

## ABSTRACT AND REFERENCES

## ECOLOGY

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238732**  
**IMPROVING THE ECOLOGICAL SAFETY OF POTATO CHIPS PRODUCTION BY DEVISING A METHOD FOR WASTEWATER TREATMENT AND RECYCLING (p. 6–13)**

**Oksana Hetta**

National Technical University  
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1762-6953>

**Oleksii Shestopalov**

National Technical University  
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6268-8638>

**Viktor Duhaneys**

State Agrarian and Engineering University in Podilia,  
 Kamianets-Podilskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3383-5907>

**Olena Shubravska**

Institute of the Economy and Forecasting of  
 the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2109-9308>

**Oleksandr Rudkovskiy**

Institute of the Economy and Forecasting of  
 the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
 Warsaw University of Life Sciences, Warszawa, Poland  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1551-7865>

**Nadiia Paraniak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6673-4002>

**Nataliia Riazanova-Khytrovska**

National Technical University  
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6022-1070>

**Olena Maksimenko**

National Technical University  
 «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3730-2400>

The study deals with determining the effectiveness of mechanical and physical and chemical methods for the treatment of wastewater of potato chips enterprises. It was established that the wastewater that is formed at different stages of production differ in composition. Wastewater after washing and peeling potatoes is contaminated mainly with suspended soil substances of about 500 mg/l, which are not settled, and also has soluble organic substances with a value of COD of about 1,000 mg/l.

It was found that the use of coagulation-flocculation treatment makes it possible to get clear water suitable for reuse for washing potatoes. Coagulant – aluminum sulfate in the amount of 250 mg/l turned out to be effective to destroy the stability of the dispersed system. To intensify the sedimentation of coagulated flakes of suspended particles, non-ionogenic flocculant, which is recommended to be dosed

after the introduction of coagulant in the amount of 2.5 ml/l, was selected. Analysis of clarified water indicates a decrease in the concentration of suspended particles up to 26 mg/l and a decrease in COD and BOD<sub>5</sub> to values of 262 mg/l and 176 mg/l, respectively.

The completed studies made it possible to propose a circuit of treatment of wastewater after washing potatoes, which consists of pre-filtering, reagent treatment, water clarification, and sediment dehydration. This circuit makes it possible to intensively clean the water to the standards of its discharge into the sewage network. However, additional disinfection of water with oxidizers, for example, ozone, was proposed for the reuse of clarified water to wash vegetables at an enterprise itself.

The use of the proposed circuit of intensive water treatment will allow increasing the environmental safety of the production of potato chips by preventing environmental contamination through reducing the volume of tap water consumption.

**Keywords:** flocculation, coagulation, the greening of production, wastewater, environmental safety, production of potato chips, settling, centrifuging, suspended particles, physicochemical methods of treatment.

## References

1. Malovanyi, M. S., Diachok, V. V., Sakhnevych, Ya. M. (2008). Analiz perspektyv ochyshchennia stokiv kharchovykh vyrobnytstv. Ekolohiya dovkillia ta bezpeka zhyttiediyalnosti, 5, 72–75. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/5613/12-Malovany.pdf?sequence=1>
2. Shestopalov, O., Hetta, O., Rykusova, N. (2019). Modern methods of wastewater treatment of the food industry. Ecological Sciences, 2, 20–27. doi: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2019-2-25-4>
3. Shonina, N. A. (2015). Vodopol'zovanie i ochistka stochnykh vod predpriyatiy po pererabotke ovoschey i fruktov. Opyt Germanii. Santekhnika, 3, 34–39. Available at: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles/30/6144/6144.pdf](https://www.abok.ru/for_spec/articles/30/6144/6144.pdf)
4. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyly «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu» (DSanPiN 2.2.4-171-10). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
5. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31998L0083>
6. National Primary Drinking Water Regulations. Available at: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
7. Ahmad, A. L., Ismail, S., Bhatia, S. (2005). Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Palm Oil Mill Effluent Using Response Surface Methodology. Environmental Science & Technology, 39 (8), 2828–2834. doi: <https://doi.org/10.1021/es0498080>
8. Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y., Wu, T. Y. (2016). Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. Industrial & Engineering Chemistry Research, 55 (16), 4363–4389. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04703>

9. Al Asheh, S., Aidan, A. (2017). Operating Conditions of Coagulation-Flocculation Process for High Turbidity Ceramic Wastewater. *Journal of Water And Environmental Nanotechnology*, 2 (2), 80–87. Available at: <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=575587>
10. Hu, C., Liu, H., Qu, J., Wang, D., Ru, J. (2006). Coagulation behavior of aluminum salts in eutrophic water: significance of Al<sup>13</sup> species and pH control. *Environmental Science & Technology*, 40 (1), 325–331. doi: <https://doi.org/10.1021/es051423+>
11. Miller, S. M., Fugate, E. J., Craver, V. O., Smith, J. A., Zimmerman, J. B. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntiaspp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12), 4274–4279. doi: <https://doi.org/10.1021/es7025054>
12. Gurses, A., Yalcin, M., Dogar, C. (2003). Removal of Remazol Red RB by using Al (III) as coagulant-flocculant: effect of some variables on settling velocity. *Water, Air, and Soil Pollution*, 146, 297–318. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1023994822359>
13. Saritha, V., Srinivas, N., Srikanth Vuppala, N. V. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7 (1), 451–460. doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>
14. Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O. (2016). Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (84)), 35–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085>
15. Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O., Raiko, V. (2017). A study of the flocculs strength of polydisperse coal suspensions to mechanical influences. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 13–20. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00268>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237532

**ANALYSIS OF Cr(III) IONS ADSORPTION ON THE SURFACE OF ALGAE: IMPLICATIONS FOR THE REMOVAL OF HEAVY METAL IONS FROM WATER (p. 14–23)**

**Zhadra Tattibayeva**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9164-4220>

**Sagdat Tazhibayeva**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3300-3235>

**Wojciech Kujawski**

Nicolaus Copernicus University in Torun, Torun, Poland

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8020-8108>

**Bolatkhan Zayadan**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4572-2416>

**Kuanyszbek Musabekov**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1114-1901>

**Akbota Adilbekova**

Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-4771>

For purposeful control of the adsorption process, a comprehensive study of the properties of the original cells and the effect of metal ions on them is necessary. In this regard, the features of the adsorption of Cr(III) ions on the cell surface of *Spirulina platensis* algae were studied. FTIR spectroscopy revealed that the main functional groups responsible for the binding of Cr(III) ions are carboxyl, hydroxyl, amino, and phosphate groups on the surface of algae. The adsorption data were processed using the Langmuir and Freundlich models. It is shown that the maximum adsorption of Cr(III) ions on the surface of algae cells is 31.25 mg/g. The Freundlich constant  $1/n$  is 0.65.

The study of the effect of the concentration of Cr(III) ions on the Zeta-potential of algae cells revealed an abnormal increase in the negative value of the  $\zeta$  – potential at  $10^{-5}$  mol/L, caused by the release of an additional amount of anionic functional groups to the surface. A further increase in the concentration of Cr(III) ions in the algae suspension leads to a decrease in the  $\zeta$  – potential and recharge of the surface at  $C > 10^{-2}$  mol/L. It was found that the adsorption of Cr(III) ions also affects the morphology of the cell surface. If before contact with Cr(III) ions, the surface of algae cells is represented as a uniform green grid, after adsorption of Cr(III) ions, the surface becomes green-brown, with swollen spirals. The study of the effect of pH on the adsorption and desorption processes shows an increase in the desorption of Cr(III) ions from the surface of algae during acidification of the medium. The adsorption reaches a maximum value in the pH range of 6–7. In the region of optimal Cr(III)/biosorbent ion ratios, the recovery rate of Cr(III) reaches 98.5–99.3 %.

**Keywords:** algae, *Spirulina platensis*, Cr(III) ions, removal degree, adsorption, Zeta-potential.

**References**

1. Mustapha, M. U., Halimoon, N. (2015). Microorganisms and Biosorption of Heavy Metals in the Environment: A Review Paper. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 7 (5). doi: <http://doi.org/10.4172/1948-5948.1000219>
2. Barakat, M. A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4 (4), 361–377. doi: <http://doi.org/10.1016/j.arabc.2010.07.019>
3. Ayangbenro, A., Babalola, O. (2017). A New Strategy for Heavy Metal Polluted Environments: A Review of Microbial Biosorbents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (1), 94. doi: <http://doi.org/10.3390/ijerph14010094>
4. Suresh Kumar, K., Dahms, H.-U., Won, E.-J., Lee, J.-S., Shin, K.-H. (2015). Microalgae – A promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 329–352. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.019>
5. Li, P.-S., Tao, H.-C. (2013). Cell surface engineering of microorganisms towards adsorption of heavy metals. *Critical Reviews in Microbiology*, 41 (2), 140–149. doi: <http://doi.org/10.3109/1040841x.2013.813898>
6. Farhan, S. N., Khadom, A. A. (2015). Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by *Saccharomyces Cerevisiae*. *International Journal of Industrial Chemistry*, 6 (2), 119–130. doi: <http://doi.org/10.1007/s40090-015-0038-8>

7. Yin, K., Wang, Q., Lv, M., Chen, L. (2019). Microorganism remediation strategies towards heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 360, 1553–1563. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.226>
8. Ramirez Calderón, O. A., Abdeldayem, O. M., Pugazhendhi, A., Rene, E. R. (2020). Current Updates and Perspectives of Biosorption Technology: an Alternative for the Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Current Pollution Reports*, 6 (1), 8–27. doi: <http://doi.org/10.1007/s40726-020-00135-7>
9. Samuel, R. T., Menon, L. P., Bhavana, V., Sathya, P. (2019). Studies on Phycoremediation of *Chlorpyrifos* and Heavy Metal Chromium Using Algae. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 9, 2230–7605. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/330619850>
10. Shokri Khoubestani, R., Mirghaffari, N., Farhadian, O. (2014). Removal of three and hexavalent chromium from aqueous solutions using a microalgae biomass-derived biosorbent. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34 (4), 949–956. doi: <http://doi.org/10.1002/ep.12071>
11. Asnaoui, H., Khalis, M., Laaziri, A., Elbougarrani, O. (2014). Decontamination of a solution of chromium IV by marine algae (*ulva-lactuca*). *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1, 62.
12. Prasad, A., Singh, A. K., Chand, S., Chanotiya, C. S., Patra, D. D. (2010). Effect of Chromium and Lead on Yield, Chemical Composition of Essential Oil, and Accumulation of Heavy Metals of Mint Species. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41 (18), 2170–2186. doi: <http://doi.org/10.1080/00103624.2010.504798>
13. Bulgariu, D., Bulgariu, L. (2012). Equilibrium and kinetics studies of heavy metal ions biosorption on green algae waste biomass. *Bioresource Technology*, 103 (1), 489–493. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.016>
14. Hassan, S. W., Kassas, H. Y. (2012). Biosorption of cadmium from aqueous solutions using a local fungus *Aspergillus cristatus* (Glaucus Group). *African Journal of Biotechnology*, 11 (9), 2276–2286. doi: <http://doi.org/10.5897/ajb11.3140>
15. Jencarova, J., Luptakova, A. (2012). The elimination of heavy metal ions from waters by biogenic iron sulphide. *Chemical Eng. Transaction*, 28, 205–210. doi: <https://doi.org/10.3303/CET1228035>
16. Ali, H. S., Kandil, N. F. E. S., Ibraheem, I. B. M. (2020). Biosorption of  $Pb^{2+}$  and  $Cr^{3+}$  ions from aqueous solution by two brown marine macroalgae: an equilibrium and kinetic study. *Desalination and water treatment*, 206, 250–262. doi: <http://doi.org/10.5004/dwt.2020.26314>
17. Hu, Q., Liu, Y., Gu, X., Zhao, Y. (2017). Adsorption behavior and mechanism of different arsenic species on mesoporous  $MnFe_2O_4$  magnetic nanoparticles. *Chemosphere*, 181, 328–336. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.049>
18. Tavengwa, N., Cukrowska, E., Chimuka, L. (2014). Synthesis of bulk ion-imprinted polymers (IIPs) embedded with oleic acid coated  $Fe_3O_4$  for selective extraction of hexavalent uranium. *Water SA*, 40 (4), 623–630. doi: <http://doi.org/10.4314/wsa.v40i4.7>
19. Tounsadi, H., Khalidi, A., Abdennouri, M., Barka, N. (2015). Biosorption potential of *Diplotaxis harra* and *Glebionis coronaria* L. biomasses for the removal of  $Cd(II)$  and  $Co(II)$  from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3 (2), 822–830. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2015.03.022>
20. Rahman, M. S., Sathasivam, K. V. (2015). Heavy Metal Adsorption onto *Kappaphycussp.* from Aqueous Solutions: The Use of Error Functions for Validation of Isotherm and Kinetics Models. *BioMed Research International*, 2015, 1–13. doi: <http://doi.org/10.1155/2015/126298>
21. Dmytryk, A., Saeid, A., Chojnacka, K. (2014). Biosorption of Microelements by *Spirulina*: Towards Technology of Mineral Feed Supplements. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–15. doi: <http://doi.org/10.1155/2014/356328>
22. Marzbali, M. H., Mir, A. A., Pazoki, M., Pourjamshidian, R., Tabeshnia, M. (2017). Removal of direct yellow 12 from aqueous solution by adsorption onto spirulina algae as a high-efficiency adsorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2), 1946–1956. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.03.018>
23. Chojnacka, K., Chojnacki, A., Górecka, H. (2005). Biosorption of  $Cr^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  ions by blue-green algae *Spirulina sp.*: kinetics, equilibrium and the mechanism of the process. *Chemosphere*, 59 (1), 75–84. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.005>
24. Lakhbayeva, Zh., Kurmangazhy, G., Tazhibayeva, S., Artykova, D., Musabekov, K. (2019). Possibility of water purification from  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  and  $Cr^{3+}$  by using vermiculite. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 54 (3), 603–609.
25. Rezaei, H. (2016). Biosorption of chromium by using *Spirulina sp.* *Arabian Journal of Chemistry*, 9 (6), 846–853. doi: <http://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.11.008>
26. Leusbrock, I., Metz, S. J., Rexwinkel, G., Versteeg, G. F. (2010). The solubilities of phosphate and sulfate salts in supercritical water. *The Journal of Supercritical Fluids*, 54 (1), 1–8. doi: <http://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.03.003>
27. Maignan, A., Bréard, Y., Guilmeau, E., Gascoin, F. (2012). Transport, thermoelectric, and magnetic properties of a dense  $Cr_2S_3$  ceramic. *Journal of Applied Physics*, 112 (1), 013716. doi: <http://doi.org/10.1063/1.4736417>
28. Gojkovic, Z., Shchukarev, A., Ramstedt, M., Funk, C. (2020). Cryogenic X-ray photoelectron spectroscopy determines surface composition of algal cells and gives insights into their spontaneous sedimentation. *Algal Research*, 47, 101836. doi: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101836>
29. Hadjoudja, S., Deluchat, V., Baudu, M. (2010). Cell surface characterisation of *Microcystis aeruginosa* and *Chlorella vulgaris*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342 (2), 293–299. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.10.078>
30. Sigel, A., Sigel, H., Sigel, R. K. O. (2011). *Metal Ions in Life Sciences*. Royal Society of Chemistry, 8.
31. Gupta, V. K., Nayak, A., Agarwal, S. (2015). Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects. *Environmental Engineering Research*, 20 (1), 1–18. doi: <http://doi.org/10.4491/eer.2015.018>
32. Monteiro, C. M., Castro, P. M. L., Malcata, F. X. (2012). Metal uptake by microalgae: Underlying mechanisms and practical applications. *Biotechnology Progress*, 28 (2), 299–311. doi: <http://doi.org/10.1002/btpr.1504>
33. Bishnoi, N. R., Kumar, R., Kumar, S., Rani, S. (2007). Biosorption of  $Cr(III)$  from aqueous solution using algal biomass *spirogyra spp.* *Journal of Hazardous Materials*, 145 (1-2), 142–147. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.093>
34. Bertagnolli, C., da Silva, M. G. C., Guibal, E. (2014). Chromium biosorption using the residue of alginate extraction from *Sargassum filipendula*. *Chemical Engineering Journal*, 237, 362–371. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.024>
35. Podolskaya, V. I., Voytenko, E. Yu., Yakubenko, L. N., Ulberg, Z. R., Tsyganovich, E. A., Ermakov, V. N., Grischenko, N. I. (2010). Vliyanie slabogo impulsnogo elektricheskogo polya na vzaimodeystvie nekotorykh mikroorganizmov c ionami serebra i medi. *Nanostrukturnoe materialovedenie*,

- 2, 64–72. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/62715>
36. König-Péter, A., Kilar, F., Felinger, A., Pernyeszi, T. (2015). Biosorption characteristics of *Spirulina* and *Chlorella* cells to accumulate heavy metals. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80 (3), 407–419. doi: <http://doi.org/10.2298/jsc140321060p>
  37. Rehman, A., Shakoori, F. R., Shakoori, A. R. (2008). Heavy metal resistant freshwater ciliate, *Euplotes mutabilis*, isolated from industrial effluents has potential to decontaminate wastewater of toxic metals. *Bioresource Technology*, 99 (9), 3890–3895. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.007>
  38. Gagrai, M. K., Das, C., Golder, A. K. (2013). Reduction of Cr(VI) into Cr(III) by *Spirulina* dead biomass in aqueous solution: Kinetic studies. *Chemosphere*, 93 (7), 1366–1371. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.021>
  39. Zhang, R., Tian, Y. (2020). Characteristics of natural biopolymers and their derivative as sorbents for chromium adsorption: a review. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2 (1). doi: <http://doi.org/10.1186/s42825-020-00038-9>
  40. Lodi, A., Soletto, D., Solisio, C., Converti, A. (2008). Chromium(III) removal by *Spirulina platensis* biomass. *Chemical Engineering Journal*, 136 (2-3), 151–155. doi: <http://doi.org/10.1016/j.cej.2007.03.032>
  41. Jobby, R., Jha, P., Yadav, A. K., Desai, N. (2018). Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A comprehensive review. *Chemosphere*, 207, 255–266. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.050>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239102**  
**DETERMINATION OF INFLUENCE OF pH ON REACTION MIXTURE OF FERRITATION PROCESS WITH ELECTROMAGNETIC PULSE ACTIVATION ON THE PROCESSING OF GALVANIC SLUDGE (p. 24–30)**

**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>

**Tetiana Arhatenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2516-2906>

This paper considers prospects for increasing the level of environmental safety of industrial enterprises as a result of the implementation of resource-saving technology of processing galvanic sludge using the ferritization method. The effectiveness of the use of electromagnetic pulse discharges for resource-saving activation of the ferritization process with the extraction of heavy metal ions from sludge (Fe, Ni, Cu, Zn) has been confirmed. The influence of key parameters of the process such as the pH value of the reaction mixture and the initial concentrations of metals in the solution on the quality of processing galvanic sludge by ferritization has been experimentally investigated. It was determined that with an

increase in the pH value from 8.5 to 10.5 the residual concentrations of metal ions decrease to the values of  $0.1 \pm 0.25 \text{ mg/dm}^3$  regardless of the total initial concentrations. It has been established that the technique of electromagnetic pulse activation ensures an adequate degree of extraction of metal ions of 99.9 %; it also has indisputable energy advantages compared to the thermal method: energy costs are reduced by more than 60 %. That indicates the suitability of purified water for reuse in galvanic production in terms of the requirements for the content of heavy metal ions in it. In addition, the structural studies of ferritization sediment samples have been carried out. The sediment is characterized by the maximum content of crystalline ferromagnetic phases of ferrite. It was established that an increase in the pH of the initial reaction mixture leads to an increase in the ferrite phase in sedimentation: at pH=10.5, phases were detected, which are characterized by a maximum ferrite content (exceeding 76 %). The proposed resource-saving ferritization process prevents environmental pollution, ensures efficient and rational utilization of raw materials and energy in the industry; it also makes it possible to obtain commodity products from industrial waste.

**Keywords:** ferritization, galvanic sludge, heavy metals, ferrite sediment, electromagnetic pulse discharges.

#### References

1. 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>
2. Chelnokov, A. A., Yuschenko, L. F., Zhmykov, I. N., Yuraschik, K. K. (2018). *Obraschenie s othodami*. Minsk: Vysheysshaya shkola, 457. Available at: <https://vshph.com/upload/inf/978-985-06-2865-7.pdf>
3. 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>
4. Vitkalova, I. A., Uvarova, A. S., Pikalov, E. S., Selivanov, O. G. (2020). Lanthanum oxide application for modifying the properties of chemically resistant ceramics produced with Galvanic Sludge additive. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8 (8), 4544–4547. doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/81882020>
5. Tsvetkov, M. P., Milanova, M. M., Cherkezova-Zheleva, Z. P., Tsoncheva, T. S., Zaharieva, J. T., Abrashev, M. V., Mitov, I. G. (2021). Catalytic and photocatalytic properties of zinc-nickel ferrites. *Journal of Chemical Sciences*, 133 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s12039-020-01882-2>
6. 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>
7. Bocanegra, J. J. C., Mora, E. E., González, G. I. C. (2019). Galvanic sludges: Effectiveness of red clay ceramics in the retention of heavy metals and effects on their technical properties. *Environmental Technology & Innovation*, 16, 100459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100459>
8. Kolosova, A., Pikalov, E., Selivanov, O. (2020). Ceramic Bricks Production Basing on Low-Plasticity Clay and Galvanic Sludge Addition. *Advances in Intelligent Systems and*

- Computing, 426–431. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_39)
9. Villamarin-Barriga, E., Canacúan, J., Londoño-Larrea, P., Solís, H., De La Rosa, A., Saldarriaga, J. F., Montero, C. (2020). Catalytic Cracking of Heavy Crude Oil over Iron-Based Catalyst Obtained from Galvanic Industry Wastes. *Catalysts*, 10 (7), 736. doi: <https://doi.org/10.3390/catal10070736>
  10. Krivenko, P., Kovalchuk, O., Pasko, A. (2018). Utilization of Industrial Waste Water Treatment Residues in Alkali Activated Cement and Concretes. *Key Engineering Materials*, 761, 35–38. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.761.35>
  11. 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>
  12. 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>
  13. 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>
  14. 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>
  15. 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>
  16. Ying, Y., Xiong, X., Wang, N., Zheng, J., Yu, J., Li, W. et al. (2021). Low temperature sintered MnZn ferrites for power applications at the frequency of 1 MHz. *Journal of the European Ceramic Society*, 41 (12), 5924–5930. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.05.013>
  17. Frolova, L. A. (2018). The mechanism of nickel ferrite formation by glow discharge effect. *Applied Nanoscience*, 9 (5), 845–852. doi: <https://doi.org/10.1007/s13204-018-0767-z>
  18. Khabarov, Y., Veshnyakov, V., Kuzyakov, N., Pankina, G. (2017). The Interaction of Iron(II) Cations with Chromate Anions in the Presence of Lignosulfonates. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2017, Energy and Clean Technologies. doi: <https://doi.org/10.5593/sgem2017h/43/s18.031>
  19. 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>
  20. John, M., Heuss-Aßbichler, S., Tandon, K., Ullrich, A. (2019). Recovery of Ag and Au from synthetic and industrial wastewater by 2-step ferritization and Lt-delafofossite process via precipitation. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.12.001>
  21. Yemchura, B., Kochetov, G., Samchenko, D., Prikhna, T. (2021). Ferritization-Based Treatment of Zinc-Containing Wastewater Flows: Influence of Aeration Rates. *Environmental Science and Engineering*, 171–176. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51210-1\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51210-1_29)
  22. Kochetov, G., Prikhna, T., Samchenko, D., Kovalchuk, O. (2019). Development of ferritization processing of galvanic waste involving the energy-saving electromagnetic pulse activation of the process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (102)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184179>
  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, G., Prikhna, T., Samchenko, D., Prisyazhna, 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, 9–18. doi: <https://doi.org/10.4024/n22ko20a.ntp.17.01>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238952

**THERMAL DESTRUCTION OF POLYMERS:  
ANALYSIS OF THE PROCESS PHYSICO-CHEMICAL  
PARAMETERS (p. 31–37)**

**Oleksii Sezonenko**

The Gas Institute of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6386-2044>

**Oleksii Vasechko**

The Gas Institute of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2919-6348>

**Viktor Aleksyeyenko**

The Gas Institute of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9060-4902>

This experimental study has confirmed that during thermal decomposition of polymeric waste samples at a temperature of 850 °C, without oxygen access, there is a 90 % drop in the mass of this waste with the release of a large volume of gaseous products. This feature should be taken into consideration in the engineering calculations of reaction chambers, reactors, and connecting gas pipelines. The analytical study was carried out by a method of thermodynamic analysis using the universal estimation system Astra (TERRA). It has been shown that with an increase in reaction temperature there is a change in the composition of the products of thermal destruction of polymeric waste by reducing the mole fraction of CH<sub>4</sub> and increasing the proportion of H<sub>2</sub>. The calorific value was calculated according to Mendeleev's empirical formula. The experimental study (a pyrolysis-gas chromatography method) has confirmed the calculation results regarding an increase in the proportion of hydrogen in the gaseous products of destruction with an increase in process temperature.

As a result, due to the lower volumetric heat of hydrogen combustion, the total caloric content of the synthesis gas obtained is significantly reduced. For the experiments, a laboratory installation of low-temperature pyrolysis of polymers with external supply of thermal energy was built, and synthesis gas was used as an energy carrier.

At the experimental-industrial installation, by a low-temperature pyrolysis method, the synthesis gas of a stable composition with a lower heat of combustion of 24.8 kJ/m<sup>3</sup> was obtained. The reliability of the results of the proposed estimation method to the results of instrumental measurements has been shown.

Promising areas of further studies have been determined, including the optimization of processes of thermal destruction of chlorine-containing polymer waste; the effective use of hydrogen from the composition of the synthesis gas obtained.

**Keywords:** solid household waste, destruction, pyrolysis, synthesis gas, hydrocarbons, polymers.

## References

- Martignon, G. P.; Johansson, I., Edo, M. (Eds.) (2020). Report on Trends in the use of solid recovered fuels. IEA Bioenergy. Available at: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/05/Trends-in-use-of-solid-recovered-fuels-Main-Report-Task36.pdf>
- Plastics – the Facts 2020. PlasticsEurope. Available at: [https://www.plasticseurope.org/application/files/5716/0752/4286/AF\\_Plastics\\_the\\_facts-WEB-2020-ING\\_FINAL.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5716/0752/4286/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf)
- Ciuffi, B., Chiamonti, D., Rizzo, A. M., Frediani, M., Rosi, L. (2020). A Critical Review of SCWG in the Context of Available Gasification Technologies for Plastic Waste. *Applied Sciences*, 10 (18), 6307. doi: <https://doi.org/10.3390/app10186307>
- Comanita, E.-D., Hlihor, R. M., Ghinea, C., Gavrilescu, M. (2016). Occurrence of plastic waste in the environment: ecological and health risks. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15 (3), 675–685. doi: <https://doi.org/10.30638/eeemj.2016.073>
- Singh, D., Sotiriou, G. A., Zhang, F., Mead, J., Bello, D., Wohlleben, W., Demokritou, P. (2016). End-of-life thermal decomposition of nano-enabled polymers: effect of nanofiller loading and polymer matrix on by-products. *Environmental Science: Nano*, 3 (6), 1293–1305. doi: <https://doi.org/10.1039/c6en00252h>
- Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy (2018). COM/2018/028 final. European Commission. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2018:28:FIN>
- Saebea, D., Ruengrit, P., Arpornwichanop, A., Patcharavonratchot, Y. (2020). Gasification of plastic waste for synthesis gas production. *Energy Reports*, 6, 202–207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.043>
- Wróblewska-Krepsztul, J., Rydzkowski, T. (2020). Pyrolysis and incineration in polymer waste management system. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, 3 (4), 337–342. doi: <https://doi.org/10.30464/jmee.2019.3.4.337>
- Posada, E., Saenz, G. (2019). Waste to Energy and Syngas. Sustainable Alternative Syngas Fuel [Working Title]. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.85848>
- Fedorov, L. A. (1993). Dioksiny kak ekologicheskaya opasnost': Retrospektiva i perspektivy. Moscow: Nauka, 266.
- Karp, I. N., Vasechko, A. A., Alekseenko, V. V., Sezenenko, A. B. (2011). Tekhnologii utilizatsii meditsinskih otdodov. *Energotekhnologii i resursosberezhenie*, 3, 43–48.
- Vasechko, O. O., Sezenenko, O. B., Aleksieienko, V. V., Samokatov, K. A. (2019). Utylizatsiya polimernykh ta ridkykh medychnykh spyrtomisnykh vidkhodiv. *Zb. tez XXXVII naukovy-tekhnichnoi konferentsiyi molodykh vchenykh ta spetsialistiv Instytutu problem modeliuвання v enerhetytsi im. H. Ye. Pukhova NAN Ukrainy*. Kyiv, 73–75. Available at: <https://ipme.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/05/%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%B0%D0%BB%D0%B8-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97-2019.pdf>
- Aleksieienko, V. V., Vasechko, O. O., Sezenenko, O. B. (2021). Pat. No. 148052. Ustanovka dlia utylizatsiyi vidkhodiv, shcho mistiat vuhlevoden. No. u202100537; declared: 09.02.2021; published: 30.06.2021, Bul. No. 26. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&Id-Claim=276891&sid=678651d55fe4935ea5ae1eeea0b1fa15>
- Ustinov, V. A., Kozlita, A. N., Lyulkin, M. S. (2011). Accounting chemistry of the process when selecting the temperature regime in the pyrolysis unit. *Elektronniy nauchniy zhurnal «Neftegazovoe delo»*, 3, 208–214. Available at: [https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/472649e9e9385da0fe9731b14041ee6d/Vuebor\\_temperaturnogo\\_rezhima\\_v\\_aparate\\_piroлиза\\_3184328\\_\(z-lib.org\).pdf](https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/472649e9e9385da0fe9731b14041ee6d/Vuebor_temperaturnogo_rezhima_v_aparate_piroлиза_3184328_(z-lib.org).pdf)
- PSA Hydrogen Purification Plants | Mahler AGS. Available at: <https://www.mahler-ags.com/hydrogen/hydroswing/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239157

## DEFINING FEATURES IN THE KINETICS OF SODIUM CARBONATE-BICARBONATE SOLUTION CARBONIZATION AND THE QUALITY OF THE RESULTING SODIUM BICARBONATE CRYSTALS (p. 38–44)

**Mykola Porokhnia**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3135-9000>

**Musii Tseitlin**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2452-7814>

**Svitlana Bukhhalo**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1389-6921>

**Vladimir Panasenko**

State Institution «State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0441-9063>

**Tetiana Novozhylova**

National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2551-6954>

This paper reports a study into the influence of temperature and gas consumption on the carbonization kinetics (saturation with carbon dioxide) of sodium carbonate-

bicarbonate solution. The study also examined the quality and speed of crystal formation in this process. This research is predetermined by the environmental problems faced by modern enterprises that produce purified sodium bicarbonate – an insufficient degree of carbonization and, as a result, excessive air pollution with carbon dioxide, which did not participate in the reaction during the process. This study addresses these particular issues. As a result of using specialized laboratory equipment, it was found that an increase in the absorbent temperature from 79 to 85 °C leads to a decrease in the maximum degree of carbonization of the solution from 64 to 59 %. In contrast, the quality of the resulting sodium bicarbonate crystals improves but only in the range from 79 to 82 °C. With a further increase in temperature, the quality stabilizes. It is shown that the carbonization rate increases with increasing specific consumption of the absorbent (carbon dioxide) and is characterized by a negative correlation with the value of oversaturation of the absorbent in terms of NaHCO<sub>3</sub>. The quality of sodium bicarbonate crystals decreases with increasing gas velocity. Thus, it was reasonable to assume that the established dependence of the kinetics of carbonization of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and NaHCO<sub>3</sub> solution on the gas velocity in the apparatus is explained by the inhibition of CO<sub>2</sub> absorption, which is caused by the diffusion resistance of sodium bicarbonate crystallization. To improve the quality of crystals and the productivity of carbonization by reducing the supersaturation in terms of NaHCO<sub>3</sub>, it is recommended to introduce a seed crystal in the zone of binding of crystals in the carbonization columns.

**Keywords:** sodium bicarbonate, sodium bicarbonate production, carbonization, carbon dioxide absorption, absorption kinetics.

## References

- Porokhnia, M. F., Shestopalov, O. V. (2019). Analiz vplyvu sodovoho vyrobnytstva na stan navkolyshnoho seredovyscha na terytoriyi Indiyi. Materialy XIII mizhnar. nauk.-tekh. konf. «Problemy ekolohiyi ta enerhozberezhennia». Mykolaiv, 52–53.
- Kolmanovskiy, I. I. (1964). Proizvodstvo dvuuglekislogo natriya (bikarbonata). Moscow: Himiya, 166.
- Lee, J. H., Lee, D. W., Kwak, C., Kang, K., Lee, J. H. (2019). Technoeconomic and Environmental Evaluation of Sodium Bicarbonate Production Using CO<sub>2</sub> from Flue Gas of a Coal-Fired Power Plant. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58 (34), 15533–15541. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b02253>
- Dvornichenko, K. I. (1958). Kristallizatsiya bikarbonata natriya pri karbonizatsii rastvora Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> i NaHCO<sub>3</sub>. *Trudy NIOHIM*, 11, 67–89.
- Maharloo, D. G., Darvishi, A., Davand, R., Saidi, M., Rahimpour, M. R. (2017). Process intensification and environmental consideration of sodium bicarbonate production in an industrial soda ash bubble column reactor by CO<sub>2</sub> recycling. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 20, 318–327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.06.005>
- Goharizi, A. S., Abolpour, B. (2011). Estimation of sodium bicarbonate crystal size distributions in a steady-state bubble column reactor. *Research on Chemical Intermediates*, 38 (7), 1389–1401. doi: <https://doi.org/10.1007/s11164-011-0470-0>
- Wylock, C. E., Larcy, A., Cartage, T., Haut, B. (2009). Computational Modeling of an Industrial Column. *Chemical Product and Process Modeling*, 4 (5). doi: <https://doi.org/10.2202/1934-2659.1386>
- Mohammad, A. F., El-Naas, M. H., Suleiman, M. I., Musharfy, M. A. (2016). Optimization of a Solvay-Based Approach for CO<sub>2</sub> Capture. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7 (4), 230–234. doi: <https://doi.org/10.18178/ijcea.2016.7.4.579>
- Yeh, J. T., Resnik, K. P., Rygle, K., Pennline, H. W. (2005). Semi-batch absorption and regeneration studies for CO<sub>2</sub> capture by aqueous ammonia. *Fuel Processing Technology*, 86 (14-15), 1533–1546. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2005.01.015>
- Lyu, Y., Brusseau, M. L. (2017). Optimizing the Gas Absorption/Chemical Reaction Method for Measuring Air-Water Interfacial Area in Porous Media. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228 (12). doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3637-5>
- Karlsson, H., Svensson, H. (2017). Rate of Absorption for CO<sub>2</sub> Absorption Systems Using a Wetted Wall Column. *Energy Procedia*, 114, 2009–2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1335>
- Lyu, Y., Brusseau, M. L., El Ouni, A., Araujo, J. B., Su, X. (2017). The Gas-Absorption/Chemical-Reaction Method for Measuring Air-Water Interfacial Area in Natural Porous Media. *Water Resources Research*, 53 (11), 9519–9527. doi: <https://doi.org/10.1002/2017wr021717>
- Tan, L. S., Shariff, A. M., Lau, K. K., Bustam, M. A. (2012). Factors affecting CO<sub>2</sub> absorption efficiency in packed column: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18 (6), 1874–1883. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.05.013>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237884**  
**ESTABLISHING PATTERNS OF MASS TRANSFER UNDER THE ACTION OF WATER ON THE HYDROPHOBIC COATING OF THE FIRE-RETARDANT ELEMENT OF A TENT (p. 45–51)**

**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>

**Zinovii Sirko**

Ukrainian State Research Institute «Resource», Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5197-9237>

**Roman Vasylyshyn**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

**Oleksandr Melnyk**

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3967-4710>

**Aleksii Tsapko**

Ukrainian State Research Institute «Resource», 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>

**Anatolii Karpuk**

National University of Life and  
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7619-4161>

This paper reports an analysis of the flame retardants for fabrics that has revealed the fact that the meagerness of data to explain and describe the process of fire protection, specifically the neglect of elastic coatings, leads to that the structures made from fabrics are ignited under the influence of a flame. Devising reliable methods to study the fire protection conditions for fabrics results in the design of new types of fireproof materials. Therefore, there is a need to determine the conditions for the formation of a barrier for water mass transport and to establish a mechanism for slowing down water penetration through the material. In this regard, an estimation-experimental method has been constructed for determining mass transfer under the action of water when using a hydrophobic coating, which makes it possible to assess water penetration. Based on the experimental data and theoretical dependences, the intensity of mass flow under the action of water has been determined, which is  $0.000177 \text{ kg/m}^2$ , which ensures fabric resistance. The study results have proven that the process of waterproofing the fabric involves inhibition of the mass transfer process under the action of water by insulating the surface of the fireproof fabric with a hydrophobic coating. It should be noted that the presence of a hydrophobic coating leads to blocking the fabric surface from moisture penetration. Such a mechanism behind the effect of the hydrophobic coating is likely the factor in adjusting the process through which the integrity of an object is preserved. Thus, the sample of fireproof fabric coated with a water repellent demonstrated, after exposure to water, that the amount of water absorbed did not exceed  $0.00012 \text{ kg}$ , and, for a fabric without a water repellent, was  $0.01 \text{ kg}$ . Thus, there is reason to assert the possibility of targeted adjustment of the processes related to water penetration of the fabric by using hydrophobic coatings that could form a protective layer on the surface of the material, which inhibits the rate of water penetration.

**Keywords:** protective equipment, canvas fabric, mass transfer of water, water penetration, surface treatment of fabric, hydrophobic coatings.

**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>
- Dolez, P. I., Tomer, N. S., Malajati, Y. (2018). A quantitative method to compare the effect of thermal aging on the mechanical performance of fire protective fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136 (6), 47045. doi: <https://doi.org/10.1002/app.47045>
- 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>
- Kundu, C. K., Song, L., Hu, Y. (2020). Sol-gel coatings from DOPO-alkoxysilanes: Efficacy in fire protection of polyamide 66 textiles. *European Polymer Journal*, 125, 109483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109483>
- Malucelli, G. (2020). Sol-Gel and Layer-by-Layer Coatings for Flame-Retardant Cotton Fabrics: Recent Advances. *Coatings*, 10 (4), 333. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings10040333>
- Nosaka, T., Lankone, R., Westerhoff, P., Herckes, P. (2020). Flame retardant performance of carbonaceous nanomaterials on polyester fabric. *Polymer Testing*, 86, 106497. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106497>
- 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>
- Dietzel, Y. (2015). Development of a environmentally friendly, halogen-free flame-retardant coating on the basis of high-performance submicron metal hydroxides. *Gummi, Fasern, Kunststoffe*, 68 (7), 490–496. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/286865483\\_Development\\_of\\_a\\_environmentally](https://www.researchgate.net/publication/286865483_Development_of_a_environmentally)
- 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, 012057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012057>
- 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., Zavialov, D., Bondarenko, O., Marchenco, 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>
- Janna, W. S. (2009). *Engineering Heat Transfer*. CRC Press, 692. doi: <https://doi.org/10.1201/9781439883143>
- Timmerhuis, N. A. B., Wood, J. A., Lammertink, R. G. H. (2021). Connecting experimental degradation kinetics to



theoretical models for photocatalytic reactors: The influence of mass transport limitations. *Chemical Engineering Science*, 245, 116835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116835>

20. Tsapko, Yu. V., Zhartovskiy, V. M. (2009). Doslidzhennia protsesiv masoperenosu antypirenu u vohnbiozakhyscheniy derevyni. *Naukovyi visnyk UkrNDIPB*, 1 (19), 118–126.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238555**  
**SHORT-TERM FORECAST OF FIRE IN THE PREMISES BASED ON MODIFICATION OF THE BROWN'S ZERO-ORDER MODEL (p. 52–58)**

**Boris Pospelov**

Scientific-methodical Center of Educational Institutions in the Sphere of Civil Defence, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0957-3839>

**Evgeniy Rybka**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5396-5151>

**Oleksii Krainiukov**

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

**Oleksandr Yashchenko**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7129-389X>

**Yuliia Bezuhla**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4022-2807>

**Serhii Bielai**

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0841-9522>

**Eduard Kochanov**

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8443-4054>

**Svitlana Hryshko**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Melitopol, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5054-3893>

**Eduard Poltavski**

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7434-7061>

**Oleksandr Nepsha**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Melitopol, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3929-9946>

This paper reports the rationale for the modification of Brown's zero-order model, which ensures increased accuracy of the short-term fire forecast based on the use of the current

measure of recurrence in the increments of the state of the air environment in the premises. A special feature of the proposed model modification is that the a priori model of the dynamics of the level of the time series of the measure of the current recurrence of increments in the air environment states determined by the dangerous factors of the fire has been modified. In this case, it is proposed that the new a priori model should take into consideration additionally the value of the current increments of the level of the studied time series. That makes it possible to negligibly reduce errors of the short-term forecast of fire in the premises without significantly complicating Brown's zero-order model while retaining all its implementing advantages. The provided accuracy of the forecast for one step in advance on the basis of a time series of measures of the current recurrence of increments of the state of the air environment, determined from the experimental data during the ignition of alcohol and timber in a laboratory chamber, has been investigated. The considered quantitative indicators of forecast accuracy are the absolute and average errors exponentially smoothed with a parameter of 0.4. It has been established that for the proposed modification the value of the average absolute error does not exceed 0.02 %. That means that an error of the short-term forecast of a fire in the premises based on the proposed modification is an order of magnitude less than that in the case of using known Brown's model at the smoothing parameter from an unclustered set. The results from the ignition of alcohol and timber in the laboratory chamber, in general, indicate significant advantages of using the proposed modification of Brown's zero-order model for a short-term forecast of a fire in the premises.

**Keywords:** fire forecast, Brown's model modification, ignition, current recurrence measure, state vector increment.

## References

1. 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. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99>
2. Migalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskyi, 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727>
3. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Koloskov, V., Suchikova, Y. (2018). Substantiation of expedience of application of high-temperature utilization of used tires for liquefied methane production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2 (87), 77–84. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2830>
4. Vambol, S., Vambol, V., Sobyna, V., Koloskov, V., Poberezhna, L. (2018). Investigation of the energy efficiency of waste utilization technology, with considering the use of low-temperature separation of the resulting gas mixtures. *Energetika*, 64 (4). doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i4.3893>
5. Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnyaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9 (1), 9–20. doi: <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>

6. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Suchikova, Y., Hurenko, O. (2017). Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (87)), 63–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102314>
7. Otrosh, Y., Kovalov, A., Semkiv, O., Rudeshko, I., Diven, V. (2018). Methodology remaining lifetime determination of the building structures. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02023. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002023>
8. Vasyukov, A., Loboichenko, V., Bushtec, S. (2016). Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. *Ecology, Environment and Conservation*, 22 (3), 1171–1176.
9. Ahrens, M., Everts, B. (2020). Fire loss in the United States during 2019. *National Fire Protection Association*, 11. Available at: <https://www.nfpa.org/~media/fd0144a044c84fc5baf90c05c04890b7.ashx>
10. Koshmarov, Yu. A., Puzach, S. V., Andreev, V. V. (2012). *Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeschenii*. Moscow: AGPS MChS Rossii, 126.
11. Otrosh, Y., Semkiv, O., Rybka, E., Kovalov, A. (2019). About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>
12. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P. (2018). Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (93)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133127>
13. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Examining the learning fire detectors under real conditions of application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (87)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101985>
14. Ahn, C.-S., Kim, J.-Y. (2011). A study for a fire spread mechanism of residential buildings with numerical modeling. *Safety and Security Engineering IV*. doi: <https://doi.org/10.2495/safe110171>
15. Webber, C. L., Ioana, C., Marwan, N. (Eds.) (2016). *Recurrence plots and their quantifications: expanding horizons*. International Symposium on Recurrence Plots. Grenoble, 380. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29922-8>
16. Sadkovyi, V., Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Rud, A. et. al. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>
17. Turcotte, D. L. (1997). *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174695>
18. Poulsen, A., Jomaas, G. (2011). Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings. *Fire Technology*, 48 (2), 419–439. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0230-0>
19. Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. *Journal of West China Forestry Science*, 39, 148.
20. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. *Journal of Combustion Science and Technology*, 9, 139.
21. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.
22. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
23. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (95)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142995>
24. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (88)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108448>
25. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S., Shcherbak, S. (2017). Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117789>
26. Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2010). *Random data: analysis and measurement procedures*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
27. Shafi, I., Ahmad, J., Shah, S. I., Kashif, F. M. (2009). Techniques to Obtain Good Resolution and Concentrated Time-Frequency Distributions: A Review. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2009 (1). doi: <https://doi.org/10.1155/2009/673539>
28. Singh, P. (2016). Time-frequency analysis via the fourier representation. HAL, 1–8. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330/document>
29. Pretrel, H., Querre, P., Forestier, M. (2005). Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments. *Fire Safety Science*, 8, 1217–1228. doi: <https://doi.org/10.3801/iafss.fss.8-1217>
30. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Romin, A. (2018). Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122419>
31. Stankovic, L., Dakovic, M., Thayaparan, T. (2014). Time-frequency signal analysis. Kindle edition, 655.
32. Avargel, Y., Cohen, I. (2010). Modeling and Identification of Nonlinear Systems in the Short-Time Fourier Transform Domain. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58 (1), 291–304. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2009.2028978>
33. Giv, H. H. (2013). Directional short-time Fourier transform. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 399 (1), 100–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2012.09.053>
34. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequencytemporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125926>
35. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilov, M., Krainiukov, O., Biryukov, I. et. al. (2021). Development of the

method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>

36. Sinaga, H., Irawati, N. (2020). A Medical Disposable Supply Demand Forecasting By Moving Average And Exponential Smoothing Method. *Proceedings of the Proceedings of the 2nd Workshop on Multidisciplinary and Applications (WMA) 2018, 24-25 January 2018, Padang, Indonesia*. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.24-1-2018.2292378>
37. Svetun'kov, S. G. (2002). O rasshirenii granits primeneniya metoda Brauna. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov*, 3, 94–107.
38. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T. et. al. (2021). Short-term fire forecast based on air state gain recurrence and zero-order Brown model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233606>
39. Chetyrkin, E. M. (1977). *Statisticheskie metody prognozirovaniya*. Moscow: Statistika, 200.
40. Marwan, N. (2011). How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 21 (04), 1003–1017. doi: <https://doi.org/10.1142/s0218127411029008>
41. Webber, Jr. C. L., Zbilut, J. P.; Riley, M. A., Van Orden, G. C. (Eds.) (2005). Chapter 2. Recurrence quantification analysis of nonlinear dynamical systems. *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences*, 26–94. Available at: <https://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05057/nmbs/nmbs.pdf>
42. Orlova, I. V., Polovnikov, V. A. (2010). *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli: komp'yuternoe modelirovanie*. Moscow: INFRA-M, 366.
43. Pospelov, B., Rybka, E., Togobytska, V., Meleshchenko, R., Danchenko, Y., Butenko, T. et. al. (2019). Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 22–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176579>
44. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Karpets, K., Pirohov, O. et. al. (2019). Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239201

**INCREASING WORKERS COMFORT: EXPERIMENT OF THE EFFECT OF COLOR AND LIGHTING IN ASSEMBLY MANUFACTURE (p. 59–67)**

**Iftitah Ruwana**

National Institute of Technology (ITN Malang),  
Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0718-6886>

**Pratikto**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3286-0705>

**Sugiono**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1605-5124>

**Oyong Novareza**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-9690>

Color and light are the main factors in the car manufacturing industry, with not much research, conducted on this topic, related to employee physical comfort. The factor affecting employee work comfort is the color factor and lighting time in their workplace environment. Color is the light, reflected by an object, then interpreted by the eye based on the light that hits the object. The value of the color wavelength in the spectrum of 380 nm to 780 nm impacts worker performance. Good lighting will affect whether or not the room's light conditions affect the illumination's value. A good working room condition will affect the physical comfort of employees. This research aims to measure and determine the impact of color and lighting at specific color wavelengths on the illumination value and the employee's physical comfort. It starts with studying the color, light, human comfort, then examines the effect on the manufacturing industry employees' performance in the wiring installation assembly industry. Color and light settings are proven essential to get better human comfort. Green color with a wavelength of 490 nm to 570 can increase the highest illuminate average lux value of 12.43 %. Yellow can increase the heart rate by 4.85 %, while green can reduce Diastole by 2.95 % and Systole by 1.29 %. Pupillary size changes *L* by 23.17 % and *R* by 21.43 %. The effect of green color and lighting time can increase the value of illumination and decrease heart rate, blood pressure, and pupil size so that it impacts the physical comfort of employees.

**Keyword:** human comfort, manufacture assembly, work station color, level light intensity.

**Reference**

1. Ahmadi, M., Zakerian, S. A., Salmanzadeh, H. (2017). Prioritizing the ILO/IEA Ergonomic Checkpoints' measures; a study in an assembly and packaging industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 59, 54–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.03.002>
2. Kahya, E. (2007). The effects of job characteristics and working conditions on job performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 37 (6), 515–523. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.02.006>
3. Ortiz, M. A., Kurvers, S. R., Bluysen, P. M. (2017). A review of comfort, health, and energy use: Understanding daily energy use and wellbeing for the development of a new approach to study comfort. *Energy and Buildings*, 152, 323–335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.060>
4. Jalil, N. A., Yunus, R. M., Said, N. S. (2012). Environmental Colour Impact upon Human Behaviour: A Review. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 35, 54–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.062>
5. Berger, B. G., Motl, R. W. (2000). Exercise and mood: A selective review and synthesis of research employing the profile of mood states. *Journal of Applied Sport Psychology*, 12 (1), 69–92. doi: <https://doi.org/10.1080/10413200008404214>
6. Southern comfort (1983). *Nature*, 306 (5945), 720–720. doi: <https://doi.org/10.1038/306720b0>
7. Asadzadeh, S. M., Azadeh, A., Negahban, A., Sotoudeh, A. (2013). Assessment and improvement of integrated HSE and macro-ergonomics factors by fuzzy cognitive maps: The case of a large gas refinery. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26 (6), 1015–1026. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.03.007>

8. Taha, Z., Soewardi, H., Dawal, S. Z. M. (2014). Axiomatic design principles in analysing the ergonomics design parameter of a virtual environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44 (3), 368–373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.007>
9. Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics*, 49 (14), 1496–1507. doi: <https://doi.org/10.1080/00140130600858142>
10. Eljak, S. A., Hassan, H. A., Gorafi, Y. S. A., Mohamed Ahmed, I. A., Ali, M. Z. A. (2018). Effect of fertilizers application and growing environment on physicochemical properties and bread making quality of Sudanese wheat cultivar. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17 (4), 376–384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.09.002>
11. Tantanatewin, W., Inkarojrit, V. (2016). Effects of color and lighting on retail impression and identity. *Journal of Environmental Psychology*, 46, 197–205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.04.015>
12. De Korte, E. M., Spiekman, M., Hoes-van Oeffelen, L., van der Zande, B., Vissenberg, G., Huiskes, G., Kuijt-Evers, L. F. M. (2015). Personal environmental control: Effects of pre-set conditions for heating and lighting on personal settings, task performance and comfort experience. *Building and Environment*, 86, 166–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.002>
13. Dianat, I., Vahedi, A., Dehnavi, S. (2016). Association between objective and subjective assessments of environmental ergonomic factors in manufacturing plants. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 54, 26–31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.12.004>
14. Bian, Y., Luo, T. (2017). Investigation of visual comfort metrics from subjective responses in China: A study in offices with daylight. *Building and Environment*, 123, 661–671. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.035>
15. Zainordin, N. B., Abdullah, S. M. B., Baharum, Z. B. A. (2012). Light and Space: Users Perception towards Energy Efficient Buildings. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 36, 51–60. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.006>
16. Azadeh, A., Sheikhalishahi, M. (2015). An Efficient Taguchi Approach for the Performance Optimization of Health, Safety, Environment and Ergonomics in Generation Companies. *Safety and Health at Work*, 6 (2), 77–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2014.11.001>
17. Bhattacharyya, D., Chowdhury, B., Chatterjee, T., Pal, M., Majumdar, D. (2014). Selection of character/background colour combinations for onscreen searching tasks: An eye movement, subjective and performance approach. *Displays*, 35 (3), 101–109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2014.03.002>
18. Iacomussi, P., Radis, M., Rossi, G., Rossi, L. (2015). Visual Comfort with LED Lighting. *Energy Procedia*, 78, 729–734. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.082>
19. Mikellides, B. (2017). Colour psychology. *Colour Design*, 193–214. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101270-3.00008-4>
20. Boduch, M., Fincher, W. (2009). Standards of Human Comfort. Seminar in Sustainable Architecture. Available at: [https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/preliminary/preliminary/1-Boduch\\_Fincher-Standards\\_of\\_Human\\_Comfort.pdf](https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/preliminary/preliminary/1-Boduch_Fincher-Standards_of_Human_Comfort.pdf)
21. Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., Cajochen, C. (2011). Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert? *PLoS ONE*, 6 (1), e16429. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016429>
22. Hunt, R. W. G. (2004). *The Reproduction of Colour*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/0470024275>
23. Gamito, M., Silva, F. M. da. (2015). Color Ergonomic Function in Urban Chromatic Plans. *Procedia Manufacturing*, 3, 5905–5911. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.901>
24. Azadeh, A., Roudi, E., Salehi, V. (2017). Optimum design approach based on integrated macro-ergonomics and resilience engineering in a tile and ceramic factory. *Safety Science*, 96, 62–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.02.017>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238732

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИРОБНИЦТВА ЧИПСІВ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ТА РЕЦИКЛІНГУ СТІЧНИХ ВОД (с. 6–13)****О. С. Гетта, О. В. Шестопапов, В. І. Дуганець, О. В. Шубравська, О. В. Рудковський, Н. М. Параняк, Н. В. Рязанова-Хитровська, О. А. Максименко**

Дослідження присвячено визначенню ефективності механічних і фізико-хімічних методів очищення стічних вод підприємства картопляних чипсів. Встановлено, що стічні води, які утворюються на різних етапах виробництва відрізняються за складом. Стічна вода після миття та чищення картоплі забруднена переважно завислими ґрунтовими речовинами близько 500 мг/л, які не відстоюються, а також має розчинні органічні речовини зі значенням ХСК близько 1000 мг/л.

Встановлено, що використання коагуляційно-флокуляційної очистки дозволяє отримати прозору воду, придатну до повторного використання її для миття картоплі. Ефективним для порушення стійкості дисперсної системи виявився сульфат алюмінію в кількості 250 мг/л. Для інтенсифікації осідання скоагульованих пластівців завислих часток підібрано неіоногенний флокулянт, який рекомендовано дозувати після введення коагулянту в кількості по 2,5 мл/л. Встановлено залежність зміни швидкості осадження флокул від кількості флокулянту. Аналіз освітленої води свідчить про зниження концентрації завислих часток до 26 мг/л та зменшення ХСК та БСК<sub>5</sub> до значень 262 мг/л та 176 мг/л відповідно.

Виконані дослідження дозволили запропонувати схему очищення стічної води після миття картоплі, яка складається з попереднього проціджування, реагентної обробки, освітлення води та зневоднення осаду. Ця схема дозволяє інтенсивно очистити воду до норм скидання у каналізаційну мережу. Однак для повторного використання освітленої води для миття овочем на самому виробництві запропоновано додаткове знезараження води окиснювачами, наприклад, озоном.

Використання запропонованої схеми інтенсивного очищення води дозволить підвищити екологічну безпеку виробництва чипсів шляхом попередження забруднення довкілля зниження обсягів використання водопровідної води.

**Ключеві слова:** флокуляція, коагуляція, екологізація виробництва, стічні води, екологічна безпека, виробництво картопляних чипсів, відстоювання, центрифугування, завислі частинки, фізико-хімічні методи очищення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237532

**АНАЛІЗ АДСОРБЦІЇ ІОНІВ Cr(III) НА ПОВЕРХНІ ВОДОРОСТЕЙ: НАСЛІДКИ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ВОДИ (с. 14–23)****Zhadra Tattibayeva, Sagdat Tazhibayeva, Wojciech Kujawski, Bolatkhan Zayadan, Kuanyshbek Musabekov, Akbota Adilbekova**

Для цілеспрямованого управління процесом адсорбції необхідне комплексне вивчення властивостей вихідних клітин і впливу на них іонів металів. У зв'язку з цим були вивчені особливості адсорбції іонів Cr(III) на поверхні клітин водоростей *Spirulina platensis*. Фур'є-спектроскопія показала, що основними функціональними групами, відповідальними за зв'язування іонів Cr(III), є карбоксильні, гідроксильні, аміно- і фосфатні групи на поверхні водоростей. Дані про адсорбцію оброблені з використанням моделей Ленгмюра і Фрейндліха. Показано, що максимальна адсорбція іонів Cr(III) на поверхні клітин водоростей становить 31,25 мг/г. Постійна Фрейндліха  $1/n$  складає 0,65.

Вивчення впливу концентрації іонів Cr(III) на електрокінетичний потенціал клітин водоростей виявило аномальне збільшення від'ємного значення  $\zeta$ -потенціалу при  $10^{-5}$  моль/л, викликане вивільненням на поверхню додаткової кількості аніонних функціональних груп. Подальше збільшення концентрації іонів Cr(III) у суспензії водоростей призводить до зниження  $\zeta$ -потенціалу і перезарядки поверхні при  $C > 10^{-2}$  моль/л. Було виявлено, що адсорбція іонів Cr(III) також впливає на морфологію поверхні клітин. Якщо до контакту з іонами Cr(III) поверхня клітин водоростей являє собою однорідну зелену сітку, то після адсорбції іонів Cr(III) поверхня стає зелено-коричневою, з набряклими спіралями. Вивчення впливу рН на процеси адсорбції і десорбції показує збільшення десорбції іонів Cr(III) з поверхні водоростей при підкисленні середовища. Адсорбція досягає максимального значення в діапазоні рН 6–7. В області оптимальних співвідношень іонів Cr(III)/біосорбенту ступінь вилучення Cr(III) досягає 98,5–99,3 %.

**Ключові слова:** водорості, *Spirulina platensis*; іони Cr(III), ступінь видалення; адсорбція; електрокінетичний потенціал.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239102

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ рН РЕАКЦІЙНОЇ СУМІШІ НА ПРОЦЕС ФЕРИТИЗАЦІЇ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЮ ІМПУЛЬСНОЮ АКТИВАЦІЄЮ НА ПЕРЕРОБКУ ГАЛЬВАНІЧНИХ ШЛАМІВ (с. 24–30)****Г. М. Кочетов, Д. М. Самченко, Т. В. Аргатенко**

Розглянуто перспективи підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств в результаті реалізації ресурсозберігаючої технології переробки гальванічних шламів з використанням методу феритизації. Підтверджено ефективність застосування електромагнітних імпульсних розрядів для проведення ресурсоощадної активації процесу феритизації із вилученням з шламів іонів важких металів (Fe, Ni, Cu, Zn). Експериментально досліджено вплив ключових параметрів процесу – величини рН реакційної суміші та вихідних концентрацій металів в розчині на якість переробки гальванічних шламів феритизацією. Визначено, що при збільшенні величини рН від 8,5 до 10,5 залишкові концентрації іонів металів знижується до значень  $0,1 \pm 0,25$  мг/дм<sup>3</sup> незалежно від сумарних

вихідних концентрацій. Встановлено, що спосіб електромагнітної імпульсної активації забезпечує належний ступінь вилучення іонів металів – 99,9 %, а також має незаперечні енергетичні переваги в порівнянні з термічним методом: енергозатрати знижуються більш ніж на 60 %. Це свідчить про придатність очищеної води для повторного використання на гальванічному виробництві з огляду на вимоги до вмісту в ній іонів важких металів. Також, виконано структурні дослідження зразків осадів феритизації. Осади характеризуються максимальним вмістом кристалічних феромагнітних фаз феритів. Встановлено, що підвищення величини рН вихідної реакційної суміші призводить до збільшення феритної фази в осадах: при рН = 10,5 виявлені фази, які характеризуються максимальним вмістом феритів (понад 76 %). Запропонований ресурсозберігаючий процес феритизації запобігає забрудненню навколишнього середовища, забезпечує ефективне і раціональне використання сировини та енергії в промисловості, а також дозволяє отримати товарні продукти з відходів виробництва.

**Ключові слова:** феритизація, гальванічні шлами, важкі метали, феритні осади, електромагнітні імпульсні розряди.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238952

**ТЕРМІЧНА ДЕСТРУКЦІЯ ПОЛІМЕРІВ: АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ (с. 31–37)**

**О. Б. Сезоненко, О. О. Васечко, В. В. Алексєєнко**

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що при термічному розкладанні зразків полімерних відходів при рівні температур 850 °С, без доступу кисню, відбувається падіння маси цих відходів на 90 % із виділенням великого об'єму газоподібних продуктів. Дану особливість слід неодмінно враховувати при інженерних розрахунках реакційних камер, реакторів та з'єднувальних газоходів. Аналітичні дослідження проведено методом термодинамічного аналізу з використанням універсального розрахункового комплексу Астра (TERRA). Показано, що при збільшенні температури реакції відбувається зміна складу продуктів термічної деструкції полімерних відходів шляхом зменшення мольної частки  $\text{CH}_4$  та збільшення частки  $\text{H}_2$ . Розрахунок теплотворної здатності виконувався за емпіричною формулою Менделєєва. Експериментальними дослідженнями (методом піроліз-газової хроматографії) підтверджено результати розрахунків щодо збільшення частки водню в газоподібних продуктах деструкції при збільшенні температури процесу. В результаті, за рахунок меншої об'ємної теплоти згорання водню, загальна калорійність отриманого синтез-газу суттєво зменшується. Для здійснення експериментів побудовано лабораторну установку низькотемпературного піролізу полімерів з зовнішнім підведенням теплової енергії, причому в якості енергоносія використано синтез-газ.

На дослідно-промисловій установці методом низькотемпературного піролізу отримано синтез-газ стабільного складу з нижчою теплою згорання 24,8 кДж/м<sup>3</sup>. Показано достовірність результатів запропонованого розрахункового методу результатам інструментальних замірів.

Визначені перспективні напрямки подальших досліджень, в тому числі: оптимізації процесів термічної деструкції хлорвмісних полімерних відходів; ефективного використання водню зі складу отриманого синтез-газу.

**Ключові слова:** тверді побутові відходи, деструкція, піроліз, синтез-газ, вуглеводні, полімери.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239157

**ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КІНЕТИКИ КАРБОНІЗАЦІЇ РОЗЧИНУ КАРБОНАТ-ГІДРОКАРБОНАТУ НАТРІЮ ТА ЯКОСТІ ОТРИМАНИХ КРИСТАЛІВ ГІДРОКАРБОНАТУ НАТРІЮ (с. 38–44)**

**М. Ф. Порохня, М. А. Цейтлін, С. І. Бухкало, В. О. Панасенко, Т. Б. Новожилова**

Досліджено вплив температури та витрати газу на кінетику карбонізації (насичення діоксидом вуглецю) розчину карбонат-гідрокарбонату натрію. Також у дослідженні розглядалась якість та швидкість утворення кристалів в цьому процесі. Необхідність цих досліджень обумовлена екологічними проблемами, з якими стикаються сучасні виробництва очищеного гідрокарбонату натрію – недостатня ступінь карбонізації та, як наслідок, надмірне забруднення атмосфери вуглекислим газом, що непрореагує під час чього процесу. Саме на вирішенні цих проблем і побудовані дані дослідження. В результаті використання спеціального лабораторного обладнання знайдено, що зростання температури абсорбенту від 79 до 85 °С призводить до зниження максимального ступеню карбонізації розчину з 64 до 59 %. Якість же отриманих кристалів гідрокарбонату натрію, навпроти, зростає, але тільки в інтервалі від 79 до 82 °С. При подальшому підвищенні температури якість стабілізується. Показано, що швидкість карбонізації зростає з підвищенням питомої витрати абсорбтиву (діоксиду вуглецю) та характеризується негативною кореляцією з величиною пересичення абсорбенту по  $\text{NaHCO}_3$ . Якість кристалів гідрокарбонату натрію зі зростанням швидкості газу знижується. Висловлено обґрунтоване припущення, що знайдена залежність кінетики карбонізації розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та  $\text{NaHCO}_3$  від швидкості газу в апарату пояснюється гальмуванням абсорбції  $\text{CO}_2$ , яке викликане дифузійним опором кристалізації гідрокарбонату натрію. Для підвищення якості кристалів та продуктивності карбонізації шляхом зменшення пересичення по  $\text{NaHCO}_3$  рекомендовано введення затравки в зону зав'язки кристалів у карбонізаційних колонах.

**Ключові слова:** гідрокарбонат натрію; содова промисловість; карбонізація; абсорбція діоксиду вуглецю; кінетика абсорбції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.237884

**ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МАСОПЕРЕНОСУ ПРИ ДІЇ ВОДИ НА ГІДРОФОБНЕ ПОКРИТТЯ ВОГНЕЗАХИЩЕНОГО ЕЛЕМЕНТА НАМЕТУ (с. 45–51)**

**Ю. В. Цапко, З. С. Сірко, Р. Д. Василюшин, О. М. Мельник, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко, А. І. Карпук**

Проведено аналіз вогнезахисних матеріалів для тканин і встановлено, що мізерність даних для пояснення і опису процесу вогнезахисту, нехтування еластичних покриттів, призводить до загорання конструкцій з тканин під дією полум'я. Розробка надійних

методів дослідження умов вогнезахисту тканин призводить до створення нових типів вогнезахисних матеріалів. Тому виникає необхідність визначення умов утворення бар'єру для масопереносу води і встановлення механізму гальмування водонепроникнення через матеріал. У зв'язку з цим розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення масопереносу під дією води при застосуванні гідрофобного покриття, що дозволяє оцінити водонепроникнення. За експериментальними даними та теоретичними залежностями розраховано інтенсивність потоку маси при дії води, який становить  $0,000177 \text{ кг/м}^2$ , що відповідно забезпечує стійкість тканини. У результаті досліджень доведено, що процес водоізолювання тканини полягає в гальмуванні процесу масопереносу при дії води шляхом ізолювання поверхні вогнезахисної тканини гідрофобним покриттям. Слід зазначити, що присутність гідрофобного покриття призводить до закупорки поверхні тканини від проникнення вологи. Вочевидь такий механізм впливу гідрофобного покриття є тим фактором регулювання процесу, завдяки якому зберігається цілісність об'єкту. Так, зразок вогнезахисної тканини покритий гідрофобізатором після експозиції води показав кількість поглинутої води не перевищила  $0,00012 \text{ кг}$ , а для тканини без гідрофобізатора становило  $0,01 \text{ кг}$ . Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів водонепроникнення тканини шляхом застосування гідрофобних покриттів, здатних утворювати на поверхні матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість водонепроникнення.

**Ключові слова:** захисні засоби, парусинова тканина, масоперенос води, водонепроникнення, оброблення поверхні тканини, гідрофобні покриття.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238555

### КОРОТКОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ НА ОСНОВІ МОДИФІКАЦІЇ МОДЕЛІ БРАУНА НУЛЬОВОГО ПОРЯДКУ (с. 52–58)

Б. Б. Поспелов, Є. О. Рибка, О. М. Крайноков, А. А. Яценко, Ю. С. Безугла, С. В. Белай, Е. О. Кочанов, С. В. Гришко, Е. М. Полтавський, О. В. Непша

Виконано обґрунтування модифікації моделі Брауна нульового порядку, що забезпечує підвищену точність короткострокового прогнозу пожежі на основі використання поточної міри рекурентності прирощення стану повітряного середовища в приміщенні. Особливість запропонованої модифікації моделі полягає в тому, що видозмінено апріорну модель динаміки рівня часового ряду міри поточної рекурентності прирощень станів повітряного середовища, яка визначається небезпечними факторами пожежі. При цьому пропонується в новій апріорній моделі враховувати додатково величину поточних приростів рівня досліджуваного часового ряду. Це дозволяє зробити пренебрежимо малими помилки короткострокового прогнозу пожежі в приміщенні без істотного ускладнення моделі Брауна нульового порядку, зберігши при цьому всі її реалізаційні переваги. Досліджена забезпечувана точність прогнозу на один крок вперед на основі часового ряду міри поточної рекурентності прирощень стану повітряного середовища, визначеного за експериментальними даними при загорянні спирту і деревини в лабораторній камері. В якості кількісних показників точності прогнозу розглянуті експоненціально згладжені з параметром  $0,4$  абсолютні і середні помилки. Встановлено, що для запропонованої модифікації величина середньої абсолютної помилки не перевищує  $0,02 \%$ . Це означає, що помилка короткострокового прогнозу пожежі в приміщенні на основі запропонованої модифікації забезпечується меншою на порядок в порівнянні з випадком використання відомої моделі Брауна при параметрі згладжування з позамежної множини. Отримані результати для загоряння спирту і деревини в лабораторній камері в цілому свідчать про суттєві переваги використання для короткострокового прогнозу пожежі в приміщенні запропонованої модифікації моделі Брауна нульового порядку.

**Ключові слова:** прогнозування пожежі, модифікація моделі Брауна, загоряння, міра поточної рекурентності, прирощення вектора стану.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239201

### ПІДВИЩЕННЯ КОМФОРТУ РОБІТНИКІВ: ЕКСПЕРИМЕНТ ВПЛИВУ КОЛЬОРУ ТА ОСВІТЛЕННЯ У ЗБІРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ (с. 59–67)

Iftitah Ruwana, Pratikto, Sugiono, Oyong Novarezca

Колір і світло є основними факторами в автомобільній промисловості, однак по цій темі, пов'язаної з фізичним комфортом співробітників, проводилося небагато досліджень. Серед факторів, що впливають на комфорт роботи співробітників, – колір і час освітлення на робочому місці. Колір – це світло, відбите об'єктом, яке потім інтерпретується оком на основі світла, що падає на об'єкт. Значення довжини хвилі кольору в діапазоні від  $380$  до  $780 \text{ нм}$  впливає на продуктивність праці. Гарне освітлення впливає на умови освітлення в кімнаті, на величину освітленості. Хороший стан робочого приміщення впливає на фізичний комфорт співробітників. Це дослідження спрямоване на вимір і визначення впливу кольору і освітлення з певною довжиною хвилі кольору на величину освітленості і фізичний комфорт співробітника. Воно починається з вивчення кольору, світла, комфорту людини, а потім досліджується вплив на продуктивність працівників обробної промисловості в галузі електромонтажної збірки. Установки кольору та освітлення мають важливе значення для підвищення комфорту людини. Зелений колір з довжиною хвилі від  $490$  до  $570 \text{ нм}$  може збільшити максимальне значення середньої освітленості на  $12,43 \%$ . Жовтий може збільшити частоту серцевих скорочень на  $4,85 \%$ , зелений – зменшити діастолу на  $2,95 \%$  і систолу на  $1,29 \%$ . Зміна розміру зіниці I на  $23,17 \%$  і зміна розміру зіниці II на  $21,43 \%$ . Ефект зеленого кольору і часу освітлення може збільшити яскравість освітлення і знизити частоту серцевих скорочень, артеріальний тиск і розмір зіниці, що вплине на фізичний комфорт співробітників.

**Ключові слова:** комфорт для людини, виробнича збірка, колір робочого місця, рівень освітленості.