженні водою. Побудовано систему рівнянь, що описує охолодження водою стінки вертикального сталевго резервуара в умовах теплового впливу пожежі розливу горючої рідини. Система складається з рівняння теплового балансу для стінки резервуара, рівняння теплового балансу для водної плівки, що стікає по стінці, і рівняння балансу маси для водної плівки. Рівняння враховують променевий теплообмін з полум'ям, навколишнім середовищем, внутрішнім простором резервуара, а також конвекційний теплообмін з навколишнім повітрям, пароповітряною сумішшю і рідиною всередині резервуара, а також між водною плівкою і стінкою. Сумісне розв'язання системи рівнянь дозволяє визначити розподіл температури по стінці резервуара і водній плівці в довільний момент часу, а також визначити товщину і швидкість стікання водної плівки у певній точці.

Для розв'язання системи рівнянь теплового і масового балансу було застосовано метод скінчених різниць. Показано, що недостатня інтенсивність подачі води на охолодження призводить до википання води із плівки, внаслідок чого температура стінки на таких ділянках може досягати 300 °С. Затримка з подачею води, навіть при достатній інтенсивності, здатна призвести до встановлення плівкового режиму кипіння. В такій ситуації відбувається відкидання водної плівки від стінки, внаслідок чого частина стінки нижче зони плівкового кипіння залишається без охолодження. Практична значущість побудованої моделі полягає в можливості визначення необхідної інтенсивності подачі води на охолодження резервуара і граничного часу початку охолодження.

**Ключові слова:** розлив горючої рідини, пожежа розливу, нагрів резервуара, тепловий потік.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313423

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ПРОСОЧУВАЛЬНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ З НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ (с. 62–70)

Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, С. В. Жартовський, Р. В. Ліхнівський, М. В. Кравченко, Н. П. Ляліна, Ю. В. Березовський, К. О. Каверин, Ю. О. Сарапін

Проблема застосування неорганічних солей для вогнезахисту деревини полягає у забезпеченні їх інгібувальної здатності полум'я і сумісності з деревиною та технологією нанесення. Тому об'єктом досліджень було встановлено ефективності інгібувальних властивостей сумішей неорганічних солей під час взаємодії з полум'ям та забезпечення взаємозв'язку з деревиною. Доведено синергічне підвищення інгібувальної здатності сумішей водних розчинів солей діамонійфосфата та сульфату амонію при співвідношенні 2:1, та для суміші на основі ортофосфорної кислоти, карбаміду та оксіетилідендифосфонової кислоти в діапазоні концентрації 20–25 % мас. При взаємодії зазначених сумішей з поверхнею деревини встановлено, що після нанесення на поверхню деревини дисперсна складова вільної енергії поверхні деревини знизилась до нуля, натомість полярна підвищилась у 13 разів, що засвідчує про зміну поверхні деревини. Під час випробувань зразків деревини на дію полум'я пальника було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 53 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 102 с. Натомість зразки, оброблені сумішшю водного розчину фосфату та сульфату амонію, а також сумішшю водних розчинів на основі ортофосфорної кислоти і карбаміду та оксіетилідендифосфонової кислоти, не загорілися, поширення полум'я поверхнею не відбулося, індекс горючості склав 0. Практичне значення полягає в тому, що отримані результати було враховано під час розроблення вогнезахисних композицій для деревини. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів захисту деревини шляхом застосування сумішей неорганічних солей, здатних утворювати на поверхні матеріалу захисний шар, який гальмує горіння деревини.

**Ключові слова:** фосфорно-амонійні солі, захисні засоби, приріст маси деревини, оброблення поверхні деревини, вільна енергія поверхні деревини.