

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248746

**IMPROVING the PHOTOBIOREACTOR operation EFFICIENCY IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF WASTEWATER TREATMENT (p. 6–15)****Sergii Shamanskyi**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

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

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-4980>**Viktoria Khrutba**

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8121-2042>**Olena Barabash**

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5206-2922>**Iryna Shkilniuk**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8808-3570>**Anna Yakovlieva**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7618-7129>**Petro Topilnycky**

Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7770-2567>**Lesia Pavliukh**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7715-4601>

Conventional process schemes of municipal sewage water treatment, advantages, and disadvantages of the methods applied when removing biogenic elements were considered. It was shown that the existing shortcomings cause additional explicit costs and difficulties when disposing of the resulting waste. Low efficiency of the removal processes themselves causing residual concentrations of biogenic elements in the treated sewage water was also shown. A process scheme for treating municipal sewage water was proposed. It includes the use of a photobioreactor of a proposed design for the removal of biogenic elements due to the metabolism of microalgae. It was experimentally shown that the use of *Euglena gracilis* strain for removal of phosphates in initial concentrations of 4, 7, and 14 mg/dm<sup>3</sup> from sewage water is the most efficient way. It makes it possible to reduce these concentrations to residual 0...0.55 mg/dm<sup>3</sup> in four days. A 3.75...5.58 times increment of microalgae biomass during this period was also shown. A mathematical model was constructed for calculating the time of staying the sewage water and microalgae mixture in a photobioreactor to achieve the required degree of removal of biogenic elements. Based on the proposed model and experimental studies, the required time of staying in the reactor working area was calculated. It was shown that with the use of *Euglena gracilis* strain but without removal of biogenic elements at previous purification stages (process schemes including only mechanical purification), the time of mixture staying in the working zone was 37.81 hrs. With partial removal of biogenic elements at the stage of biological treatment (0.55 mg/dm<sup>3</sup> total nitrogen, 0.91 mg/dm<sup>3</sup> ammonium nitrogen, 0.44 mg/dm<sup>3</sup> phosphates), this

time was reduced to 26.66 hrs. It was found that the use of *Euglena gracilis* strain instead of *Chlorella vulgaris* (FC-16) in the removal of phosphates results in a 2-time increase in the process efficiency and a 50 % decrease in time of mixture staying in the working zone. Recommendations for calculating geometric parameters of photobioreactors of the proposed design were given for use in the process schemes.

**Keywords:** biogenic elements, microalgae, nitrates, nitrites, process scheme, phosphates, photobioreactor.

**References**

1. Nezbyrta, I. M., Shamanskyi, S. Y., Boichenko, S. V., Kharchenko, G. V. (2021). Some Problems of the Use of Microalgae for Nitrogen and Phosphorus Removal from Wastewater (a Review). *Hydrobiological Journal*, 57 (2), 62–78. doi: <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v57.i2.60>
2. Whitton, R., Ometto, F., Pidou, M., Jarvis, P., Villa, R., Jefferson, B. (2015). Microalgae for municipal wastewater nutrient remediation: mechanisms, reactors and outlook for tertiary treatment. *Environmental Technology Reviews*, 4 (1), 133–148. doi: <https://doi.org/10.1080/21622515.2015.1105308>
3. Pavliukh, L., Shamanskyi, S., Boichenko, S., Jaworski, A. (2020). Evaluation of the potential of commercial use of microalgae in the world and in Ukraine. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93 (3), 429–436. doi: <https://doi.org/10.1108/aeat-08-2020-0181>
4. Singh, R., Birru, R., Sibi, G. (2017). Nutrient Removal Efficiencies of *Chlorella vulgaris* from Urban Wastewater for Reduced Eutrophication. *Journal of Environmental Protection*, 08 (01), 1–11. doi: <https://doi.org/10.4236/jep.2017.81001>
5. Jamaian, S. S., Bakeri, N. M., Sunar, N. M., Gani, P. (2017). A Verhulst model for microalgae *Botryococcus* sp. growth and nutrient removal in wastewater. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4995886>
6. Apandi, N., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A., Gani, P., Ibrahim, A., Kassim, A. H. M. (2018). *Scenedesmus* Biomass Productivity and Nutrient Removal from Wet Market Wastewater, A Biokinetic Study. *Waste and Biomass Valorization*, 10 (10), 2783–2800. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0313-y>
7. Escudero, A., Hunter, C., Roberts, J., Helwig, K., Pahl, O. (2020). Pharmaceuticals removal and nutrient recovery from wastewaters by *Chlamydomonas acidophila*. *Biochemical Engineering Journal*, 156, 107517. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107517>
8. Zhou, W., Li, Y., Gao, Y., Zhao, H. (2017). Nutrients removal and recovery from saline wastewater by *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*, 245, 10–17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.160>
9. Wu, Y.-H., Yang, J., Hu, H.-Y., Yu, Y. (2013). Lipid-rich microalgal biomass production and nutrient removal by *Haematococcus pluvialis* in domestic secondary effluent. *Ecological Engineering*, 60, 155–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.066>
10. Travieso, L., Benitez, F., Weiland, P., Sánchez, E., Dupeyrón, R., Dominguez, A. R. (1996). Experiments on immobilization of microalgae for nutrient removal in wastewater treatments. *Bioresource Technology*, 55 (3), 181–186. doi: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00196-4](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00196-4)
11. Medvedeva, N. G., Zinovyeva, S. V., Zaytseva, T. B., Klochenko, P. D., Shevchenko, T. F. (2018). Toxicity of 4-Tert-Octylphenol and Its Biodegradation by Microalgae of the Genus *Microcys-*

- tis (Cyanoprokaryota). *Hydrobiological Journal*, 54 (3), 89–102. doi: <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v54.i3.90>
12. Tarlan, E. (2002). Effectiveness of algae in the treatment of a wood-based pulp and paper industry wastewater. *Bioresource Technology*, 84 (1), 1–5. doi: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00029-9](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00029-9)
  13. Vilson, E. V., Butko, D. A. (2019). Updating wastewater treatment technologies based on the best available technologies. *The Eurasian Scientific Journal*, 11 (4). Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN419.pdf>
  14. Revollar, S., Vilanova, R., Vega, P., Francisco, M., Meneses, M. (2020). Wastewater Treatment Plant Operation: Simple Control Schemes with a Holistic Perspective. *Sustainability*, 12 (3), 768. doi: <https://doi.org/10.3390/su12030768>
  15. Ochistka stochnyh vod s ispol'zovaniem tsentralizovannyh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskih okrugov (2015). *Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200128670>
  16. Ni, B.-J., Pan, Y., Guo, J., Viridis, B., Hu, S., Chen, X., Yuan, Z. (2016). Chapter 16. Denitrification Processes for Wastewater Treatment. *Metallobiology*, 368–418. doi: <https://doi.org/10.1039/9781782623762-00368>
  17. Zakaria, A. Y., Ali, D. A., Al-Akraa, I. M., Elsayy, H. A., Elazab, H. A. (2019). Novel Adsorbent for Industrial Wastewater Treatment Applications. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.35940/ijitee.l3223.119119>
  18. Dubovik, O. S., Markevich, R. M. (2016). Biotechnological advancement of nitrogen and phosphorus removal from city sewage. *Trudy BGTU*, 4, 232–238. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/18561>
  19. Kel', L. S. (2011). Vnedrenie tekhnologii biologicheskoy defosfotatsii UCTK. *Ekologiya proizvodstva*, 5, 75–77.
  20. Kevbrina, M. V., Gavrilin, A. M., Belov, N. A., Gazizova, N. G., Aseyeva, V. G. (2012). Acidification potential of the incoming wastewater and raw sludge at the moscow wastewater treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 10, 68–70. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18069968>
  21. Bodnar, O. I., Burega, N. V., Palchik, A. O., Viniarska, H. B., Grubinko, V. V. (2016). Optimization of chlorella vulgaris beij. Cultivation in a bioreactor of continuous action. *Biotechnologia Acta*, 9 (4), 42–49. doi: <https://doi.org/10.15407/biotech9.04.042>
  22. Pruvost, J. (2019). Cultivation of Algae in Photobioreactors for Biodiesel Production. *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*, 629–659. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816856-1.00026-9>
  23. Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., Tava, A. (2019). Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. *Agronomy*, 9 (4), 192. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
  24. Silva, C. E. de F., Gris, B., Bertucco, A. (2016). Simulation of microalgal growth in a continuous photobioreactor with sedimentation and partial biomass recycling. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 33 (4), 773–781. doi: <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20160334s20150016>
  25. Papáček, Š., Jablonský, J. J., Petera, K., Reháč, B., Matonoha, C. (2015). Modeling and Optimization of Microalgae Growth in Photobioreactors: A Multidisciplinary Problem. *Emergence, Complexity and Computation*, 277–286. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10759-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10759-2_29)
  26. Bakeri, N. M., Jamaian, S. S. (2017). A mathematical model of microalgae growth in cylindrical photobioreactor. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4995853>
  27. Mansouri, M. (2017). Predictive modeling of biomass production by *Chlorella vulgaris* in a draft-tube airlift photobioreactor. *Advances in Environmental Technology*, 2 (3), 119–126. doi: <https://doi.org/10.22104/aet.2017.433>
  28. Janoska, A., Andriopoulos, V., Wijffels, R. H., Janssen, M. (2018). Potential of a liquid foam-bed photobioreactor for microalgae cultivation. *Algal Research*, 36, 193–208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.09.029>
  29. Romanenko, V. D. (Ed.) (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevyykh vod*. Kyiv: Lohos, 408.
  30. Pavliukh, L., Shamanskyi, S. (2021). Photobioreactor for microalgae-based wastewater treatment. *Proceedings of the National Aviation University*, 87 (2), 57–64. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.87.15721>
  31. Bryankin, K. V., Utrobin, N. P., Orekhov, V. S., D'yachkova, T. P. (2006). *Obschaya himicheskaya tekhnologiya*. Ch. 2. Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 172. Available at: <https://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2006/bryankin.pdf>
  32. Kandilian, R., Taleb, A., Heredia, V., Cogne, G., Pruvost, J. (2019). Effect of light absorption rate and nitrate concentration on TAG accumulation and productivity of *Parachlorella kessleri* cultures grown in chemostat mode. *Algal Research*, 39, 101442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101442>
  33. Anpilova, Y., Lukianova, V., Trofymchuk, O. (2020). Environmental Safety of Motor Transport Enterprises within Urban Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (4), 231–236. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/119799>
  34. Choi, H.-J., Lee, S.-M. (2012). Effects of Microalgae on the Removal of Nutrients from Wastewater: Various Concentrations of *Chlorella vulgaris*. *Environmental Engineering Research*, 17 (S1), S3–S8. doi: <https://doi.org/10.4491/eer.2012.17.s1.s3>
  35. Morozova, T. V., Lukianova, V. V., Anpilova, Y. S. (2019). Conceptualization of latent ecosystem services. *Environmental Safety and Natural Resources*, 29 (1), 54–64. doi: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.1.54-64>
  36. Kharytonova, N., Khrutba, V. (2021). Classification of micropollutants sources as components of road surface runoff pollution. *Dorogi i Mosti*, 23, 251–258. doi: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.23.251>
  37. Shamanskyi, S., Boichenko, S. (2017). Environment-Friendly Technology of Airport's Sewerage. *Advances in Sustainable Aviation*, 161–175. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67134-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67134-5_11)

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248166

**INFLUENCE OF AERATION RATE AND METHOD OF PROCESS ACTIVATION ON THE DEGREE OF PURIFICATION OF ZINC-CONTAINING WASTE WATER BY FERRITIZATION (p. 16–22)**

**Bogdan Yemchura**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8079-3407>

**Gennadii Kochetov**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0041-7335>

**Dmitry Samchenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3305-8180>

**Oleksandr Kovalchuk**Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>

The aeration rate for the degree of purification of highly concentrated galvanic wastewater from zinc and ferrum ions was investigated using various activation methods. It is shown that the intensity of aeration has a significant effect on the quality of wastewater treatment and the characteristics of water treatment sludge. The efficiency of the use of an energy-saving method for activating the ferritization process with the use of electromagnetic pulses for the extraction of zinc ions from wastewater has been confirmed.

It was determined that with an increase in the aeration rate to  $3.5 \text{ dm}^3/\text{min}$  per  $1 \text{ dm}^3$  of the reaction mixture and the use of thermal activation of the process, the residual concentration of zinc ions remains within the range of  $0.12\div 0.2 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . In this case, the concentration of ferrum ions decreases to values of  $0.08\div 0.14 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . It was found that at an aeration rate of  $2.5 \text{ dm}^3/\text{min}$  and the use of pulsed electromagnetic (EMP) activation, the residual concentrations of heavy metal ions decrease to values of  $0.08\div 0.16 \text{ mg}/\text{dm}^3$ . Comparison of the results indicates the advisability of using low rates of aeration of the reaction mixture. This, together with the use of resource-saving EMR process activation, allows to achieve a significant reduction in energy costs.

The quantitative phase composition of ferritization precipitates was determined, in which the crystalline phases of zinc ferrite  $\text{Zn}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$  and magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , as well as ferrum oxyhydroxide  $\text{FeO}(\text{OH})$  and sodium sulfate  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , prevail. It is found that with an increase in the volumetric aeration rate, the proportion of the ferrite phase increases. At an aeration rate of  $2.0 \text{ dm}^3/\text{min}$ , more than 85 % of the zinc ferrite phase was found in the sediments. Taking into account the qualitative and quantitative composition of precipitates, it is recommended to use them in the production of building materials.

The experimental results obtained make it possible to provide a comprehensive processing of liquid galvanic waste.

**Keywords:** ferritization, zinc ions, galvanic waste water, electromagnetic pulse discharges, ferrite deposits.

**References**

- Polyakov, V., Kravchuk, A., Kochetov, G., Kravchuk, O. (2019). Clarification of aqueous suspensions with a high content of suspended solids in rapid sand filters. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 28–45. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00827>
- Marcus, M.-I., Vlad, M., Deak, G., Moncea, A., Panait, A.-M., Movileanu, G. (2020). Thermal Stability of Inorganic Pigments Synthesized from Galvanic Sludge. *Revista de Chimie*, 71 (8), 13–20. doi: <https://doi.org/10.37358/rc.20.8.8274>
- Albdeiri, M. S., Sergeyev, S. V., Kolesnikov, D. A., Baranov, S. O. (2021). Analysis of physical and mechanical properties of galvanic-plasma wear-resistant coatings. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 27 (1), 64–77.
- Zueva, S., Ferella, F., Ippolito, N. M., Ruduka, E., De Michelis, I. (2021). Wastewater Treatment from Galvanization Industry with Zinc recovery. *E3S Web of Conferences*, 247, 01064. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701064>
- State Statistics Service of Ukraine. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua>
- Chelnokov, A. A., Yuschenko, L. F., Zhmykov, I. N., Yuraschik, K. K. (2018). *Obraschenie s othodami*. Minsk: Vysheyschaya shkola, 460.
- Jaumaux, P., Yang, X., Zhang, B., Safaei, J., Tang, X., Zhou, D. et al. (2021). Localized Water-In-Salt Electrolyte for Aqueous Lithium-Ion Batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 60 (36), 19965–19973. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.202107389>
- Ramezani, M., Enayati, M., Ramezani, M., Ghorbani, A. (2021). A study of different strategical views into heavy metal(oid) removal in the environment. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (21). doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08572-4>
- Shevchuk, V. D., Mudrak, G. V., Franchuk, M. O. (2021). Ecological assessment of soil pollution intensity by heavy metals. *Agricultural sciences «Colloquium - Journals»*, 12 (99), 58–64.
- Panzeri, G., Muller, D., Accogli, A., Gibertini, E., Mauri, E., Rossi, F. et al. (2019). Zinc electrodeposition from a chloride-free non-aqueous solution based on ethylene glycol and acetate salts. *Electrochimica Acta*, 296, 465–472. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.11.060>
- Prolejkich, A., Gaponenkov, I., Fedorova, O. (2018). Extraction of Heavy Metal Ions from Inorganic Wastewater. *Ecology and Industry of Russia*, 22 (3), 35–39. doi: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-3-35-39>
- Balakirev, V. F., Aksenov, V. I., Nichkova, I. I., Krymsky, V. V. (2019). Treatment of aggressive industrial wastes. Moscow, 115.
- Zoria, O., Ternovtsev, O., Zoria, D. (2021). Purification of concentrated waste water of pcb production from copper ions. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 35, 11–20. doi: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.35.11-20>
- Makovskaya, O. Y., Kostromin, K. S. (2019). Leaching of Non-Ferrous Metals from Galvanic Sludges. *Materials Science Forum*, 946, 591–595. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.946.591>
- Zhang, J., Gao, X., Ma, D., He, S., Du, B., Yang, W. et al. (2021). Copper ferrite heterojunction coatings empower polyetheretherketone implant with multi-modal bactericidal functions and boosted osteogenicity through synergistic photo/Fenton-therapy. *Chemical Engineering Journal*, 422, 130094. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130094>
- Vilarinho, C., Teixeira, J., Araújo, J., Carvalho, J. (2017). Effect of Time and Acid Concentration on Metal Extraction From Galvanic Sludges. Volume 14: Emerging Technologies; Materials: Genetics to Structures; Safety Engineering and Risk Analysis. doi: <https://doi.org/10.1115/imece2017-71370>
- Zhou, X., Wang, J., Zhou, L., Wang, Y., Yao, D. (2021). Structure, magnetic and microwave absorption properties of NiZnMn ferrite ceramics. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 534, 168043. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168043>
- Zhang, Y., He, H., Wang, H., Chen, G., An, X., Wang, Y. (2021). Evolution of microstructure and mechanical properties of 9Cr ferrite/martensite steels with different Si content after long-term aging at 550 °C. *Journal of Alloys and Compounds*, 873, 159817. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159817>
- Frolova, L. A., Pivovarov, A. A., Anisimova, L. B., Yakubovskaya, Z. N., Yakubovskii, A. I. (2017). The extraction of chromium (III) from concentrated solutions by ferrite method. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 110–115. Available at: <http://oaji.net/articles/2017/1954-1513764539.pdf>
- Kovalchuk, O., Kochetov, G., Samchenko, D. (2019). Study of service properties of alkali-activated cement using wastewater treatment residues. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1), 012087. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012087>
- Kochetov, G., Samchenko, D., Arhatenko, T. (2021). Determination of influence of pH on reaction mixture of ferritization process with electromagnetic pulse activation on the processing of galvanic sludge.

- Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (10 (112)), 24–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239102>
22. Kochetov, G., Prikhna, T., Samchenko, D., Prysiashna, O., Monastyrov, M., Mosshchil, V., Mamalis, A. (2021). Resource efficient ferritization treatment for concentrated wastewater from electroplating production with aftertreatment by nanosorbents. *Nanotechnology Perceptions*, 17 (1), 9–18. doi: <https://doi.org/10.4024/n22ko20a.ntp.17.01>
  23. Yemchura, B., Kochetov, G., Samchenko, D. (2018). Ferrit cleaning of waste water from zinc ions: influence of aeration rate. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, 30, 14–22. doi: <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2018.30.14-22>
  24. McIllece, J. J. (2018). On Generalized Variance Functions for Sample Means and Medians. *JSM 2018 – Survey Research Methods Section*, 584–594. Available at: <https://www.bls.gov/osmr/research-papers/2018/pdf/st180080.pdf>
  25. Kochetov, H. M., Samchenko, D. M., Potapenko, L. I. (2016). Doslidzhennia kinetyky ferytnoi ochystky stichnykh vod halvanichnykh vyrobnytstv. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki*, 26, 118–122.
  26. Kochetov, G., Kovalchuk, O., Samchenko, D. (2020). Development of technology of utilization of products of ferritization processing of galvanic waste in the composition of alkaline cements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (107)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215129>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245094**

**DEVELOPMENT OF SOAPSTOCK PROCESSING TECHNOLOGY TO ENSURE WASTE-FREE AND SAFE PRODUCTION (p. 23–29)**

**Viktorii Kalyna**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3061-3313>

**Vitalii Koshulko**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0744-6318>

**Olha Ilinska**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6617-5354>

**Natalia Tverdokhliebova**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3139-4308>

**Oksana Tolstousova**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5848-3362>

**Olga Bliznjuk**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2595-8421>

**Tatiana Gavrish**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5461-8442>

**Sergij Stankevych**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8300-2591>

**Inna Zabrodina**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8122-9250>

**Oksana Zhulinska**

Separate Structural Subdivision “Housing and Municipal Professional College” of O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0509-198X>

Soapstock is a large-tonnage waste of the oil and fat industry, the disposal of which is environmentally hazardous. Processing of soapstock into industrially valuable products, in particular, fatty acids, is promising.

The method for producing fatty acids, which consists in sequential saponification of soapstock with sodium hydroxide solution, salting out with sodium chloride and decomposition with sulfuric acid solution has been investigated.

The feature of this work is the study of the effect of salting out conditions of saponified soapstock on the yield and neutralization number of fatty acids.

As an experimental sample, sunflower soapstock was used, the indicators of which correspond to DSTU 5033 (CAS 68952-95-4): mass fraction of total fat – 67.3 %, fatty acids – 61.8 %, neutral fat – 5.5 %.

Soapstock was subjected to preliminary saponification under the following conditions: duration 85 min., concentration of sodium hydroxide solution 45 %. After that, the saponified mass was subjected to salting out. The obtained core soap was decomposed with the sulfuric acid solution under the following conditions: temperature 90 °C, duration 40 min.

Rational salting out conditions were determined: duration (80 min.) and sodium chloride concentration (16 %). Under these conditions, the fatty acid yield is 95.0 %, the neutralization number is 194.8 mg KOH/g. The resulting fatty acids comply with DSTU 4860 (CAS 61788-66-7): the mass fraction of moisture and volatiles is 0.85 %, the mass fraction of total fat is 98.9 %, cleavage depth is 94.2 % oleic acid.

This method of soapstock processing increases the fatty acid yield by 3.5 % compared to the method with saponification and decomposition, by 20.3 % compared to the method of soapstock decomposition with sulfuric acid. At the same time, the neutralization number increases by 4.1 % and 8.2 %, respectively.

The improved method for fatty acids producing from soapstock provides high-quality fatty acids with increased yield.

**Keywords:** fatty waste, soapstock, soap mass, salting out, fatty acids, neutralization number.

**References**

1. Vasylykova, K. (2021). Tendentsiyi ta perspektyvy vyrobnytstva oliynykh kultur v Ukraini y analiz eksportu oliyi. *Ahrobiznes sohodni*. Available at: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/20517-tendentsii-ta-perspektyvy-vyrobnytstva-oliynykh-kultur-v-ukraini-i-analiz-eksportu-olii.html>
2. Krukov, A. I., Radchenko, O. V., Radchenko, O. O., Garmash, B. K., Biletska, Ye. S., Ponomarenko, R. V. et. al. (2020). Experience of developed countries in state environmental safety policy. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (2), 190–194. Available at: <https://www.ujecology.com/articles/experience-of-developed-countries-in-environmental-safety-policy.pdf>
3. Instytutu aharnoi ekonomiky. Available at: <https://latifundist.com/kompanii/1928-institut-agrarnoj-ekonomiki>
4. Yegorov, B., Turpurova, T., Sharabaeva, E., Bondar, Y. (2019). Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound

- feed industry. *Food Science and Technology*, 13 (1), 106–113. doi: <https://doi.org/10.15673/fst.v13i1.1337>
5. Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. H., Rooney, D. W. (2021). Conversion of biomass to biofuels and life cycle assessment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19 (6), 4075–4118. doi: <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01273-0>
  6. Hodovaniuk, A. Y. (2010). Pravovyi vplyv na vprovadzhenia malovidkhodnykh tekhnolohiy, enerhozberihaiuchoi tekhniky ta vyrobnytstvo bezpechnoi produktsiyi. Aktualni problemy polityky, 40, 583–588. Available at: <http://dspace.onua.edu.ua/handle/11300/1042>
  7. Alfa Laval. Available at: <https://www.alfalaval.com/>
  8. Bessou, C., Ferchaud, F., Gabrielle, B., Mary, B. (2011). Biofuels, greenhouse gases and climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (1), 1–79. doi: <https://doi.org/10.1051/agro/2009039>
  9. Demidov, I., Sytnik, N., Mazaeva, V. (2014). Sunflower and problem alternative fuel in Ukraine. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu oliinykh kultur NAAN*, 21, 137–146. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpio\\_2014\\_21\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpio_2014_21_22)
  10. Barbusiński, K., Fajkis, S., Szelag, B. (2021). Optimization of soapstock splitting process to reduce the concentration of impurities in wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124459>
  11. Laoretani, D. S., Fischer, C. D., Iribarren, O. A. (2017). Selection among alternative processes for the disposal of soapstock. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 177–183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.015>
  12. Su, E., Wei, D. (2014). Improvement in biodiesel production from soapstock oil by one-stage lipase catalyzed methanolysis. *Energy Conversion and Management*, 88, 60–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.041>
  13. Poyarkova, T. N., Kudrina, G. V., Prokofev, Y. I. (2012). Effect of inorganic electrolytes and nonionogenic surfactants on the stability of soap stock emulsion. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (4), 651–655. doi: <https://doi.org/10.1134/s1070427212040192>
  14. Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Kalyna, V., Chernukha, A., Vazhynskiy, S. et. al. (2021). Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (112)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236984>
  15. Chupa, J., Misner, S., Sachdev, A., Wisniewski, P., Smith, G. A., Heffner, R. (2017). Soap, Fatty Acids, and Synthetic Detergents. *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*, 979–1032. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52287-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52287-6_16)
  16. Casali, B., Brenna, E., Parmeggiani, F., Tessaro, D., Tentori, F. (2021). Enzymatic Methods for the Manipulation and Valorization of Soapstock from Vegetable Oil Refining Processes. *Sustainable Chemistry*, 2 (1), 74–91. doi: <https://doi.org/10.3390/suschem2010006>
  17. Shnyp, I. A., Slepneva, L. M., Kraeckaya, O. F., Zyk, N. V., Luk'yanova, R. S. (2011). Sposoby utilizacii soapstoka – tehnogennogo othoda zhiropererabatyvayushey promyshlennosti. *Vestnik Belorusskogo nacional'nogo tehničeskogo universiteta*, 2, 68–71. Available at: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/1079/68-71.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  18. Sytnik, N., Kunitsia, E., Kalyna, V., Petukhova, O., Ostapov, K., Ishchuk, V. et. al. (2021). Technology development of fatty acids obtaining from soapstok using saponification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (113)), 16–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241942>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.249485

### CONSTRUCTING A METHOD FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF USING PROTECTIVE BARRIERS NEAR HIGHWAYS TO DECREASE THE LEVEL OF AIR POLLUTION (p. 30–39)

**Mykola Biliaiev**Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1531-7882>**Vitalii Kozachyna**Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6894-5532>**Viktorii Biliaieva**Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-6384>**Tetiana Rusakova**Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5526-3578>**Oleksandr Berlov**Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and  
Architecture, Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7442-0548>**Yuliia Mala**University of Customs and Finance,  
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2539-4793>

Highways are an intensive source of environmental pollution. Atmospheric air is exposed to the fastest anthropogenic influence. Therefore, a particularly important task is to minimize the level of air pollution near the highway. An effective method for solving this problem is the use of protective barriers of various shapes installed near highways. At the stage of designing these protective structures, an important task arises to assess their effectiveness.

Estimation of the effectiveness of protective barriers by the method of the physical experiment takes considerable time to set up and conduct an experiment, as well as analyze the results of physical modeling. This method is not always convenient during design work. An alternative method is the method of mathematical modeling. For the designer, it is very important to have mathematical models that make it possible to quickly obtain a predictive result and take into consideration a set of important factors on which the effectiveness of the protective barrier depends.

A method has been devised that makes it possible to assess the effectiveness of using protective barriers to reduce the level of air pollution near the highway. It was found that an increase in barrier height by 80 % leads to a 22 % decrease in the concentration of impurities behind the barrier. It was established that applying a barrier with a height of 1.5 m leads to a 26 % decrease in the concentration of impurities in buildings adjacent to the highway. A method has been devised to assess the effectiveness of using absorbent “TX Active” surfaces on the protective barrier located near the highway. This study's result revealed that the application of a barrier with one “TX Active” surface leads to a decrease in the concentration of NO behind the barrier by an average of 43 %. When using a barrier with two “TX Active” surfaces, a decrease in the NO concentration behind the barrier is 85 % on average.

**Keywords:** air pollution, protective barrier, highway, numerical modeling, “TX Active” surface.

### References

- Zhelnovach, G. (2017). Impact of motor transport enterprises on urban areas air quality. *Vestnyk Kharkovskoho natsionalnoho avtomobylno-dorozhnoho unyversytetu*, 77, 75–80. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad\\_2017\\_77\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2017_77_15)
- Biliaiev, M. M., Rusakova, T. I., Kolesnik, V. Ye., Pavlichenko, A. V. (2016). The predicted level of atmospheric air pollution in the city area affected by highways. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 1, 90–97. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2016\\_1\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2016_1_16)
- Chernychenko, I. O., Pershehuba, Ya. V., Lytvynenko, O. M., Shvaha, O. V. (2010). Osoblyvosti formuvannya kantserohennoho ryzyku dlia naselennia, shcho prozhyvaie v zoni vplyvu avtomahistrali. *Hihiena naselennykh mist*, 56, 159–167.
- Düring, I., Bächlin, W., Ketzler, M., Baum, A., Friedrich, U., Würzler, S. (2011). A new simplified NO/NO<sub>2</sub> conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(1), 67–73. doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/0491>
- Hagler, G. S. W., Tang, W., Freeman, M. J., Heist, D. K., Perry, S. G., Vette, A. F. (2011). Model evaluation of roadside barrier impact on near-road air pollution. *Atmospheric Environment*, 45 (15), 2522–2530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.030>
- Brolin, N. (2010). Product Development of Curved Noise & NOx Barrier. Stockholm, 51. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:444437/FULLTEXT01.pdf>
- Brantley, H. L., Hagler, G. S. W., J. Deshmukh, P., Baldauf, R. W. (2014). Field assessment of the effects of roadside vegetation on near-road black carbon and particulate matter. *Science of The Total Environment*, 468-469, 120–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.001>
- Heist, D., Isakov, V., Perry, S., Snyder, M., Venkatram, A., Hood, C. et. al. (2013). Estimating near-road pollutant dispersion: A model inter-comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 25, 93–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.09.003>
- Mao, Y., Wilson, J. D., Kort, J. (2013). Effects of a shelterbelt on road dust dispersion. *Atmospheric Environment*, 79, 590–598. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.015>
- Biliaiev, M., Pshinko, O., Rusakova, T., Biliaieva, V., Śladkowski, A. (2020). Application of local exhaust systems to reduce pollution concentration near the road. *Transport Problems*, 15 (4), 137–148. doi: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-055>
- Biliaiev, M., Pshinko, O., Rusakova, T., Biliaieva, V., Śladkowski, A. (2021). Computing model for simulation of the pollution dispersion near the road with solid barriers. *Transport Problems*, 16 (2), 73–86. doi: <https://doi.org/10.21307/tp-2021-024>
- Madalozzo, D. M. S., Braun, A. L., Awruch, A. M. (2012). A numerical model for pollutant dispersion simulation in street canyons. *Mecanica Computacional*, XXXI, 211–235. Available at: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/4062/3988>
- Jeong, S. J. (2014). Effect of Double Noise-Barrier on Air Pollution Dispersion around Road, Using CFD. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 8 (2), 81–88. doi: <https://doi.org/10.5572/ajae.2014.8.2.081>
- Jeong, S. J. (2015). A CFD Study of Roadside Barrier Impact on the Dispersion of Road Air Pollution. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 9 (1), 22–30. doi: <https://doi.org/10.5572/ajae.2015.9.1.022>
- Kumar, P., Zavala-Reyes, J. C., Tomson, M., Kalaiarasan, G. (2022). Understanding the effects of roadside hedges on the horizontal and vertical distributions of air pollutants in street canyons. *Environment International*, 158, 106883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106883>
- Horgnies, M., Dubois-Brugger, I., Gartner, E. M. (2012). NO<sub>x</sub> de-pollution by hardened concrete and the influence of activated charcoal additions. *Cement and Concrete Research*, 42(10), 1348–1355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.06.007>
- Cackler, T., Alleman, J., Kevern J., Sikkema J. (2012). Technology Demonstrations Project: Environmental Impact Benefits with “TX Active” Concrete Pavement in Missouri DOT Two-Lift Highway Construction Demonstration. National Concrete Pavement Technology Center. Iowa State University. Available at: [https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/03/TX\\_Active\\_for\\_FHWA\\_w\\_cvr.pdf](https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/03/TX_Active_for_FHWA_w_cvr.pdf)
- Pulvirenti, B., Baldazzi, S., Barbano, F., Brattich, E., Di Sabatino, S. (2020). Numerical simulation of air pollution mitigation by means of photocatalytic coatings in real-world street canyons. *Building and Environment*, 186, 107348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107348>
- Zgurovskiy, M. Z., Skopetskiy, V. V., Hrusch, V. K., Belyaev, N. N. (1997). Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushey srede. Kyiv: Naukova dumka, 368.
- Merah, A., Noureddine, A. (2017). Modeling and Analysis of NO<sub>x</sub> and O<sub>3</sub> in a Street Canyon. *Der Pharma Chemica*, 9 (19), 66–72. Available at: <https://www.derpharmachemica.com/pharma-chemica/modeling-and-analysis-of-nox-and-o3-in-a-street-canyon.pdf>
- Marchuk, G. I. (1982). Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushey sredy. Moscow: Nauka, 320. Available at: <https://www.twirpx.com/file/392343/>
- Samarskiy, A. A. (1983). Teoriya raznostnykh skhem. Moscow: Nauka, 657. Available at: <https://www.twirpx.com/file/2232663>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248252

### DEVISING THE TECHNOLOGY FOR LOCALIZING ENVIRONMENTAL POLLUTION DURING FIRES AT SPONTANEOUS LANDFILLS AND TESTING IT IN THE LABORATORY (p. 40–48)

Ivan Bondarenko

Public Organization «Regional Center of Scientific and Technical Development», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5076-7793>

Igor Dudar

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8453-7929>

Olha Yavorovska

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5304-1389>

Olha Ziuz

The Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on Environmental Policy and Utilization of Natural Resources, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6208-5383>

Sergii Boichenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-4980>

Ihor Kuberskyi

LLC «SOBIHRUP», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3800-8484>

**Iryna Shkilniuk**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8808-3570>

**Bohdana Komarysta**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9542-6597>

**Iryna Dzhygyrey**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8360-447X>

**Vladyslav Bendiih**

Educational and Scientific National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3295-4637>

This paper reports an analysis of current issues related to storing solid household waste, and, specifically, the problem of environmental pollution when unsorted solid household waste (SHW) is ignited. A technology has been developed to improve environmental safety and ensure a reduction in the anthropogenic load on the atmosphere, hydrosphere, and lithosphere in the event of fires at the sites of solid waste storage. The operation of the proposed equipment, taking into consideration all the provided operating modes and additional options, is energy-saving and automated (or semi-automatic), which makes it especially relevant under modern conditions. The technology significantly improves the efficiency of the processes to eliminate the ignition of SHW and localize their environmental consequences for the territories adjacent to landfills.

Laboratory tests were carried out, which proved the effectiveness of practical application for the designed equipment of a new environmentally active adsorption mixture for the purpose of cleaning the waste filtrate, as well as its use for the formation of an anti-filtration screen in the mound of SHW. Experiments have shown that the tested sample of the aqueous suspension of the proposed environmentally active mixture adsorbs calcium (by 92 %), overall iron (by 91 %), overall phosphorus (by 75 %), zinc (by 31 %), and ammonium (by 19 %). This leads to a decrease in the overall toxicity of the solution and indicates the possibility of improving the environmental safety of waste fires when operating the proposed technical solution by purifying the filtrate released during fires in landfills.

The reported results, specifically, the technology for localizing the environmental consequences of uncontrolled waste ignition could be used in the process of modernizing the technical support for sanitary treatment schemes in urban areas.

**Keywords:** solid household waste, flue gases, adsorption suspension, anti-filtration screen.

**References**

- Popelo, O., Tulchynska, S., Marhasova, V., Ivanova, N., Samiilenko, H. (2021). An innovative approach to determine the sustainable development of regions by harmonization of the economic, social and environmental components. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24 (S4), 1–9.
- Boichenko, S. V., Leida, K., Ivanchenko, O. V. (2016). Ekolohistyka, utylizatsiia ta retsyklinh transportnykh zasobiv: tendentsiyi ta perspektyvy rozvytku. *Naukoiemni tekhnolohiyi*, 2 (30), 221–227.
- Boichenko, S. V., Lejda, K. (2015). European experience and perspectives of systems of utilization and recycling of transport means. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 2 (32).
- Boichenko, S. V., Ivanchenko, O. V., Iakovlieva, A. V. (2017). Recycling and utilization of aviation engineering: the global trends and peculiarities of introduction. *Science-based technologies*, 2 (34), 140–149. doi: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.34.11612>
- Boychenko, S., Shkilniuk, I., Turchak, V. (2008). The problems of biopollution with jet fuels and the way of achieving solution. *Transport*, 23 (3), 253–257. doi: <https://doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.253-257>
- Shkilniuk, I., Boichenko, S. (2020). Biological Risk of Aviation Fuel Supply. *Studies in Systems, Decision and Control*, 179–199. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_12)
- Mar'in, V. V., Risnik, V. V., Pisarenko, V. N., Timofeev, V. B., Shishov, V. P. (2000). O probleme bytovykh othodov megapolisov i putyakh ee resheniya. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 10.
- Kutniashenko, O., Smoliaga, V., Litvinova, T. (2016). Improving the efficiency of household waste recycling by pre-preparation of their dispersed fraction. *Polytechnic magazine Metal. Journal - Metallurgical and Mining Industry*, 8, 6–14.
- Kurilenko, V. V., Osmolovskaya, N. G., Maksimova, D. A., Kuchayeva, L. N. (2015). Geo-ecological characteristics of kronstadt and assessment of its territory pollution by heavy metals. *Vestnik SPbGU*, 2, 107–124.
- Podlipkiy, I. I. (2013). Geoekologicheskaya otsenka prilegayuschih territoriy poligona bytovykh othodov (g. Pitkyaranta, Respublika Kareliya). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2, 48–56.
- Chryssikou, L., Gemenetzi, P., Kouras, A., Manoli, E., Terzi, E., Samara, C. (2008). Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece. *Environment International*, 34 (2), 210–225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.08.007>
- Kazantseva, L. A., Sippel, A. E. (2018). Environmental and fire danger of a solid waste landfill within the territory of the Sorokinsky raion (the Tyumen oblast). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 5, 22–26. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-i-pozharnaya-opasnost-poligonatverdyh-bytovykh-othodov-na-territorii-sorokinskogo-rayona-tyumenskoy-oblasti>
- Cocean, I., Diaconu, M., Cocean, A., Postolachi, C., Gurlui, S. (2020). Landfill Waste Fire Effects Over Town Areas Under Rainwaters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 877, 012048. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/877/1/012048>
- Pan, Y., Yang, L., Zhou, J., Liu, J., Qian, G., Ohtsuka, N. et. al. (2013). Characteristics of dioxins content in fly ash from municipal solid waste incinerators in China. *Chemosphere*, 92 (7), 765–771. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.04.003>
- Dos Muchangos, L. S., Tokai, A. (2020). Greenhouse gas emission analysis of upgrading from an open dump to a semi-aerobic landfill in Mozambique – the case of Hulene dumpsite. *Scientific African*, 10, e00638. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00638>
- Wang, K., Nakakubo, T. (2020). Comparative assessment of waste disposal systems and technologies with regard to greenhouse gas emissions: A case study of municipal solid waste treatment options in China. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120827>
- Weichenthal, S., Van Rijswijk, D., Kulka, R., You, H., Van Ryswyk, K., Willey, J. et. al. (2015). The impact of a landfill fire on ambient air quality in the north: A case study in Iqaluit, Canada. *Environmental Research*, 142, 46–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.018>
- Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M. et. al. (2006). The 2005 World Health Organiza-

- tion Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. *Toxicological Sciences*, 93 (2), 223–241. doi: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfl055>
19. Faqi, A. S., Dalsenter, P. R., Merker, H.-J., Chahoud, I. (1998). Reproductive Toxicity and Tissue Concentrations of Low Doses of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin in Male Offspring Rats Exposed Throughout Pregnancy and Lactation. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 150 (2), 383–392. doi: <https://doi.org/10.1006/taap.1998.8433>
  20. Wiwanitkit, V. (2016). Thai waste landfill site fire crisis, particular matter 10, and risk of lung cancer. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 12 (2), 1088. doi: <https://doi.org/10.4103/0973-1482.172120>
  21. Vassiliadou, I., Papadopoulos, A., Costopoulou, D., Vasiliadou, S., Christoforou, S., Leondiadis, L. (2009). Dioxin contamination after an accidental fire in the municipal landfill of Tagarades, Thessaloniki, Greece. *Chemosphere*, 74 (7), 879–884. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.016>
  22. Cunliffe, A. M., Williams, P. T. (2009). De-novo formation of dioxins and furans and the memory effect in waste incineration flue gases. *Waste Management*, 29 (2), 739–748. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.04.004>
  23. Wang, G., Fan, Z., Wu, D., Qin, L., Zhang, G., Gao, C., Meng, Q. (2014). Anoxic/aerobic granular active carbon assisted MBR integrated with nanofiltration and reverse osmosis for advanced treatment of municipal landfill leachate. *Desalination*, 349, 136–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.06.030>
  24. Cabral, M., Garçon, G., Touré, A., Bah, F., Dewaele, D., Bouhsina, S. et. al. (2021). Renal impairment assessment on adults living nearby a landfill: Early kidney dysfunction biomarkers linked to the environmental exposure to heavy metals. *Toxicology Reports*, 8, 386–394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.02.009>
  25. Peng, Y. (2017). Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2567–S2574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>
  26. Anna Talaaj, I., Bartkowska, I., Biedka, P. (2021). Treatment of young and stabilized landfill leachate by integrated sequencing batch reactor (SBR) and reverse osmosis (RO) process. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100502. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100502>
  27. Kumar, G., Reddy, K. R., McDougall, J. (2020). Numerical modeling of coupled biochemical and thermal behavior of municipal solid waste in landfills. *Computers and Geotechnics*, 128, 103836. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103836>
  28. Fiorineschi, L., Frillici, F. S., Rotini, F. (2018). Enhancing functional decomposition and morphology with TRIZ: Literature review. *Computers in Industry*, 94, 1–15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.09.004>
  29. MVV No. 081/12-0317-06. Poverkhnevi, pidzemni ta zvorotni vody. Metodyka vykonannya vymiriuvan vodnevoho pokaznyka (rN) elektrometrychnym metodom. Available at: [https://budstandart.ua/normativ-document.html?id\\_doc=76469](https://budstandart.ua/normativ-document.html?id_doc=76469)
  30. MVV No. 081/12-0106-03. Poverkhnevi, pidzemni ta zvorotni vody. Metodyka vykonannya vymiriuvan masovoi konsentratsiyi amoniyoniv fotokolorymetrychnym metodom z reaktyvom Neslera. Zi zmi-noiu No. 1. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=76427](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76427)
  31. MVV No. 081/12-0647-09. Metodyka vykonannya vymiriuvan masovoi konsentratsiyi KhSK u zvorotnykh, poverkhnevnykh i pidzemnykh vodakh fotokolorymetrychnym metodom u diapazoni vid 4 mhO/dm<sup>3</sup> do 10000 mhO/dm<sup>3</sup> vključno (z vykorystanniam testovoi sumishi reahentiv na vyznachenyi diapazon vymiriuvannya KhSK) (tilky dlia fotometriv abo spektrofotometriv typu PhotoLab Spectral, Spectroquant NOVA, Spektroflex, DR abo analohichnykh). Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=76576](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76576)
  32. Bondarenko, I. V., Kutniashenko, O. I. (2019). Pat. No. 139374 UA. Systema dlia skorochennia ekolohichnoho zabrudnennia navkolyshnoho seredovyschcha pry pozhezhakh na polihonakh TPV ta v umovakh stykhiynykh smittiezvalyshch. No. a201902114; declared: 01.03.2019; published: 10.01.2019, Bul. No. 1.
  33. Bondarenko, I. V. (2012). Pat. No. 103811 UA. Snariad dlia ekolohichnoho ochyshchennia atmosfernoho povitria. No. a201201731; declared: 16.02.2012; published: 25.11.2013. Bul. No. 22.
  34. Bondarenko, I. V. (2013). Pat. No. 111828 UA. Drobylnyi ahrehat z hrovitatsiino-pnevmatychnym elektropryvodom. No. a201304265; declared: 05.04.2013; published: 24.06.2016, Bul. No. 12.
  35. Kieush, L., Schenk, J., Pfeiffer, A., Koveria, A., Rantitsch, G., Hopfinger, H. (2022). Investigation on the influence of wood pellets on the reactivity of coke with CO<sub>2</sub> and its microstructure properties. *Fuel*, 309, 122151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122151>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245713

## DEFINING PATTERNS OF HEAT TRANSFER THROUGH THE FIRE-PROTECTED FABRIC TO WOOD (p. 49–56)

**Yuriy Tsapko**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

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

**Aleksii Tsapko**

Ukrainian State Research Institute “Resource”, Kyiv, Ukraine  
Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

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

**Olga Bondarenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8164-6473>

Under the thermal action on wood when applying a protective screen made from fire-retardant fabric, the process of temperature transfer is natural. It has been proven that depending on the thermal properties of the coating of fire-proof fabric, this could lead to varying degrees of heat transfer. Therefore, it becomes necessary to study the conditions for establishing low thermal conductivity and establishing a mechanism that inhibits heat transfer to wood. Given this, a mathematical model has been built of the process of heat transfer to wood when it is protected by a screen made of fire-proof fabric. According to the experimental data on determining the temperature on the non-heated surface of the fabric and the resulting dependences, the density of the heat flow transmitted to wood through fire-proof fabric was determined. Thus, with an increase in the temperature, the density of the heat flow to the surface of the wood through a protective screen made of fire-proof protected coating based on “Firewall-Attic” increases to a value above 16 kW/m<sup>2</sup>, which is not sufficient for ignition of wood. Instead, the density of the heat flow through the protective screen of fire-proof fabric protected by the “Firewall-Wood”-based coating did not exceed 14 kW/m<sup>2</sup>. This makes it possible to argue about the compliance of the detected mechanism of formation of heat-insulating properties in the protection of wood and the practical attractiveness of the proposed technological solutions. Thus, the peculiarities of inhibition of the process of heat transfer to wood through a protective screen made of fire-proof fabric under



the action of a radiation panel imply the formation of a heat-insulating layer of coked cellular material when decomposing the coating. Thus, on the surface of the fire-proof fabric, a temperature above 280 °C was achieved and, on an untreated surface of the fabric, it did not exceed 220 °C, which is insufficient for the ignition of wood.

**Keywords:** fire protection of wood, swelling coating, thermal conductivity, surface treatment, thermal-physical properties.

## References

- Jun, Z., Wei, X., Xingzhong, W., Peiwei, G., Zhihua, Y., Lihai, S., Jiang, W. (2020). Application and research status of concrete canvas and its application prospect in emergency engineering. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 15, 155892502097575. doi: <https://doi.org/10.1177/1558925020975759>
- Xu, J., Zhang, J. Y., Xu, J., Chang, Y., Shi, F., Zhang, Z., Zhang, H. (2020). Design of functional cotton fabric via modified carbon nanotubes. *Pigment & Resin Technology*, 49 (1), 71–78. doi: <https://doi.org/10.1108/prt-03-2019-0032>
- Xu, J., Zhang, J., Xu, J., Miao, G., Feng, L., Zhang, Z., Zhang, H. (2019). Synthesis and properties of cotton fabric functionalized by dimethyl phosphite and perfluorohexyl group grafted graphene oxide. *Pigment & Resin Technology*, 48 (6), 515–522. doi: <https://doi.org/10.1108/prt-02-2019-0018>
- Shi, F., Xu, J., Zhang, Z. (2019). Study on UV-protection and hydrophobic properties of cotton fabric functionalized by graphene oxide and silane coupling agent. *Pigment & Resin Technology*, 48 (3), 237–242. doi: <https://doi.org/10.1108/prt-09-2018-0098>
- Choi, K., Seo, S., Kwon, H., Kim, D., Park, Y. T. (2018). Fire protection behavior of layer-by-layer assembled starch–clay multilayers on cotton fabric. *Journal of Materials Science*, 53 (16), 11433–11443. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2434-x>
- Tausarova, B. R., Stasenko, A. Yu. (2019). Giving flame retardant properties to cellulosic textile materials using sol-gel technology. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 4, 365–372. doi: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019044286>
- Chan, S. Y., Si, L., Lee, K. I., Ng, P. F., Chen, L., Yu, B. et. al. (2017). A novel boron–nitrogen intumescent flame retardant coating on cotton with improved washing durability. *Cellulose*, 25 (1), 843–857. doi: <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1577-2>
- Zhou, S., Huangfu, W., You, F., Li, D., Fan, D. (2019). Flame Retardancy and Mechanism of Cotton Fabric Finished by Phosphorus Containing SiO<sub>2</sub> Hybrid Sol. 2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (ICFSFPE). doi: <https://doi.org/10.1109/icfsfpe48751.2019.9055847>
- Vachnina, T. N., Susoeva, I. V., Titunin, A. A. (2020). Improvement of fire protection of wood board and textile materials for premises with a massive stay of people. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 962, 022008. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/962/2/022008>
- Zhu, H., Kannan, K. (2020). Determination of melamine and its derivatives in textiles and infant clothing purchased in the United States. *Science of The Total Environment*, 710, 136396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136396>
- Skorodumova, O., Tarakhno, O., Chebotaryova, O., Hapon, Y., Emen, F. M. (2020). Formation of Fire Retardant Properties in Elastic Silica Coatings for Textile Materials. *Materials Science Forum*, 1006, 25–31. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.25>
- Tsapko, Y., Tsapko, O., Bondarenko, O. (2020). Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (104)), 13–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467>
- Tsapko, Y., Lomaha, V., Tsapko, A., Mazurchuk, S., Horbachova, O., Zavalov, D. (2020). Determination of regularities of heat resistance under flame action on wood wall with fire-retardant varnish. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 55–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210009>
- Tsapko, Y., Zavalov, D., Bondarenko, O., Marchenko, N., Mazurchuk, S., Horbachova, O. (2019). Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346>
- Potter, M. C. (2019). *Engineering analysis*. Springer, 434. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91683-5>
- Jannot, Y., Degiovanni, A., Schick, V., Meulemans, J. (2020). Thermal diffusivity measurement of insulating materials at high temperature with a four-layer (4L) method. *International Journal of Thermal Sciences*, 150, 106230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106230>
- Zhang, H., Li, Y.-M., Tao, W.-Q. (2017). Theoretical accuracy of anisotropic thermal conductivity determined by transient plane source method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, 1634–1644. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.01.025>
- Janna, W. S. (2018). *Engineering Heat Transfer*. CRC Press, 692. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439883143>
- Bartlett, A. I., Hadden, R. M., Bisby, L. A. (2018). A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. *Fire Technology*, 55 (1), 1–49. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0787-y>
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233479>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. P. (2020). Research of Conditions of Removal of Fire Protection from Building Construction. *Key Engineering Materials*, 864, 141–148. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.141>
- Tsapko, Y. V., Tsapko, A. Y., Bondarenko, O. P. (2020). Modeling of thermal conductivity of reed products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 907 (1), 012057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012057>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.249105

## IMPROVEMENT OF TEST METHODS AND CRITERIA FOR EVALUATION OF RESISTANCE TO FLAME PROPAGATION OF LONG ELEMENTS OF THE WIRING SYSTEM (p. 57–68)

**Rostyslav Kravchenko**

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1410-4567>

**Pavlo Illiuchenko**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6687-6388>

**Andrii Onyshchuk**

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1829-126X>

**Oleksandr Zazymko**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7496-0248>

The test methods for flame propagation of long elements of the electrical wiring system, in particular, cables, cable conduits and ducts, are analyzed, and differences in them are found in the test conditions and criteria for evaluating the resistance to flame propagation.

Using a substrate of a wooden board covered with a layer of tissue paper with an areal density of  $(21 \pm 9) \text{ g/m}^2$ , adopted for testing other elements of the electrical wiring system, a cable was identified that is not resistant to flame propagation. It is proposed to use this substrate for testing the flame propagation of cables instead of a substrate made of a double layer of filter paper with a surface density of  $(80 \pm 15) \text{ g/m}^2$ .

In one of three experiments, a cable that was not resistant to flame propagation was found based on the criterion of the presence of ignition of the substrate located under it. To reduce the risk of making an incorrect decision on compliance, it is proposed that the assessment of long elements of the wiring system be carried out according to the rules established for cable ducts, trays and ladders in EN 50085-1 and IEC 61537.

For the AVVG cable with an outer diameter of 10 mm to 60 mm, when it touches the blue flame cone of 1 kW, the correlation coefficient of the dependence of the length of the charred part on the diameter was 0.969. For a distance of 100 mm between the sample and the burner along its axis, a correlation coefficient of 0.985 was obtained. It is proposed to test cables under the second condition recommended in IEC 60695-11-2.

For two conduits, flame propagation was revealed when exposed to a 1 kW flame for 120 s and 240 s. However, for these pipelines, flame propagation did not occur under standard conditions of exposure to such a flame for 20 s and 25 s. To identify long elements of the wiring system that are not resistant to flame propagation, it is proposed to test them at a duration of exposure to a flame of 1 kW, established for cables in IEC 60332-1-2.

**Keywords:** electrical product, electrical and optical cable, conduit, fire safety, flame propagation, wiring system.

**References**

- IEC 60695-1-10:2016 Fire hazard testing – Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines (2016). Geneva: International Electrotechnical Commission, 50.
- IEC 60695-1-30:2017 Fire hazard testing Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing process – General guidelines (2017). Geneva, International Electrotechnical Commission, 31. doi: <http://doi.org/10.3403/02683772u>
- Huang, X., Zhu, H., He, L., Peng, L., Cheng, C., Chow, W. (2021). Improved model for estimating sidewall effect on the fire heat release rate of horizontal cable tray. *Process Safety and Environmental Protection*, 149, 831–838. doi: <http://doi.org/10.1016/j.psep.2021.03.040>
- Li, L., Huang, X., Bi, K., Liu, X. (2016). An enhanced fire hazard assessment model and validation experiments for vertical cable trays. *Nuclear Engineering and Design*, 301, 32–38. doi: <http://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2015.12.034>
- An, W., Wang, T., Liang, K., Tang, Y., Wang, Z. (2020). Effects of interlayer distance and cable spacing on flame characteristics and fire hazard of multilayer cables in utility tunnel. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22. doi: <http://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100784>
- An, W., Wang, X., Tang, Y., Wang, T., Lu, J. (2021). Influence of cable inclination angle and longitudinal ventilation on temperature distribution during cable fire in utility tunnel. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27. doi: <http://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101304>
- Sundström, B., Axelsson, J., Van Hees, P. (2003). A proposal for fire testing and classification of cables for use in Europe. SP Swedish National Testing and Research Institute, 38.
- EN 13501-6:2018 Fire classification of construction products and building elements – Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on power, control and communication cables (2018). Brussels: European Committee for Standardization, 30. doi: <http://doi.org/10.3403/30348257>
- Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (2011). *OJ L 88*, 4.4.2011, 5–43.
- Johansson, R., Post, J., Försth, M. (2015). Extended field of application (EXAP) for reaction-to-fire Euro-classification of optical fibre cables. SP Technical Research Institute of Sweden. SP Report, 49.
- Kaczorek-Chrobak, K., Fangrat, J. (2019). Influence of Constructional-Material Parameters on the Fire Properties of Electric Cables. *Energies*, 12 (23), 4569. doi: <http://doi.org/10.3390/en12234569>
- Directive 2014/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on the harmonisation of the laws of the Member States relating to the making available on the market of electrical equipment designed for use within certain voltage limits. *OJ L 96*, 29.3.2014. P. 357–374.
- IEC 60332-1-2:2004 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (2004). Geneva: International Electrotechnical Commission, 21. doi: <http://doi.org/10.3403/03171042>
- IEC 60332-1-3:2004 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles (2004). Geneva: International Electrotechnical Commission, 21.
- IEC 60332-1-2:2004/AMD1:2015 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (2015). Geneva, International Electrotechnical Commission, 9.
- IEC 60332-1-3:2004/AMD1:2015 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-3: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for determination of flaming droplets/particles (2015). Geneva, International Electrotechnical Commission, 9. doi: <http://doi.org/10.3403/03172788>
- EN 60332-1-2:2004/A11:2016 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (2016). Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 4.
- EN 60332-1-2:2004/A12:2020 Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions – Part 1-2: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable – Procedure for 1 kW pre-mixed flame (2020). Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 4. doi: <http://doi.org/10.3403/03171042>

19. Fr Gyppez, F. (2012). Flame spread behavior of electric cables: Round-robin characterization of the IEC/EN 60332-1 tests. *Journal of Fire Sciences*, 30 (5), 404–412. doi: <http://doi.org/10.1177/0734904112441918>
20. IEC 61534-1:2011+AMD1:2014+AMD2:2020 Powertrack systems – Part 1: General requirements (2020). Geneva: International Electrotechnical Commission, 285.
21. EN 50085-1:2005 Cable trunking systems and cable ducting systems for electrical installations – Part 1: General requirements (2005). Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 43.
22. IEC 61537:2006 Cable management – Cable tray systems and cable ladder systems (2006). Geneva: International Electrotechnical Commission, 161.
23. IEC 61386-1:2008+AMD1:2017 Conduit systems for cable management – Part 1: General requirements (2017). Geneva: International Electrotechnical Commission, 159.
24. EN 50369:2005 Liquid tight sheathing systems for cable management (2005). Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization, 25. doi: <http://doi.org/10.3403/30102733u>
25. IEC 60695-11-10:2013 Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods. Brussels. doi: <http://doi.org/10.3403/01860485u>
26. IEC 60695-11-20:2015 Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test method. Brussels. doi: <http://doi.org/10.3403/01859086u>
27. IEC 60695-11-2:2017 Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 1 kW pre-mixed flame – Apparatus, confirmatory test arrangement and guidance (2017). Geneva: International Electrotechnical Commission, 40. doi: <http://doi.org/10.3403/30338608>
28. Kravchenko, R. I., Illiuchenko, P. O., Onyshchuk, A. Ye. (2021). Udoskonalennia metodiv vyprovuvannia ta kryteriiivotsinky stiikositi do poshyrennia polumia dovhykh elementiv systemy elektroprovodky. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii (PES-2021)*. Kharkiv: Natsionalnyi universytet tsvilnoho zakhystu Ukrainy, 49–50.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248746

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФОТОБІОРЕАТОРА У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД (с. 6–15)**

С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко, В. О. Хрутьба, О. В. Барабаш, І. О. Шкільнюк, А. В. Яковлева, П. І. Топільницький, Л. І. Павлюх

Розглянуто традиційні технологічні схеми очищення комунальних стічних вод, переваги та недоліки методів видалення біогенних елементів, що у них застосовуються. Показано, що наявні недоліки призводять до додаткових грошових затрат, труднощів з утилізацією відходів, що утворюються. Показано також низьку ефективність самих процесів видалення, результатом чого є залишкові концентрації біогенів в очищених стічних водах. Запропоновано технологічну схему очищення комунальних стоків, що включає використання фотобіореактора запропонованої конструкції для видалення біогенних елементів за допомогою метаболізму мікроводоростей. Експериментально показано, що використання штаму *Euglena gracilis* для очищення стічних вод від фосфатів з початковою концентрацією 4, 7 і 14 мг/дм<sup>3</sup>. Дозволяє протягом чотирьох діб знижувати концентрацію до залишкової 0...0,55 мг/дм<sup>3</sup>. Показано також, що приріст біомаси мікроводоростей за цей період складає 3,75...5,58 разів. Розроблено математичну модель розрахунку часу перебування суміші стічних вод з мікроводоростями у фотобіореакторі для досягнення необхідного ступеня видалення біогенних елементів. На підставі запропонованої моделі та експериментальних досліджень розраховано необхідний час перебування у робочій зоні. Показано, що з використанням штаму *Euglena gracilis* за умов відсутності видалення біогенних елементів на попередніх етапах очищення (схема включає тільки механічне очищення) термін перебування суміші у робочій зоні складає 37,81 год. За умови часткового видалення біогенних елементів на етапі біологічного очищення (загального азоту 0,55; амонійного азоту 0,91; фосфатів 0,44) цей час скорочується до 26,66 год. Встановлено, що використання штаму *Euglena gracilis* замість *Chlorella vulgaris* (FC-16), при видаленні фосфатів, збільшує ефективність процесу у 2,0 рази і зменшує час перебування у робочій зоні на 50 %. Дано рекомендації щодо проектування геометричних параметрів фотобіореакторів запропонованої конструкції для використання в технологічних схемах.

**Ключові слова:** біогенні елементи, мікро водорості, нітрати, нітрити, технологічна схема, фосфати, фотобіореактор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248166

**ВПЛИВ ШВИДКОСТІ АЕРАЦІЇ ТА СПОСОБУ АКТИВАЦІЇ ПРОЦЕСУ НА СТУПІНЬ ОЧИЩЕННЯ ЦИНКВІСНИХ СТИЧНИХ ВОД ФЕРИТИЗАЦІЄЮ (с. 16–22)**

Б. М. Ємчура, Г. М. Кочетов, Д. М. Самченко, О. Ю. Ковальчук

Досліджено швидкості аерації на ступінь очистки висококонцентрованих гальванічних стічних вод від іонів цинку та феруму при різних способах активації. Показано, що інтенсивність аерації має суттєвий вплив на якість очистки стічних вод та характеристики осадів водоочистки. Підтверджено ефективність застосування енергоощадного способу активації процесу феритизації із застосуванням електромагнітних імпульсів для вилучення зі стічних вод іонів цинку.

Визначено, що при збільшенні швидкості аерації до 3,5 дм<sup>3</sup>/хв на 1 дм<sup>3</sup> реакційної суміші та застосуванні термічної активації процесу залишкова концентрація іонів цинку залишається в межах 0,12±0,2 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому, концентрація іонів феруму знижується до значень 0,08±0,14 мг/дм<sup>3</sup>. Встановлено, що при швидкості аерації 2,5 дм<sup>3</sup>/хв та застосуванні електромагнітної імпульсної (ЕМІ) активації залишкові концентрації іонів важких металів зменшуються до значень 0,08±0,16 мг/дм<sup>3</sup>. Порівняння результатів засвідчують доцільність використання невисоких швидкостей аерації реакційної суміші. Це в сукупності із застосуванням ресурсоощадної ЕМІ активації процесу дозволяє досягнути значного зниження витрат електроенергії.

Визначено кількісний фазовий склад осадів феритизації, в яких переважають кристалічні фази фериту цинку Zn<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та магнетиту Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, а також оксигідроксиду феруму FeO(OH) та сульфату натрію Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Встановлено, що зі збільшенням об'ємної швидкості аерації частка феритної фази зростає. При швидкості аерації 2,0 дм<sup>3</sup>/хв в осадах виявлено понад 85 % фази фериту цинку. З огляду на якісний та кількісний склад осадів рекомендовано їх застосування в виробництві будівельних матеріалів

Отримані експериментальні результати дають змогу забезпечити комплексну переробку рідких гальванічних відходів.

**Ключові слова:** феритизація, сполуки цинку, стічні води, аерація, електромагнітні імпульсні розряди, феритні осадки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245094

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ СОАПСТОКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗВІДХІДНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА (с. 23–29)**

В. С. Калина, В. С. Кошулько, О. І. Льїнська, Н. Є. Твердохлебова, О. В. Толстоусова, О. М. Близнюк, Т. В. Гавриш, С. В. Станкевич, І. В. Забродіна, О. В. Жулінська

Соапсток є багатотоннажним відходом олієжирової галузі, утилізація якого є екологічно небезпечною. Перспективною є переробка соапстоку на цінні для промисловості продукти, зокрема, жирні кислоти.

Досліджено спосіб одержання жирних кислот, який полягає в послідовному омиленні соапстоку розчином натрій гідроксиду, висолованні натрій хлоридом та розкладанні розчином сірчаної кислоти.

Особливістю роботи є дослідження впливу умов висоловвання омиленого соапстоку на вихід та число нейтралізації жирних кислот.

В якості дослідного зразку використано соняшниковий соапсток, показники якого відповідають ДСТУ 5033 (CAS 68952-95-4): масова частка загального жиру – 67,3 %, жирних кислот – 61,8 %, нейтрального жиру – 5,5 %.

Соапсток піддавали попередньому омиленню за умов: тривалість 85 хв., концентрація розчину натрій гідроксиду 45 %. Після цього омилену масу піддавали висоловванню. Одержане ядрове мило розклали розчином сірчаної кислоти за умов: температура 90 °С, тривалість 40 хв.

Встановлено раціональні умови висоловвання: тривалість (80 хв.) та концентрацію натрій хлориду (16 %). За цих умов вихід жирних кислот становить 95,0 %, число нейтралізації – 194,8 мг КОН/г. Одержані жирні кислоти відповідають ДСТУ 4860 (CAS 61788-66-7): масова частка вологи та летких речовин – 0,85 %, масова частка загального жиру – 98,9 %, глибина розщеплення – 94,2 % олеїнової кислоти.

Даний спосіб обробки соапстоку дає можливість збільшити вихід жирних кислот на 3,5 % у порівнянні із способом з омиленням та розкладанням, на 20,3 % у порівнянні із способом розкладання соапстоку сірчаною кислотою. При цьому число нейтралізації збільшується на 4,1 % та 8,2 % відповідно.

Удосконалений спосіб одержання жирних кислот із соапстоку дозволяє виробляти жирні кислоти підвищеної якості із збільшеним виходом.

**Ключові слова:** жирові відходи, соапсток, мильна маса, висоловвання, жирні кислоти, число нейтралізації.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.249485**

### **РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ БІЛЯ АВТОТРАС (с. 30–39)**

**М. М. Біляєв, В. А. Козачина, В. В. Біляєва, Т. І. Русакова, О. В. Берлов, Ю. А. Мала**

Автотраса є інтенсивним джерелом забруднення довкілля. Найшвидшому антропогенному впливу піддається атмосферне повітря. Тому особливо важливим завданням є мінімізація рівня забруднення атмосферного повітря біля автотрас. Ефективним методом вирішення цього завдання є застосування захисних бар'єрів різної форми, що встановлюються біля автотрас. На стадії проектування даних захисних засобів виникає важливе завдання щодо оцінки їх ефективності.

Оцінка ефективності захисних бар'єрів методом фізичного експерименту потребує значного часу на постановку, проведення експерименту та аналіз результатів фізичного моделювання. Цей метод не завжди є зручним під час проведення проектних робіт. Альтернативним методом є метод математичного моделювання. Для проектувальника дуже важливо мати математичні моделі, які дозволяють швидко отримувати прогнозний результат та врахувати комплекс важливих факторів, від яких залежить ефективність захисного бар'єру.

Розроблено метод, що дозволяє оцінити ефективність використання захисних бар'єрів для зниження рівня забруднення атмосферного повітря біля автотраси. Встановлено, що збільшення висоти бар'єру на 80 % приводить до зниження концентрації домішки за бар'єром на 22 %. Виявлено, що при використанні бар'єру висотою 1,5 м приводить до зменшення концентрації домішки на 26 % у прилеглих до автотраси спорудах. Розроблено метод для оцінки ефективності використання поглинаючих «TX Active» поверхонь на захисному бар'єрі, що розташований біля автотраси. В результаті проведених досліджень виявлено, що використання бар'єру з однією «TX Active» поверхнею приводить до зниження концентрації NO за бар'єром в середньому на 43 %. При використанні бар'єру з двома «TX Active» поверхнями зниження концентрації NO за бар'єром складає в середньому 85 %.

**Ключові слова:** забруднення повітря, захисний бар'єр, автотраса, чисельне моделювання, «TX Active» поверхня.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.248252**

### **РОЗРОБКА ТА ЛАБОРАТОРНІ ВИПРОБУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В УМОВАХ ПОЖЕЖ НА СТИХІЙНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩАХ (с. 40–48)**

**І. В. Бондаренко, О. В. Яворовська, І. Н. Дудар, О. С. Зюзь, С. В. Бойченко, І. О. Куберський, І. А. Шкільнюк, Б.М. Комариста, І. М. Джигирей, В. І. Бендюг**

Проведено аналіз сучасної проблематики складування твердих побутових відходів, зокрема розглянуто проблему забруднення навколишнього середовища при займанні несорттованих твердих побутових відходів (ТПВ). Розроблено технологію підвищення екологічної безпеки та забезпечення зниження техногенного навантаження на атмосферу, гідросферу та літосферу у разі пожеж на місцях складування ТПВ. Функціонування обладнання з урахуванням усіх передбачених режимів роботи та додаткових опцій є енергозберігаючим та автоматичним (або напівавтоматичним), що робить його особливо актуальним в умовах сучасності. Технологія значно підвищує оперативність процесів ліквідації загоряння ТПВ та локалізації його екологічних наслідків для прилеглих до сміттєзвалищ територій.

Проведено лабораторні випробування, що довели ефективність практичного застосування в умовах розробленого обладнання нової екологічно активної адсорбційної суміші з метою очищення фільтрату відходів, її використання для утворення протифільтраційного екрану в насадку ТПВ. Досліди показали, що зразок водної суспензії запропонованої екологічно активної суміші адсорбує кальцій (на 92 %), залізо загальне (на 91 %), фосфор загальний (на 75 %), цинк (на 31 %), амоній (на 19 %). Це призводить до зниження загальної токсичності розчину і вказує на можливість підвищення екологічної безпеки загоряння відходів в умовах експлуатації запропонованого технічного рішення шляхом очищення фільтрату, що виділяється при пожежах на звалищах.

Отримані результати та зокрема технологія локалізації екологічних наслідків неконтрольованого загоряння відходів можна використовувати у процесі модернізації технічного забезпечення схем санітарної очистки населених пунктів.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, димові гази, адсорбційна суспензія, протифільтраційний екран.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245713****ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ВОГНЕЗАХИЩЕНУ ТКАНИНУ ДО ДЕРЕВИНИ (с. 49–56)****Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко**

При термічній дії на деревину при застосуванні захисного екрану з вогнезахисної тканини є закономірним процес передавання температури. Доведено, що залежно від теплофізичних властивостей покриття вогнезахисної тканини це може призвести до різного ступеня передавання тепла. Тому постає необхідність дослідження умов для встановлення низької теплопровідності та встановлення механізму гальмування передачі тепла до деревини. У зв'язку з цим розроблена математична модель процесу передавання тепла до деревини при її захисті екраном з вогнезахисної тканини. За експериментальними даними з визначення температури на не обігрітій поверхні тканини і отриманими залежностями визначено густину теплового потоку, що передається до деревини через вогнезахисну тканину. Так, з наростанням температури густина теплового потоку до поверхні деревини через захисний екран з вогнезахисної захисної покриття на основі «Firewall-Attic» збільшується до значення понад  $16 \text{ кВт/м}^2$ , що не достатнє для займання деревини. Натомість, густина теплового потоку через захисний екран з вогнезахисної тканини захисної покриття на основі «Firewall-Wood» не перевищила  $14 \text{ кВт/м}^2$ . Це дозволяє стверджувати про відповідність виявленого механізму формування теплоізолювальних властивостей при захисті деревини та практичну привабливість запропонованих технологічних рішень. Таким чином, особливості гальмування процесу передавання тепла до деревини через захисний екран з вогнезахисної тканини при дії радіаційної панелі, полягають в утворенні тепло ізолювального шару піно коксу при розкладі покриття. Так, на поверхні вогнезахисної тканини була створена температура понад  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ , а на не обігрітій поверхні тканини не перевищила  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ , що недостатнє для займання деревини.

**Ключові слова:** вогнезахист деревини, спучуючі покриття, теплопровідність, оброблення поверхні, теплофізичні властивості.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.249105****УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ТА КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ДО ПОШИРЕННЯ ПОЛУМ'Я ДОВГИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ (с. 57–68)****Р. І. Кравченко, П. О. Ілющенко, А. Є. Онищук, О. В. Зазимко**

Проаналізовано методи випробування на поширення полум'я довгих елементів системи електропроводки, зокрема кабелів, кабельних трубопроводів, коробів, та виявлено в них різниці в умовах випробування і критеріях оцінки стійкості до поширення полум'я.

Із використанням основи з дерев'яної дошки, вкритої шаром пакувального паперу з поверхневою густиною  $(21 \pm 9) \text{ г/м}^2$ , прийнятої для випробування інших елементів системи електропроводки, виявлено кабель, не стійкий до поширення полум'я. Запропоновано для випробування на поширення полум'я кабелів використання цієї основи замість основи з подвійного шару фільтрувального паперу з поверхневою густиною  $(80 \pm 15) \text{ г/м}^2$ .

В одному з трьох експериментів виявлено нестійкий до поширення полум'я кабель за критерієм наявності займання основи, розміщеної під ним. Для зменшення ризику прийняття неправильно рішення про відповідність запропоновано оцінку довгих елементів системи електропроводки здійснювати за правилами, встановленими для кабельних коробів, лотків і драбин в EN 50085-1 та IEC 61537.

Для кабелю АВВГ із зовнішнім діаметром від 10 мм до 60 мм за умови його торкання блакитним конусом полум'я  $1 \text{ кВт}$  коефіцієнт кореляції залежності довжини зугленої частини від діаметра становив 0,969. За відстані 100 мм між зразком і пальником вздовж його осі отримано коефіцієнт кореляції 0,985. Запропоновано випробувати кабелі за другої умови, рекомендованої в IEC 60695-11-2.

Для двох кабельних трубопроводів виявлено поширення полум'я за умови прикладання полум'я  $1 \text{ кВт}$  впродовж 120 с та 240 с. Проте для цих трубопроводів поширення полум'я не відбувалося за стандартних умов прикладання такого полум'я впродовж 20 с і 25 с. Для виявлення нестійких до поширення полум'я довгих елементів системи електропроводки запропоновано випробувати їх за тривалості прикладання полум'я  $1 \text{ кВт}$ , установленної для кабелів у IEC 60332-1-2.

**Ключові слова:** електротехнічний виріб, кабель електричний та оптичний, кабельний трубопровід, пожежна безпека, поширення полум'я, система електропроводки.