

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224435

DEVELOPMENT OF WHITE TEA EXTRACT AS GREEN CORROSION INHIBITOR IN MILD STEEL UNDER 1 M HYDROCHLORIC ACID SOLUTION (p. 6–20)**Agus Paul Setiawan Kaban**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9706-0506>**Aga Ridhova**Indonesian Institute of Sciences, Tangerang Selatan,
Banten, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5619-4340>**Gadang Priyotomo**

Indonesian Institute of Sciences, Serpong, Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6278-3624>**Berna Elya**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2904-6515>**Ahmad Maksu** Politeknik Negeri Jakarta, Kukusan, Kecamatan
Beji,
Depok, Indonesia,ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1800-9137>**Yunita Sadeli**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-3429>**Sutopo**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6977-3202>**Taufik Aditiyawardan**PT. Pertamina Hulu Energi, Kebagusan, Kec. Ps. Minggu, Kota
Jakarta, Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5574-0159>**Rini Riastuti**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-0413>**Johny Wahyuadi Soedarsono**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

This work covers the effectiveness of the White tea extract as a green corrosion inhibitor and is correlated to the strength and stability bonding between the phenolic molecule and the Fe atoms in mild steel and how this interaction can be studied by altering the concentration and temperature. White tea has received considerable attention due to its capability as a corrosion inhibitor and has been extensively studied using electrochemical techniques. However, accurate and systematic functional group identification and surface modification have been missing. Our study sought to demonstrate the quantitative measurement of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) complemented by the FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy), Total Phenolic Test, and Raman Spectroscopy. The SEM (Scanning Electronic Microscope)/EDX (Energy-

Dispersive X-Ray Spectroscopy), and AFM (Atomic Force Microscope) were used to study the surface modification. The EIS results show that the optimum inhibition efficiency was 96 % in a solution of 80 ppm at 60 °C. Acetone 70 % was used to extract White tea and gives 14.17 ± 0.25 % phenolic compound. Spectroscopic studies show -OH, Aromatic C=C, C=O and C-O-C become major contributors in the adsorption process and are found on the surface of metals as corrosion protection. Meanwhile, the thermodynamic calculation shows the White tea was adsorbed chemically. The nearness of R^2 to 1 shows the adsorption agrees with the Langmuir adsorption isotherm. Eventually, the surface modification revealed that phenol molecules are responsible to reduce the corrosion rate at 16.38×10^{-3} mpy. Our results are expected to provide a guideline for future research in White tea as a green corrosion inhibitor.

Keywords: catechin, green corrosion inhibitor, chemisorption, adsorption, surface modification, Langmuir isotherm.

References

- Atta, N. F., Fekry, A. M., Hassaneen, H. M. (2011). Corrosion inhibition, hydrogen evolution and antibacterial properties of newly synthesized organic inhibitors on 316L stainless steel alloy in acid medium. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (11), 6462–6471. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.02.134>
- Pradipta, I., Kong, D., Tan, J. B. L. (2019). Natural organic antioxidants from green tea inhibit corrosion of steel reinforcing bars embedded in mortar. *Construction and Building Materials*, 227, 117058. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117058>
- Goyal, M., Kumar, S., Bahadur, I., Verma, C., Ebenso, E. E. (2018). Organic corrosion inhibitors for industrial cleaning of ferrous and non-ferrous metals in acidic solutions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 565–573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.045>
- Ashassi-Sorkhabi, H., Seifzadeh, D., Hosseini, M. G. (2008). EN, EIS and polarization studies to evaluate the inhibition effect of 3H-phenothiazin-3-one, 7-dimethylamin on mild steel corrosion in 1M HCl solution. *Corrosion Science*, 50 (12), 3363–3370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.09.022>
- Kusumastuti, R., Pramana, R. I., Soedarsono, J. W. (2017). The use of morinda citrifolia as a green corrosion inhibitor for low carbon steel in 3.5% NaCl solution. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4978085>
- Pramana, R. I., Kusumastuti, R., Soedarsono, J. W., Rustandi, A. (2013). Corrosion Inhibition of Low Carbon Steel by *Pluchea Indica* Less. in 3.5% NaCl Solution. *Advanced Materials Research*, 785-786, 20–24. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.785-786.20>
- Subekti, N., Soedarsono, J. W., Riastuti, R., Sianipar, F. D. (2020). Development of environmental friendly corrosion inhibitor from the extract of areca flower for mild steel in acidic media. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (104)), 34–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.197875>
- Ayende, Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Priadi, D., Sulistijono, Suprpta, D. N. et. al. (2014). Interaction of Purple Sweet Potato Extract

- with Ascorbic Acid in FeCl₃ Solution. *Applied Mechanics and Materials*, 680, 32–37. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.680.32>
9. Ayende, Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Priadi, D., Sulistijono, Suprpta, D. N. et. al. (2014). Effects of Purple Sweet Potato Extract Addition in Ascorbic Acid Inhibitor to Corrosion Rate of API 5L Steel in 3.5%NaCl Environment. *Applied Mechanics and Materials*, 709, 384–389. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.709.384>
 10. Guo, L., Obot, I. B., Zheng, X., Shen, X., Qiang, Y., Kaya, S., Kaya, C. (2017). Theoretical insight into an empirical rule about organic corrosion inhibitors containing nitrogen, oxygen, and sulfur atoms. *Applied Surface Science*, 406, 301–306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.02.134>
 11. Lgaz, H., Salghi, R., Jodeh, S., Hammouti, B. (2017). Effect of clozapine on inhibition of mild steel corrosion in 1.0 M HCl medium. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 271–280. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.039>
 12. Lashgari, S. M., Yari, H., Mahdavian, M., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, M. (2020). Unique 2-methylimidazole based Inorganic Building Brick nano-particles (NPs) functionalized with 3-aminopropyltriethoxysilane with excellent controlled corrosion inhibitors delivery performance; Experimental coupled with molecular/DFT-D simulations. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 117, 209–222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.11.035>
 13. Røge, R., Møller, B. K., Andersen, C. R., Correll, C. U., Nielsen, J. (2012). Immunomodulatory effects of clozapine and their clinical implications: What have we learned so far? *Schizophrenia Research*, 140 (1-3), 204–213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.schres.2012.06.020>
 14. 2-methylimidazole named as a hazardous chemical (2020). *Focus on Catalysts*, 2020 (11), 3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.focat.2020.10.011>
 15. Caldona, E. B., Zhang, M., Liang, G., Hollis, T. K., Webster, C. E., Smith, D. W., Wipf, D. O. (2021). Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by simpleazole-based aromatic compounds. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 880, 114858. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114858>
 16. Soedarsono, J. W., Shihab, M. N., Azmi, M. F., Maksun, A. (2018). Study of curcuma xanthorrhiza extract as green inhibitor for API 5L X42 steel in 1M HCl solution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105, 012060. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012060>
 17. Kaban, E. E., Maksun, A., Permana, S., Soedarsono, J. W. (2018). Utilization of secang heartwood (caesalpinia sappan l) as a green corrosion inhibitor on carbon steel (API 5L Gr. B) in 3.5% NaCl environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105, 012062. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012062>
 18. Arlan, A. S., Subekti, N., Soedarsono, J. W., Rustandi, A. (2018). Corrosion Inhibition by a Caesalpinia Sappan L Modified Imidazoline for Carbon Steel API 5L Grade X60 in HCl 1M Environment. *Materials Science Forum*, 929, 158–170. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.929.158>
 19. Ayende, Rachmanda, F., Soedarsono, J. W., Priadi, D., Sulistijono, S. (2013). Corrosion Behavior of API-5L in Various Green Inhibitors. *Advanced Materials Research*, 634-638, 689–695. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.634-638.689>
 20. Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Suharno, B. (2011). The Use of Mixture of Piper Betle and Green Tea as a Green Corrosion Inhibitor for API X-52 Steel in Aerated 3.5 % NaCl Solution at Various Rotation Rates. *Advanced Materials Research*, 383-390, 5418–5425. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.383-390.5418>
 21. Verma, C., Verma, D. K., Ebenso, E. E., Quraishi, M. A. (2018). Sulfur and phosphorus heteroatom-containing compounds as corrosion inhibitors: An overview. *Heteroatom Chemistry*, 29 (4), e21437. doi: <https://doi.org/10.1002/hc.21437>
 22. Loto, R. T. (2018). Surface coverage and corrosion inhibition effect of Rosmarinus officinalis and zinc oxide on the electrochemical performance of low carbon steel in dilute acid solutions. *Results in Physics*, 8, 172–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.003>
 23. Oliveira, P. F., Tomás, G. D., Dias, T. R., Martins, A. D., Rato, L., Alves, M. G., Silva, B. M. (2015). White tea consumption restores sperm quality in prediabetic rats preventing testicular oxidative damage. *Reproductive BioMedicine Online*, 31 (4), 544–556. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2015.06.021>
 24. Ryan, P., Hynes, M. J. (2007). The kinetics and mechanisms of the complex formation and antioxidant behaviour of the polyphenols EGCg and ECG with iron(III). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 101 (4), 585–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2006.12.001>
 25. Pradipta, I., Kong, D., Tan, J. B. L. (2019). Natural organic antioxidants from green tea form a protective layer to inhibit corrosion of steel reinforcing bars embedded in mortar. *Construction and Building Materials*, 221, 351–362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.006>
 26. Yadav, M., Sinha, R. R., Kumar, S., Sarkar, T. K. (2015). Corrosion inhibition effect of spiropyrimidinethiones on mild steel in 15% HCl solution: insight from electrochemical and quantum studies. *RSC Advances*, 5 (87), 70832–70848. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ra14406j>
 27. Verma, C., Olasunkanmi, L. O., Ebenso, E. E., Quraishi, M. A. (2018). Substituents effect on corrosion inhibition performance of organic compounds in aggressive ionic solutions: A review. *Journal of Molecular Liquids*, 251, 100–118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.12.055>
 28. El-Abbasy, H. M., Nazeer, A. A., Fouda, A. S. (2016). Electrochemical assessment of inhibitive behavior of some antibacterial drugs on 316 stainless steel in acidic medium. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 52 (3), 562–573. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205116030084>
 29. Shabri, S., Rohdiana, D. (2016). Optimization and characterization of green tea polyphenol extract from various solvents. *Jurnal Penelitian Teh Dan Kina*, 19 (1). doi: <https://doi.org/10.22302/pptk.jur.jptk.v19i1.82>
 30. Ebenso, E. E., Eddy, N. O., Odiongenyi, A. O. (2008). Corrosion inhibitive properties and adsorption behaviour of ethanol extract of Piper guinensis as a green corrosion inhibitor for mild steel in H₂SO₄. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2 (11), 107–115. Available at: https://www.researchgate.net/publication/285020680_Corrosion_inhibitive_properties_and_adsorption_behaviour_of_ethanol_extract_of_Piper_guinensis_as_a_green_corrosion_inhibitor_for_mild_steel_in_H2SO4
 31. Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 152–178. doi: [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1)
 32. Calderón, J. A., Vásquez, F. A., Carreño, J. A. (2017). Adsorption and performance of the 2-mercaptobenzimidazole as a carbon steel

- corrosion inhibitor in EDTA solutions. *Materials Chemistry and Physics*, 185, 218–226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.10.026>
33. Ghailane, T., Balkhmima, R. A., Ghailane, R., Souizi, A., Touir, R., Ebn Touhami, M. et al. (2013). Experimental and theoretical studies for mild steel corrosion inhibition in 1M HCl by two new benzothiazine derivatives. *Corrosion Science*, 76, 317–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.06.052>
 34. Chelliah, N. M., Padaikathan, P., Kumar, R. (2019). Evaluation of electrochemical impedance and biocorrosion characteristics of as-cast and T4 heat treated AZ91 Mg-alloys in Ringer's solution. *Journal of Magnesium and Alloys*, 7 (1), 134–143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jma.2019.01.005>
 35. Siddiqui, N., Rauf, A., Latif, A., Mahmood, Z. (2017). Spectrophotometric determination of the total phenolic content, spectral and fluorescence study of the herbal Unani drug Gul-e-Zoofa (*Nepeta bracteata* Benth). *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 12 (4), 360–363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2016.11.006>
 36. Piluzza, G., Bullitta, S. (2011). Correlations between phenolic content and antioxidant properties in twenty-four plant species of traditional ethnoveterinary use in the Mediterranean area. *Pharmaceutical Biology*, 49 (3), 240–247. doi: <https://doi.org/10.3109/13880209.2010.501083>
 37. Sedik, A., Lerari, D., Salci, A., Athmani, S., Bachari, K., Gecibesler, İ. H., Solmaz, R. (2020). Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 107, 189–200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.12.006>
 38. Li, X.-H., Deng, S.-D., Fu, H. (2010). Inhibition by *Jasminum nudiflorum* Lindl. leaves extract of the corrosion of cold rolled steel in hydrochloric acid solution. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40 (9), 1641–1649. doi: <https://doi.org/10.1007/s10800-010-0151-5>
 39. Sanni, O., Popoola, A. P. I., Fayomi, O. S. I. (2019). Temperature Effect, Activation Energies and Adsorption Studies of Waste Material as Stainless Steel Corrosion Inhibitor in Sulphuric Acid 0.5 M. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 5 (4). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-019-0280-2>
 40. Singh, A. K., Quraishi, M. A. (2011). Investigation of the effect of disulfiram on corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, 53 (4), 1288–1297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.01.002>
 41. Bentiss, F., Lebrini, M., Lagrenée, M. (2005). Thermodynamic characterization of metal dissolution and inhibitor adsorption processes in mild steel/2,5-bis(n-thienyl)-1,3,4-thiadiazoles/hydrochloric acid system. *Corrosion Science*, 47 (12), 2915–2931. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.05.034>
 42. Khodyrev, Y. P., Batyeva, E. S., Badeeva, E. K., Platova, E. V., Tiwari, L., Sinyashin, O. G. (2011). The inhibition action of ammonium salts of O,O'-dialkyldithiophosphoric acid on carbon dioxide corrosion of mild steel. *Corrosion Science*, 53 (3), 976–983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.11.030>
 43. Scardino, A. J., Hudleston, D., Peng, Z., Paul, N. A., de Nys, R. (2009). Biomimetic characterisation of key surface parameters for the development of fouling resistant materials. *Biofouling*, 25 (1), 83–93. doi: <https://doi.org/10.1080/08927010802538480>
 44. Noorbakhsh Nezhad, A. H., Davoodi, A., Mohammadi Zahrani, E., Arefinia, R. (2020). The effects of an inorganic corrosion inhibitor on the electrochemical behavior of superhydrophobic micro-nano structured Ni films in 3.5% NaCl solution. *Surface and Coatings Technology*, 395, 125946. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125946>
 45. King, A. D., Birbilis, N., Scully, J. R. (2014). Accurate Electrochemical Measurement of Magnesium Corrosion Rates; a Combined Impedance, Mass-Loss and Hydrogen Collection Study. *Electrochimica Acta*, 121, 394–406. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.124>
 46. Sultana, B., Anwar, F., Ashraf, M. (2009). Effect of Extraction Solvent/Technique on the Antioxidant Activity of Selected Medicinal Plant Extracts. *Molecules*, 14 (6), 2167–2180. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>
 47. Bhebbhe, M., Fuller, T. N., Chipurura, B., Muchuweti, M. (2015). Effect of Solvent Type on Total Phenolic Content and Free Radical Scavenging Activity of Black Tea and Herbal Infusions. *Food Analytical Methods*, 9 (4), 1060–1067. doi: <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0270-z>
 48. Villamil, R. F. V., Corio, P., Agostinho, S. M. L., Rubim, J. C. (1999). Effect of sodium dodecylsulfate on copper corrosion in sulfuric acid media in the absence and presence of benzotriazole. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 472 (2), 112–119. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-0728\(99\)00267-3](https://doi.org/10.1016/s0022-0728(99)00267-3)
 49. Porcayo-Calderon, J., Martínez De La Escalera, L. M., Canto, J., Casales-Diaz, M. (2015). Imidazoline derivatives based on coffee oil as CO₂ corrosion inhibitor. *International Journal of Electrochemical Science*, 10 (3), 3160–3176. Available at: https://www.researchgate.net/publication/272942244_Imidazoline_Derivatives_Based_on_Coffee_Oil_as_CO2_Corrosion_Inhibitor
 50. Azizi, S., Mahdavi Shahri, M., Rahman, H., Abdul Rahim, R., Rasheed, A., Mohamad, R. (2017). Green synthesis palladium nanoparticles mediated by white tea (*Camellia sinensis*) extract with antioxidant, antibacterial, and antiproliferative activities toward the human leukemia (MOLT-4) cell line. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 8841–8853. doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s149371>
 51. Li, X.-H., Deng, S.-D., Fu, H., Mu, G.-N. (2009). Inhibition by tween-85 of the corrosion of cold rolled steel in 1.0 M hydrochloric acid solution. *Journal of Applied Electrochemistry*, 39 (7), 1125–1135. doi: <https://doi.org/10.1007/s10800-008-9770-5>
 52. Bahrami, M. J., Hosseini, S. M. A., Pilvar, P. (2010). Experimental and theoretical investigation of organic compounds as inhibitors for mild steel corrosion in sulfuric acid medium. *Corrosion Science*, 52 (9), 2793–2803. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.04.024>
 53. Tarantilis, P. A., Troianou, V. E., Pappas, C. S., Kotseridis, Y. S., Polissiou, M. G. (2008). Differentiation of Greek red wines on the basis of grape variety using attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 111 (1), 192–196. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.020>
 54. Li, X. H., Deng, S. D., Fu, H., Mu, G. N. (2009). Inhibition action of tween-80 on the corrosion of cold rolled steel in sulfuric acid. *Materials and Corrosion*, 60 (12), 969–976. doi: <https://doi.org/10.1002/maco.200905217>
 55. Jurasekova, Z., Domingo, C., Garcia-Ramos, J. V., Sanchez-Cortes, S. (2014). Effect of pH on the chemical modification of quercetin and structurally related flavonoids characterized by optical (UV-visible and Raman) spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16 (25), 12802–12811. doi: <https://doi.org/10.1039/c4cp00864b>

56. Hanesch, M. (2009). Raman spectroscopy of iron oxides and (oxy) hydroxides at low laser power and possible applications in environmental magnetic studies. *Geophysical Journal International*, 177 (3), 941–948. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246x.2009.04122.x>
57. Soler, M. A. G., Qu, F. (2012). Raman Spectroscopy of Iron Oxide Nanoparticles. *Raman Spectroscopy for Nanomaterials Characterization*, 379–416. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20620-7_14
58. Zhong, Y., Ma, C.-M., Shahidi, F. (2012). Antioxidant and antiviral activities of lipophilic epigallocatechin gallate (EGCG) derivatives. *Journal of Functional Foods*, 4 (1), 87–93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.003>
59. Cen, H., Chen, Z., Guo, X. (2019). N, S co-doped carbon dots as effective corrosion inhibitor for carbon steel in CO₂-saturated 3.5% NaCl solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 99, 224–238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.02.036>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228546

DEVELOPMENT OF COALESCENTS FOR PAINTS AND VARNISHES BASED ON IONIC LIQUIDS – THE PRODUCTS OF DIETHANOLAMINE AND INORGANIC ACIDS INTERACTION (p. 21–29)

Yevhenii Levchenko

SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9112-1112>

Olga Sverdlivska

SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-5509>

Denys Chervakov

SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1521-9171>

Oleh Chervakov

SHEI «Ukrainian State University of Chemical Technology»,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1631-3592>

This paper reports the synthesis of ionic liquids through the interaction between diethanolamine and orthophosphate and boric acids in order to establish the possibility of replacing volatile coalescents in a formulation for paints and varnishes with ionogenic compounds. The results from studying the influence of polymeric coalescents based on ionic liquids on the rheological properties of water-dispersion paints and varnishes of different nature are presented. It has been established that the synthesized coalescents could be used to modify the properties of paints and varnishes based on polyurethane and styrene-acrylic aqueous dispersions. It has been shown that the product of the interaction between diethanolamine and boric acid in aqueous solutions forms an ionogenic complex compound with a unipolar conductivity in terms of OH⁻ ions. It was also established that when introduced to the formulation of water-dispersion paints and varnishes, the solutions of modifiers produce a diluting action. The influence of ionic liquids on the process of film formation of aqueous dispersions of polymers and pigmented paints and varnishes based on them was investigated. It was established that the synthesized ionogenic compounds are not inferior, in terms of their effective-

ness, to the widespread conventional industrial coalescents of the Texanol[®] type.

Therefore, there is reason to assert the possibility of replacing the industrial coalescent Texanol[®] in the formulation of pigmented water-dispersion paints and varnishes based on styrene-acrylic and polyurethane dispersions with fundamentally new synthesized ionogenic modifiers. Thus, the coatings with a coalescent based on ion liquid of diethanolamine borate have a higher level of conditional hardness, which exceeds by 17 % the hardness index of the paint made on the basis of the conventional Texanol[®] type coalescent, without changing its decorative properties, such as color and shine.

Keywords: ionic liquid, diethanolamine, boric acid, orthophosphate acid, coalescent, paints and varnishes.

References

- Potapov, A. M., Simbirkina, A. N., Chervakov, O. V., Kisel', V. M. (2016). Development and Prospects of the Application of Synthetic Foam Plastics as Heat-Shielding Materials in Space-Rocket Technologies. *Materials Science*, 52 (1), 1–8. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9919-z>
- Zarras, P., Soucek, M., Tiwari, A. (Eds.) (2020). *Handbook of Waterborne Coatings*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2017-0-00208-2>
- Lu, Y.-Y., Tseng, C.-M., Bunker, J. E., Coopridge, T. E., Most, R. W., Stanich, G. J. (1993). Pat. No. 5,461,125 USA. Waterborne core-shell latex polymers. No. 56,380. declared: 30.04.1993; published: 24.10.1995. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5461125A/en?q=5461125>
- Razavi, H. A. (1994). Pat. No. 5,629,365 USA. UV-absorbing polymer latex. No. 360,828. declared: 06.01.1994; published: 13.05.1997. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5629365A/en?q=5629365>
- Tabakovic, R. (1999). Pat. No. 6,194,479 USA. Latex foam. No. 09,365,087. declared: 30.07.1999; published: 27.02.2001. Available at: <https://patents.google.com/patent/US6194479B1/en?q=09365087>
- Van Dyk, A. K., Tulchinsky, M. L. (2011). Pat. No. 2012/0,052,210 A1 USA. Coalescent for aqueous compositions. No. 13/191,501. declared: 27.07.2011, published: 01.05.2012. Available at: <https://patents.google.com/patent/US20120052210A1/en?q=20120052210>
- Arendt, W. D., McBride, E. (2011). Pat. No. 2,823,206 CA. New dibenzoate plasticizer/coalescent blends for low voc coatings. No. 2012/092370. declared: 28.12.2011; published: 24.05.2016. Available at: <https://patents.google.com/patent/CA2823206C/en?q=2823206>
- Arendt, W. D., McBride, E. (2012). Pat. No. AU2013221582B2. Monobenzoate useful as a plasticizer/coalescent in polymeric dispersions. No. 61/598,372. declared: 14.02.2012; published: 22.08.2014. Available at: <https://patents.google.com/patent/AU2013221582B2/en?q=2013221582>
- Emmons, W. D., Bors, D. A., Kielbania, Jr, A. J. (1992). Pat. No. 5,349,026 USA. Reactive coalescents. No. 979,118. declared: 20.11.1992; published: 20.09.1994. Available at: <https://patents.google.com/patent/US5349026A/en?q=5%2c349%2c026>
- Bloom, P. D. (2007). Pat. No. 2010/0216915 A1 USA. Levulinic acid ester derivatives as reactive plasticizers and coalescent solvents. No. 11/655,894. declared: 22.01.2007; published: 26.08.2010.

Available at: <https://patents.google.com/patent/US20100216915A1/en?q=2010%2f0216915>

11. Kaur, J., Krishnan, R., Ramalingam, B., Jana, S. (2020). Hydroxyethyl sulfone based reactive coalescing agents for low-VOC waterborne coatings. *RSC Advances*, 10 (29), 17171–17179. doi: <https://doi.org/10.1039/d0ra00753f>
12. Rahman, M., Shoff, H. W., Brazel, C. S. (2005). Ionic Liquids as Alternative Plasticizers for Poly(vinyl chloride): Flexibility and Stability in Thermal, Leaching, and UV Environments. *Ionic Liquids in Polymer Systems*, 103–118. doi: <https://doi.org/10.1021/bk-2005-0913.ch007>
13. Scott, M. P., Brazel, C. S., Benton, M. G., Mays, J. W., Holbrey, J. D., Rogers, R. D. (2002). Application of ionic liquids as plasticizers for poly(methyl methacrylate). *Chemical Communications*, 13, 1370–1371. doi: <https://doi.org/10.1039/b204316p>
14. Ueki, T., Watanabe, M. (2012). Polymers in Ionic Liquids: Dawn of Neoteric Solvents and Innovative Materials. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 85 (1), 33–50. doi: <https://doi.org/10.1246/bcsj.20110225>
15. Park, K. I., Xanthos, M. (2007). Ionic liquids as additives for thermoplastics. In *ANTEC 2007 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings*, 2675–2679. Available at: https://www.researchgate.net/publication/242538039_Ionic_liquids_as_additives_for_thermoplastics
16. Sankri, A., Arhaliass, A., Dez, I., Gaumont, A. C., Grohens, Y., Lourdin, D. et. al. (2010). Thermoplastic starch plasticized by an ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*, 82 (2), 256–263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.032>
17. Wilpizewska, K., Spychaj, T. (2011). Ionic liquids: Media for starch dissolution, plasticization and modification. *Carbohydrate Polymers*, 86 (2), 424–428. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.001>
18. Zhongyi, H., Liping, X., Liang, Q., Sheng, H., Aixi, C., Jianwei, Q., Xisheng, F. (2013). Tribological properties and hydrolysis stability study of benzothiazole borate derivative. *Lubrication Science*, 26 (2), 81–94. doi: <https://doi.org/10.1002/ls.1230>
19. ISO 2555:2018. Plastics – Resins in the liquid state or as emulsions or dispersions – Determination of apparent viscosity using a single cylinder type rotational viscometer method (2018). International Organization for Standardization. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/70023.html>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.209900

AN EFFECT ANALYSIS OF COOLING WATER DIRECTION TOWARDS CONDENSATE OIL FROM SCRAP TIRES (p. 30–37)

Budhi M Suyitno

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4384-0352>

Erlanda Augupta Pane

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5354-3821>

Wina Libyawati

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6593-9594>

Chatrine Jelita

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2213-5734>

Hendri Sukma

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5994-9822>

Ismail

Universitas Pancasila, South Jakarta, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7911-4163>

The application of pyrolysis for the thermal decomposition of tire waste can be taken as the ideal concept to reduce and recycle tire waste. The product of the process can produce condensate oil, a typical oil that is close to crude oil properties. The critical aspect of the pyrolysis process is the design of the reactor, particularly for the condenser where the rate of heat transfer contributes to the overall quality and quantity of the produced condensate oil. This study focused on the effect of water flow direction on the condensation process of pyrolysis gas. The quantity and quality of the produced oil are examined to observe the effect of the condensation process. Two different water flow directions are tested in the process, namely, counter flow and parallel flow direction. The effect of water flow direction in the condenser clearly affects the pyrolysis process to produce the condensate oil. Based on the production quantity, the counter flow condenser is able to produce 355 ml of condensate oil while the parallel flow one merely 290 ml. Based on the quality of the produced condensate oil, the counter flow condenser is generally better than the parallel flow one where the density, flash point and viscosity are close to crude oil properties. The rate of heat transfer from the condenser to the pyrolysis gas is the main factor that contributes to the quality and quantity of the condensate oil. The average heat transfer for the counter and parallel flow is 2,728 W and 1,865 W, respectively. It can be said that using the counter flow condenser for the pyrolysis reactor can improve the quality and quantity of the condensate oil.

Keywords: counter flow, parallel flow, pyrolysis, condenser, heat transfer.

References

1. The ETRMA Statistics Report (2012). Belgium.
2. Bekhiti, M., Trouzine, H., Asroun, A. (2014). Properties of Waste Tire Rubber Powder. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 4 (4), 669–672. doi: <https://doi.org/10.48084/etasr.439>
3. Ouyang, S., Xiong, D., Li, Y., Zou, L., Chen, J. (2018). Pyrolysis of scrap tyres pretreated by waste coal tar. *Carbon Resources Conversion*, 1 (3), 218–227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.07.003>
4. Zabanitotu, A. A., Stavropoulos, G. (2003). Pyrolysis of used automobile tires and residual char utilization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 70 (2), 711–722. doi: [https://doi.org/10.1016/s0165-2370\(03\)00042-1](https://doi.org/10.1016/s0165-2370(03)00042-1)
5. Parthasarathy, P., Choi, H. S., Park, H. C., Hwang, J. G., Yoo, H. S., Lee, B.-K., Upadhyay, M. (2016). Influence of process conditions on product yield of waste tyre pyrolysis- A review. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33 (8), 2268–2286. doi: <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0126-2>
6. Wik, A., Dave, G. (2006). Acute toxicity of leachates of tire wear material to *Daphnia magna* – Variability and toxic components. *Chemosphere*, 64 (10), 1777–1784. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.12.045>
7. Torretta, V., Rada, E. C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, I. A., Cioca, L. I. (2015). Treatment and disposal of tyres: Two EU ap-

- proaches. A review. *Waste Management*, 45, 152–160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>
8. Venkatesan, H., Sivamani, S., Bhutoria, K., Vora, H. H. (2018). Experimental study on combustion and performance characteristics in a DI CI engine fuelled with blends of waste plastic oil. *Alexandria Engineering Journal*, 57 (4), 2257–2263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.09.001>
 9. Choi, G.-G., Jung, S.-H., Oh, S.-J., Kim, J.-S. (2014). Total utilization of waste tire rubber through pyrolysis to obtain oils and CO₂ activation of pyrolysis char. *Fuel Processing Technology*, 123, 57–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.02.007>
 10. Colom, X., Cañavate, J., Carrillo, F., Suñol, J. J. (2009). Effect of the particle size and acid pretreatments on compatibility and properties of recycled HDPE plastic bottles filled with ground tyre powder. *Journal of Applied Polymer Science*, 112 (4), 1882–1890. doi: <https://doi.org/10.1002/app.29611>
 11. Donatelli, A., Iovane, P., Molino, A. (2010). High energy syngas production by waste tyres steam gasification in a rotary kiln pilot plant. Experimental and numerical investigations. *Fuel*, 89 (10), 2721–2728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.03.040>
 12. Dai, X., Yin, X., Wu, C., Zhang, W., Chen, Y. (2001). Pyrolysis of waste tires in a circulating fluidized-bed reactor. *Energy*, 26 (4), 385–399. doi: [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(01\)00003-2](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(01)00003-2)
 13. Czajczyńska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Reynolds, A. J., Spencer, N., Jouhara, H. (2017). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, 3, 171–197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.06.003>
 14. Tan, V., De Girolamo, A., Hosseini, T., Alhesan, J. A., Zhang, L. (2018). Scrap tyre pyrolysis: Modified chemical percolation devolatilization (M-CPD) to describe the influence of pyrolysis conditions on product yields. *Waste Management*, 76, 516–527. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.013>
 15. Ucar, S., Karagoz, S., Ozkan, A. R., Yanik, J. (2005). Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis. *Fuel*, 84 (14-15), 1884–1892. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.04.002>
 16. Díez, C., Martínez, O., Calvo, L. F., Cara, J., Morán, A. (2004). Pyrolysis of tyres. Influence of the final temperature of the process on emissions and the calorific value of the products recovered. *Waste Management*, 24 (5), 463–469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2003.11.006>
 17. Kordoghli, S., Khiari, B., Paraschiv, M., Zagrouba, F., Tazerout, M. (2017). Impact of different catalysis supported by oyster shells on the pyrolysis of tyre wastes in a single and a double fixed bed reactor. *Waste Management*, 67, 288–297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.001>
 18. Miandad, R., Barakat, M. A., Rehan, M., Aburiazaiza, A. S., Gardy, J., Nizami, A. S. (2018). Effect of advanced catalysts on tire waste pyrolysis oil. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 542–552. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.024>
 19. Li, L., Yan, B., Li, H., Yu, S., Liu, S., Yu, H., Ge, X. (2018). SO₄²⁻/ZrO₂ as catalyst for upgrading of pyrolysis oil by esterification. *Fuel*, 226, 190–194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.006>
 20. Torres, A., de Marco, I., Caballero, B. M., Laresgoiti, M. F., Legarreta, J. A., Cabrero, M. A. et. al. (2000). Recycling by pyrolysis of thermoset composites: characteristics of the liquid and gaseous fuels obtained. *Fuel*, 79 (8), 897–902. doi: [https://doi.org/10.1016/s0016-2361\(99\)00220-3](https://doi.org/10.1016/s0016-2361(99)00220-3)
 21. Nkosi, E., Muzenda, N. (2014). A Review and Discussion of Waste Tyre Pyrolysis and Derived Products. *World Congress on Engineering, WCE 2014*, 2, 979–985.
 22. Palla, V. S. K. K., Papadikis, K., Gu, S. (2015). A numerical model for the fractional condensation of pyrolysis vapours. *Biomass and Bioenergy*, 74, 180–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.01.020>
 23. Williams, P. T., Besler, S., Taylor, D. T. (1990). The pyrolysis of scrap automotive tyres: The influence of temperature and heating rate on product composition. *Fuel*, 69 (12), 1474–1482. doi: [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(90\)90193-t](https://doi.org/10.1016/0016-2361(90)90193-t)
 24. Jelita, C. (2015). Design of Condenser on the Convert Machine of Waste Tire to Crude Oil. *Universitas Negeri Jakarta*.
 25. Liu, D., Jin, J., Gao, M., Xiong, Z., Stanger, R., Wall, T. (2018). A comparative study on the design of direct contact condenser for air and oxy-fuel combustion flue gas based on Callide Oxy-fuel Project. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 75, 74–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.011>
 26. Wang, J., Li, J. M., Hwang, Y. (2018). Modeling of film condensation flow in oval microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 1194–1205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.126>
 27. Aishwarya, K. N., Sindhu, N. (2016). Microwave Assisted Pyrolysis of Plastic Waste. *Procedia Technology*, 25, 990–997. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.197>
 28. Mastral, F. J., Esperanza, E., García, P., Juste, M. (2002). Pyrolysis of high-density polyethylene in a fluidised bed reactor. Influence of the temperature and residence time. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63 (1), 1–15. doi: [https://doi.org/10.1016/s0165-2370\(01\)00137-1](https://doi.org/10.1016/s0165-2370(01)00137-1)
 29. Ingram, L., Mohan, D., Bricka, M., Steele, P., Strobel, D., Crocker, D. et. al. (2008). Pyrolysis of Wood and Bark in an Auger Reactor: Physical Properties and Chemical Analysis of the Produced Bio-oils. *Energy & Fuels*, 22 (1), 614–625. doi: <https://doi.org/10.1021/ef700335k>
 30. Bhale, P. V., Deshpande, N. V., Thombre, S. B. (2009). Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. *Renewable Energy*, 34 (3), 794–800. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.037>
 31. Benjumea, P., Agudelo, J., Agudelo, A. (2008). Basic properties of palm oil biodiesel–diesel blends. *Fuel*, 87 (10-11), 2069–2075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.11.004>
 32. Özçimen, D., Karaosmanoğlu, F. (2004). Production and characterization of bio-oil and biochar from rapeseed cake. *Renewable Energy*, 29 (5), 779–787. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.09.006>
 33. Lang, X., Dalai, A. K., Bakhshi, N. N., Reaney, M. J., Hertz, P. B. (2001). Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. *Bioresource Technology*, 80 (1), 53–62. doi: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00051-7)
 34. Pereira, C. C., Pasa, V. M. D. (2005). Effect of Alcohol and Copper Content on the Stability of Automotive Gasoline. *Energy & Fuels*, 19 (2), 426–432. doi: <https://doi.org/10.1021/ef049849h>
 35. Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., Buttsworth, D. R., Yusaf, T. F., Faizollahnejad, M. (2009). Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network. *Applied Energy*, 86 (5), 630–639. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.017>
 36. Raheman, H., Ghadge, S. V. (2007). Performance of compression ignition engine with mahua (*Madhuca indica*) biodiesel. *Fuel*, 86 (16), 2568–2573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.02.019>

37. Bharathwaaj, R., Nagarajan, P. K., Kabeel, A. E., Madhu, B., Mageshbabu, D., Sathyamurthy, R. (2018). Formation, characterization and theoretical evaluation of combustion of biodiesel obtained from wax esters of *A. Mellifera*. *Alexandria Engineering Journal*, 57 (3), 1205–1215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.03.021>
38. Kareddula, V. K., Puli, R. K. (2018). Influence of plastic oil with ethanol gasoline blending on multi cylinder spark ignition engine. *Alexandria Engineering Journal*, 57 (4), 2585–2589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.015>
39. Saraswat, M., Chauhan, N. R. (2020). Comparative assessment of butanol and algae oil as alternate fuel for SI engines. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23 (1), 92–100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.04.002>
40. Rofiqulislam, M., Haniu, H., Rafiqulalambeg, M. (2008). Liquid fuels and chemicals from pyrolysis of motorcycle tire waste: Product yields, compositions and related properties. *Fuel*, 87 (13–14), 3112–3122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.04.036>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226575

**OBTAINING GLUCOSE-BASED
5-HYDROXYMETHYLFURFURAL ON LARGE-PORE
ZEOLITES (p. 38–44)**

Lyubov Patrylak

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8049-9811>

Serhii Konovalov

V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3353-8061>

Olexandra Pertko

V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3539-7688>

Anzhela Yakovenko

V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2212-9345>

Volodymyr Povazhnyi

V. P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0394-7035>

Oleksandr Melnychuk

LLC «Fluid Management Systems», Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6664-0006>

Obtaining such substances-platforms as, in particular, 5-hydroxymethylfurfural is one of the areas most actively investigated at present. They can act as raw materials for the further production of a new generation of biopolymers, fuels, pharmaceuticals, dietary supplements, and other chemicals. This paper reports the catalysts, synthesized by using methods of ion exchange and impregnation, based on the large-pore zeolites X, Y, and M, which contain the cations of rubidium, lanthanum, calcium, and ammonium. It was found that the zeolites' specific surface was 400–500 m²/g; the selected synthesis conditions did not cause noticeable destruction of the microporous structure. In the presence of the synthesized catalysts, glucose dehydration in the aqueous medium and in dimethyl sulfoxide was carried

out at 150–160 °C. The higher efficiency of polycationic forms of zeolites in a non-aqueous medium has been established. In the latter case, a 40 % yield of 5-hydroxymethylfurfural was achieved at an almost complete glucose conversion. Deactivated catalyst samples were investigated using the methods of infrared spectroscopy and differential thermal analysis/thermogravimetry. It was found that the catalyst accumulates fewer oligomerization process by-products when the reaction is implemented in dimethyl sulfoxide. The loss of mass by the samples deactivated in an aqueous medium is 30–33 %, while in dimethyl sulfoxide – up to 24 %. The obtained results are important for practical application as the only volatile conversion product is 5-hydroxymethylfurfural with a yield of up to 40 %. That is acceptable for the possible implementation of a one-stage process of obtaining 5-hydroxymethylfurfural in the future.

Keywords: large-pore zeolites, polycationic forms, glucose dehydration, 5-hydroxymethylfurfural, yield, glucose conversion.

References

1. Esteban, J., Yustos, P., Ladero, M. (2018). Catalytic Processes from Biomass-Derived Hexoses and Pentoses: A Recent Literature Overview. *Catalysts*, 8 (12), 637. doi: <https://doi.org/10.3390/catal8120637>
2. Chernyshev, V. M., Kravchenko, O. A., Ananikov, V. P. (2017). Conversion of plant biomass to furan derivatives and sustainable access to the new generation of polymers, functional materials and fuels. *Russian Chemical Reviews*, 86 (5), 357–387. doi: <https://doi.org/10.1070/rcr4700>
3. Teong, S. P., Yi, G., Zhang, Y. (2014). Hydroxymethylfurfural production from bioresources: past, present and future. *Green Chemistry*, 16 (4), 2015. doi: <https://doi.org/10.1039/c3gc42018c>
4. Van Putten, R.-J., van der Waal, J. C., de Jong, E., Rasrendra, C. B., Heeres, H. J., de Vries, J. G. (2013). Hydroxymethylfurfural, A Versatile Platform Chemical Made from Renewable Resources. *Chemical Reviews*, 113 (3), 1499–1597. doi: <https://doi.org/10.1021/cr300182k>
5. Bodachivskiy, I., Kuzhiumparambil, U., Williams, D. B. G. (2019). High Yielding Acid-Catalysed Hydrolysis of Cellulosic Polysaccharides and Native Biomass into Low Molecular Weight Sugars in Mixed Ionic Liquid Systems. *ChemistryOpen*, 8 (10), 1316–1324. doi: <https://doi.org/10.1002/open.201900283>
6. Ertl, G., Knozinger, H., Schuth, F., Weitkamp, J. (Eds.) (2008). *Handbook of Heterogeneous Catalysis*. Wiley-VCH. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527610044>
7. Weikamp, J., Puppel, L. (Eds.) (1999). *Catalysis and Zeolites. Fundamentals and Applications*. Springer, 564. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03764-5>
8. Breck, D. W. (1974). *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*. John Wiley and Sons, 771.
9. Saravanamurugan, S., Paniagua, M., Melero, J. A., Riisager, A. (2013). Efficient Isomerization of Glucose to Fructose over Zeolites in Consecutive Reactions in Alcohol and Aqueous Media. *Journal of the American Chemical Society*, 135 (14), 5246–5249. doi: <https://doi.org/10.1021/ja400097f>
10. Saravanamurugan, S., Riisager, A., Taarning, E., Meier, S. (2016). Combined Function of Brønsted and Lewis Acidity in the Zeolite-Catalyzed Isomerization of Glucose to Fructose in Alcohols. *ChemCatChem*, 8 (19), 3107–3111. doi: <https://doi.org/10.1002/cctc.201600783>

11. Pienkoß, F., Ochoa-Hernández, C., Theyssen, N., Leitner, W. (2018). Kaolin: A Natural Low-Cost Material as Catalyst for Isomerization of Glucose to Fructose. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6 (7), 8782–8789. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01151>
12. Levytska, S. I. (2017). Investigation of glucose isomerization into fructose on MgO-ZrO₂ catalyst in flow mode. *Catalysis and petrochemistry*, 26, 46–52.
13. Wei, W., Wu, S. (2018). Experimental and kinetic study of glucose conversion to levulinic acid in aqueous medium over Cr/HZSM-5 catalyst. *Fuel*, 225, 311–321. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.120>
14. Cui, M., Wu, Z., Huang, R., Qi, W., Su, R., He, Z. (2018). Integrating chromium-based ceramic and acid catalysis to convert glucose into 5-hydroxymethylfurfural. *Renewable Energy*, 125, 327–333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.085>
15. Parveen, F., Upadhyayula, S. (2017). Efficient conversion of glucose to HMF using organocatalysts with dual acidic and basic functionalities - A mechanistic and experimental study. *Fuel Processing Technology*, 162, 30–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.021>
16. Tosi, I., Riisager, A., Taarning, E., Jensen, P. R., Meier, S. (2018). Kinetic analysis of hexose conversion to methyl lactate by Sn-Beta: effects of substrate masking and of water. *Catalysis Science & Technology*, 8 (8), 2137–2145. doi: <https://doi.org/10.1039/c8cy00335a>
17. Puértolas, B., Imtiaz, Q., Müller, C. R., Pérez-Ramírez, J. (2016). Platform Chemicals via Zeolite-Catalyzed Fast Pyrolysis of Glucose. *ChemCatChem*, 9 (9), 1579–1582. doi: <https://doi.org/10.1002/cctc.201601052>
18. Patrilyak, K. I., Patrilyak, L. K., Voloshina, Y. G., Manza, I. A., Kononov, S. V. (2011). Distribution of the products from the alkylation of isobutane with butenes at a zeolite catalyst and the reaction mechanism. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 47 (4), 205–214. doi: <https://doi.org/10.1007/s11237-011-9205-y>
19. Patrilyak, K. I., Patrilyak, L. K., Repetskyi, I. A. (2013). Mechanisms of alkylation of isobutane by butenes and H/D exchange in isobutane molecules on acid zeolites. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 49 (3), 143–157. doi: <https://doi.org/10.1007/s11237-013-9308-8>
20. Patrilyak, L., Krylova, M., Pertko, O., Voloshyna, Y. et al. (2020). n-Hexane Isomerization Over Nickel-Containing Mordenite Zeolite. *Chemistry and Chemical Technology*, 14 (2), 234–238. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.234>
21. Patrilyak, L. K., Ionin, V. A., Voloshina, Y. G. (2005). Correlation of Catalytic Efficiency of Faujasites in the Alkylation of Isobutane by Butenes and their IR Spectral Characteristics. *Theoretical and Experimental Chemistry*, 41 (3), 192–197. doi: <https://doi.org/10.1007/s11237-005-0039-3>
22. Patrilyak, L. K., Povazhnyi, V. A., Kononov, S. V., Pertko, O. P., Yakovenko, A. V. (2020). Thermogravimetric study of nickel-containing zeolites deactivated in glucose conversion. *Catalysis and petrochemistry*, 30, 90–96. doi: <https://doi.org/10.15407/kataliz2020.30.090>
23. Ro, Y., Gim, M. Y., Lee, J. W., Lee, E. J., Song, I. K. (2018). Alkylation of Isobutane/2-Butene Over Modified FAU-Type Zeolites. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18 (9), 6547–6551. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15665>
24. Patrilyak, L. K. (1999). Chemisorption of Lewis Bases on Zeolites – A New Interpretation of the Results. *Adsorption Science & Technology*, 17 (2), 115–123. doi: <https://doi.org/10.1177/026361749901700205>
25. Mikula, A., Król, M., Mozgawa, W., Koleżyński, A. (2018). New approach for determination of the influence of long-range order and selected ring oscillations on IR spectra in zeolites. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 195, 62–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.01.044>
26. Wojciechowska, K. M., Król, M., Bajda, T., Mozgawa, W. (2019). Sorption of Heavy Metal Cations on Mesoporous ZSM-5 and Mordenite Zeolites. *Materials*, 12 (19), 3271. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12193271>
27. Erdogdu, Y., Sertbakan, T. R., Güllüoğlu, M. T., Yurdakul, Ş., Güvenir, A. (2018). FT-IR and Raman Spectroscopy and Computation of 5-Methylfurfural. *Journal of Applied Spectroscopy*, 85 (3), 517–525. doi: <https://doi.org/10.1007/s10812-018-0682-9>
28. Kul'pina, Y. N., Prokofev, V. Y., Gordina, N. E., Khmylova, O. E., Petukhova, N. V., Gazakhova, S. I. (2017). Use of IR spectroscopy for study of structure of low-modulus zeolites. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy Khimiya Khimicheskaya Tekhnologiya*, 60 (5), 44–50. doi: <https://doi.org/10.6060/tcct.2017605.5405>
29. Maruani, V., Narayanin-Richenapin, S., Framery, E., Andriolletti, B. (2018). Acidic Hydrothermal Dehydration of d-Glucose into Humins: Identification and Characterization of Intermediates. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6 (10), 13487–13493. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b03479>
30. Tsilomelekis, G., Orella, M. J., Lin, Z., Cheng, Z., Zheng, W., Nikolakis, V., Vlachos, D. G. (2016). Molecular structure, morphology and growth mechanisms and rates of 5-hydroxymethyl furfural (HMF) derived humins. *Green Chemistry*, 18 (7), 1983–1993. doi: <https://doi.org/10.1039/c5gc01938a>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227952
SYNTHESIS OF Ni(OH)₂, SUITABLE FOR
SUPERCAPACITOR APPLICATION, BY THE COLD
TEMPLATE HOMOGENEOUS PRECIPITATION
METHOD (p. 45–51)

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University of Chemical Technology,
 Dnipro, Ukraine
 Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Chemical Technology,
 Dnipro, Ukraine
 Vyatka State University, Kirov, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

α -Ni(OH)₂ obtained by template homogeneous precipitation exhibits high electrochemical activity in supercapacitors. The main disadvantage is the high energy consumption for maintaining a high temperature during synthesis. To reduce energy consumption, it is proposed to lower the synthesis temperature. In the study, α -Ni(OH)₂ was obtained by the method of cold template homogeneous precipitation using Culminal C8465 (0.5%) as a template for 6 months at $t=20\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$. The electrochemical characteristics of the sample were studied by cyclic voltammetry and galvanostatic charge-discharge cycling of a pasted binder-free electrode made without introducing an external binder in the supercapacitor mode. It was determined that low-crystalline α -Ni(OH)₂ was formed, consisting of agglomerates of spherical particles. Low specific char-

acteristics of nickel hydroxide were revealed at the beginning of cycling due to blocking of the active surface. It was shown that the specific capacity of the sample increased with further cycling due to the breakdown of aggregates into smaller particles; specific capacities of 80 F/g and 38 mA·h/g were obtained. However, the lack of binding properties of the template residues was revealed, resulting in a decrease in specific characteristics. It was concluded that it was necessary to introduce an external binder. A previously undescribed effect of a significant increase in the specific capacity during drying of an alkali-impregnated electrode caused by the disintegration of particle agglomerates during alkali carbonization (the maximum capacity is 135 F/g and 69 mA·h/g) was revealed. It was concluded that using the revealed effect of any nickel hydroxide samples obtained by various methods of bulk template synthesis was promising.

Keywords: nickel hydroxide, template synthesis, cold homogeneous precipitation, supercapacitor.

References

- Simon, P., Gogotsi, Y. (2008). Materials for electrochemical capacitors. *Nature Materials*, 7 (11), 845–854. doi: <https://doi.org/10.1038/nmat2297>
- Burke, A. (2007). R&D considerations for the performance and application of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, 53 (3), 1083–1091. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.01.011>
- Lang, J.-W., Kong, L.-B., Liu, M., Luo, Y.-C., Kang, L. (2009). Asymmetric supercapacitors based on stabilized α -Ni(OH)₂ and activated carbon. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 14 (8), 1533–1539. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-009-0984-1>
- Lang, J.-W., Kong, L.-B., Wu, W.-J., Liu, M., Luo, Y.-C., Kang, L. (2008). A facile approach to the preparation of loose-packed Ni(OH)₂ nanoflake materials for electrochemical capacitors. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 13 (2), 333–340. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-008-0560-0>
- Aghazadeh, M., Ghaemi, M., Sabour, B., Dalvand, S. (2014). Electrochemical preparation of α -Ni(OH)₂ ultrafine nanoparticles for high-performance supercapacitors. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 18 (6), 1569–1584. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-014-2381-7>
- Zheng, C., Liu, X., Chen, Z., Wu, Z., Fang, D. (2014). Excellent supercapacitive performance of a reduced graphene oxide/Ni(OH)₂ composite synthesized by a facile hydrothermal route. *Journal of Central South University*, 21 (7), 2596–2603. doi: <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2218-7>
- Wang, B., Williams, G. R., Chang, Z., Jiang, M., Liu, J., Lei, X., Sun, X. (2014). Hierarchical NiAl Layered Double Hydroxide/Multiwalled Carbon Nanotube/Nickel Foam Electrodes with Excellent Pseudocapacitive Properties. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6 (18), 16304–16311. doi: <https://doi.org/10.1021/am504530e>
- Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., MacDougall, B. R. (2015). Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471 (2174), 20140792. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0792>
- Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A., Kondrat'ev, D. A. et. al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (24), 9652–9656. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf
- Liu, C., Huang, L., Li, Y., Sun, D. (2010). Synthesis and electrochemical performance of amorphous nickel hydroxide codoped with Fe³⁺ and CO 2–3. *Ionics*, 16 (3), 215–219. doi: <https://doi.org/10.1007/s11581-009-0383-8>
- Li, J., Luo, F., Tian, X., Lei, Y., Yuan, H., Xiao, D. (2013). A facile approach to synthesis coral-like nanoporous β -Ni(OH)₂ and its supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 243, 721–727. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.05.172>
- Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al³⁺ Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? *Journal of The Electrochemical Society*, 167 (10), 100530. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
- Xiao-yan, G., Jian-cheng, D. (2007). Preparation and electrochemical performance of nano-scale nickel hydroxide with different shapes. *Materials Letters*, 61 (3), 621–625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.05.026>
- Tizfahm, J., Safibonab, B., Aghazadeh, M., Majdabadi, A., Sabour, B., Dalvand, S. (2014). Supercapacitive behavior of β -Ni(OH)₂ nanospheres prepared by a facile electrochemical method. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 443, 544–551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.12.024>
- Aghazadeh, M., Golikand, A. N., Ghaemi, M. (2011). Synthesis, characterization, and electrochemical properties of ultrafine β -Ni(OH)₂ nanoparticles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (14), 8674–8679. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.03.144>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Anionic carbonate activation of layered (α + β) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (99)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169461>
- Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered (α + β) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
- Hall, D. S., Lockwood, D. J., Poirier, S., Bock, C., MacDougall, B. R. (2012). Raman and Infrared Spectroscopy of α and β Phases of Thin Nickel Hydroxide Films Electrochemically Formed on Nickel. *The Journal of Physical Chemistry A*, 116 (25), 6771–6784. doi: <https://doi.org/10.1021/jp303546r>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Bolotin, O. (2016). Definition of factors influencing on Ni(OH)₂ electrochemical characteristics for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (83)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79406>
- Hu, M., Lei, L. (2006). Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide, [Ni₄Al(OH)₁₀]NO₃. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 11 (6), 847–852. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-006-0231-y>
- Vasserman, I. N. (1980). *Himicheskoe osazhdenie iz rastvorov*. Leningrad: Himiya, 208.
- Bora, M. (2003). Homogeneous precipitation of nickel hydroxide powders. Iowa State University, 119. doi: <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-146>
- Tang, H. W., Wang, J. L., Chang, Z. R. (2008). Preparation and characterization of nanoscale nickel hydroxide using hydrothermal synthesis method. *J. Func. Mater.*, 39 (3), 469–476.

24. Tang, Y., Liu, Y., Yu, S., Zhao, Y., Mu, S., Gao, F. (2014). Hydrothermal synthesis of a flower-like nano-nickel hydroxide for high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 123, 158–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.187>
25. Yang, L.-X., Zhu, Y.-J., Tong, H., Liang, Z.-H., Li, L., Zhang, L. (2007). Hydrothermal synthesis of nickel hydroxide nanostructures in mixed solvents of water and alcohol. *Journal of Solid State Chemistry*, 180 (7), 2095–2101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2007.05.009>
26. Cui, H. L., Zhang, M. L. (2009). Synthesis of flower-like nickel hydroxide by ionic liquids-assisted. *J. Yanan. Univ.*, 28 (2), 76–83.
27. Xu, L., Ding, Y.-S., Chen, C.-H., Zhao, L., Rimkus, C., Joesten, R., Suib, S. L. (2008). 3D Flowerlike α -Nickel Hydroxide with Enhanced Electrochemical Activity Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Method. *Chemistry of Materials*, 20 (1), 308–316. doi: <https://doi.org/10.1021/cm702207w>
28. Córdoba de Torresi, S. I., Provazi, K., Malta, M., Torresi, R. M. (2001). Effect of Additives in the Stabilization of the α Phase of Ni(OH)₂ Electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*, 148 (10), A1179. doi: <https://doi.org/10.1149/1.1403731>
29. Kotok, V., Kovalenko, V., Malyshev, V. (2017). Comparison of oxygen evolution parameters on different types of nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109770>
30. Oliva, P., Leonardi, J., Laurent, J. F., Delmas, C., Braconnier, J. J., Figlarz, M. et. al. (1982). Review of the structure and the electrochemistry of nickel hydroxides and oxy-hydroxides. *Journal of Power Sources*, 8 (2), 229–255. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(82\)80057-8](https://doi.org/10.1016/0378-7753(82)80057-8)
31. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of the effect of tungstate ions on the electrochromic properties of Ni(OH)₂ films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (95)), 18–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.145223>
32. Vlasova, E., Kovalenko, V., Kotok, V., Vlasov, S., Sukhyy, K. (2017). A study of the influence of additives on the process of formation and corrosive properties of tripolyphosphate coatings on steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 45–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111977>
33. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). The properties investigation of the faradaic supercapacitor electrode formed on foamed nickel substrate with polyvinyl alcohol using. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (88)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108839>
34. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et. al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
35. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Influence of ultrasound and template on the properties of nickel hydroxide as an active substance of supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 32–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133548>
36. Mehdizadeh, R., Sanati, S., Saghatforoush, L. A. (2013). Effect of PEG6000 on the morphology the β -Ni(OH)₂ nanostructures: solvothermal synthesis, characterization, and formation mechanism. *Research on Chemical Intermediates*, 41 (4), 2071–2079. doi: <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1332-8>
37. Ecsedi, Z., Lazău, I., Păcurariu, C. (2007). Synthesis of mesoporous alumina using polyvinyl alcohol template as porosity control additive. *Processing and Application of Ceramics*, 1 (1-2), 5–9. doi: <https://doi.org/10.2298/pac0702005e>
38. Pon-On, W., Meejoo, S., Tang, I.-M. (2008). Formation of hydroxyapatite crystallites using organic template of polyvinyl alcohol (PVA) and sodium dodecyl sulfate (SDS). *Materials Chemistry and Physics*, 112 (2), 453–460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2008.05.082>
39. Miyake, K., Hirota, Y., Uchida, Y., Nishiyama, N. (2016). Synthesis of mesoporous MFI zeolite using PVA as a secondary template. *Journal of Porous Materials*, 23 (5), 1395–1399. doi: <https://doi.org/10.1007/s10934-016-0199-7>
40. Wanchanthu, R., Thapol, A. (2011). The Kinetic Study of Methylene Blue Adsorption over MgO from PVA Template Preparation. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (5), 552–559. doi: <https://doi.org/10.3923/jest.2011.552.559>
41. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Solovov, V. A., Kovalenko, P. V., Ananchenko, B. A. (2018). Effect of deposition time on properties of electrochromic nickel hydroxide films prepared by cathodic template synthesis. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (9), 3076–3086.
42. Tan, Y., Srinivasan, S., Choi, K.-S. (2005). Electrochemical Deposition of Mesoporous Nickel Hydroxide Films from Dilute Surfactant Solutions. *Journal of the American Chemical Society*, 127 (10), 3596–3604. doi: <https://doi.org/10.1021/ja0434329>
43. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
44. Parkhomchuk, E. V., Sashkina, K. A., Rudina, N. A., Kulikovskaya, N. A., Parmon, V. N. (2013). Template synthesis of 3D-structured macroporous oxides and hierarchical zeolites. *Catalysis in Industry*, 5 (1), 80–89. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070050412040150>
45. Gu, W., Liao, L. S., Cai, S. D., Zhou, D. Y., Jin, Z. M., Shi, X. B., Lei, Y. L. (2012). Adhesive modification of indium–tin-oxide surface for template attachment for deposition of highly ordered nanostructure arrays. *Applied Surface Science*, 258 (20), 8139–8145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.05.009>
46. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Study of the influence of the template concentration under homogeneous precepitation on the properties of Ni(OH)₂ for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (88)), 17–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106813>
47. Ivanov, K. V., Alekseeva, O. V., Kraev, A. S., Agafonov, A. V. (2019). Template-Free Synthesis and Properties of Mesoporous Calcium Titanate. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 55 (4), 667–670. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205119040063>
48. Shestakova, D. O., Sashkina, K. A., Parkhomchuk, E. V. (2019). Template-Free Synthesis of Hierarchical Zeolite ZSM-5. *Petroleum Chemistry*, 59 (8), 838–844. doi: <https://doi.org/10.1134/s0965544119080188>
49. Bhat, K. S., Nagaraja, H. S. (2019). Morphology-dependent electrochemical performances of nickel hydroxide nanostructures. *Bulletin of Materials Science*, 42 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s12034-019-1951-9>
50. Wang, R.-N., Li, Q.-Y., Wang, Z., Wei, Q., Nie, Z.-R. (2008). Synthesis of nickel hydroxide flower-like microspheres by tem-

plate-free liquid process. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 29 (1), 18–22.

51. Hadden, J. H. L., Ryan, M. P., Riley, D. J. (2019). Examining the charging behaviour of nickel hydroxide nanomaterials. *Electrochemistry Communications*, 101, 47–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2019.02.012>
52. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Synthesis of Ni(OH)₂ by template homogeneous precipitation for application in the binderfree electrode of supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(12 (94)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140899>
53. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). The effect of template residual content on supercapacitive characteristics of Ni(OH)₂, obtained by template homogeneous precipitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (101)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181020>
54. Kovalenko, V., Kotok, V., Kovalenko, I. (2018). Activation of the nickel foam as a current collector for application in supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 56–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133472>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226587

DEFINING PATTERNS IN THE INFLUENCE EXERTED BY THE INTERRELATED BIOCHEMICAL CORROSION ON CONCRETE BUILDING STRUCTURES UNDER THE CONDITIONS OF A CHEMICAL ENTERPRISE (p. 52–60)

Oksana Shkromada

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1751-7009>

Viktoriia Ivchenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5985-9712>

Vadym Chivanov

Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5845-2315>

Liudmyla Tsyhanenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6628-3635>

Hennadii Tsyhanenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3335-4804>

Volodymir Moskalenko

Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2775-1317>

Iryna Kyrchata

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0270-1586>

Olena Shersheniuk

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9959-2725>

Yuliia Litsman

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5748-2213>

The effect of microbial and chemical corrosion on concrete structures operated in the conditions of chemical enterprises has been established that makes it possible to reliably predict the timing of their decommissioning in order to prevent industrial disasters. Even though the construction complies with all building codes, concrete structures eventually undergo chemical and biological corrosion.

The innovation proposed in this study implies investigating the depth and degree of damage to concrete at the microscopic level by the method of raster electron microscopy. In addition, the TPD-MS method has been suggested for determining the quantitative and qualitative state of the carbonate components of concrete and sulfur compounds.

This study has found that in concrete samples from the titanium dioxide production plant, the amount of carbon dioxide release is twice less than in control samples at $t=600$ °C while the level of sulfur dioxide, on the contrary, increases. This is due to the ability of thionic bacteria to accumulate sulfate acid that destroys the cementing component in concrete. The reported results confirm the impact of products of the activity of *Acidithiobacillus thiooxidans* microorganisms on corrosion processes in concrete.

In addition, when using the TPD-MS method, it was established in the storage room of the finished product that heating the control sample of concrete leads to a release of the significant amount of CO₂ at $t=580$ – 600 °C. However, the experimental samples of concrete are almost lacking carbon compounds because the acid metabolites of microfungi interfere with its formation. Microscopic and REM studies revealed the localization of *Acidithiobacillus thiooxidans* and *Aspergillus fumigatus* in concrete.

This study has established patterns related to the mechanism that forms chemical compounds in concrete and the metabolism of microorganisms.

Keywords: biochemical corrosion of concrete, sulfate acid, *Thiobacillus thiooxidans* bacterium, *Aspergillus fumigatus* micromycetes.

References

1. Qiu, L., Dong, S., Ashour, A., Han, B. (2020). Antimicrobial concrete for smart and durable infrastructures: A review. *Construction and Building Materials*, 260, 120456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120456>
2. Noeiaghahi, T., Mukherjee, A., Dhama, N., Chae, S.-R. (2017). Biogenic deterioration of concrete and its mitigation technologies. *Construction and Building Materials*, 149, 575–586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.144>
3. Shkromada, O., Skliar, O., Pikhtirova, A., Inessa, G. (2019). Pathogens transmission and cytological composition of cow's milk. *Acta Veterinaria Eurasia*, 45, 73–79. doi: <https://doi.org/10.26650/acta-vet.2019.19004>
4. Shkromada, O., Paliy, A., Nechyporenko, O., Naumenko, O., Nechyporenko, V., Burlaka, O. et. al. (2019). Improvement of functional performance of concrete in livestock buildings through the use of complex admixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (101)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179177>
5. Shkromada, O., Paliy, A., Yurchenko, O., Khabot, N., Pikhtirova, A., Vysochin, I. et. al. (2020). Influence of fine additives and surfactants on the strength and permeability degree of concrete. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 19–29. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001178>

6. Marquez-Peñaranda, J. F., Sanchez-Silva, M., Hussler, J., Bastidas-Arteaga, E. (2015). Effects of biodeterioration on the mechanical properties of concrete. *Materials and Structures*, 49 (10), 4085–4099. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0774-4>
7. Petrov, A., Pavliuchenkov, M., Nanka, A., Paliy, A. (2019). Construction of an algorithm for the selection of rigid stops in steel concrete beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 41–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155469>
8. Sun, C., Chen, J., Zhu, J., Zhang, M., Ye, J. (2013). A new diffusion model of sulfate ions in concrete. *Construction and Building Materials*, 39, 39–45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.022>
9. Bonakdar, A., Mobasher, B., Chawla, N. (2012). Diffusivity and micro-hardness of blended cement materials exposed to external sulfate attack. *Cement and Concrete Composites*, 34 (1), 76–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.016>
10. Bastidas-Arteaga, E. (2018). Reliability of Reinforced Concrete Structures Subjected to Corrosion-Fatigue and Climate Change. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0235-x>
11. Bordunova, O. G., Loboda, V. B., Samokhina, Y. A., Chernenko, O. M., Dolbanosova, R. V., Chivanov, V. D. (2020). Study of the Correlations Between the Dynamics of Thermal Destruction and the Morphological Parameters of Biogenic Calcites by the Method of Thermoprogrammed Desorption Mass Spectrometry (TPD-MS). *Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019)*, 37–50. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_5
12. Kuznetsov, V. N., Yanovska, A. A., Novikov, S. V., Starikov, V. V., Kalinichenko, T. G., Kochenko, A. V. et al. (2015). Study of Thermal Activated CO₂ Extraction Processes from Carbonate Apatites Using Gas Chromatography. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 7 (3), 03034. Available at: https://jnep.sumdu.edu.ua/en/full_article/1557
13. Hilal, A. A. (2016). Microstructure of Concrete. *High Performance Concrete Technology and Applications*. doi: <https://doi.org/10.5772/64574>
14. Nnaji, C. C., Amadi, U. H., Molokwu, R. (2016). Investigative Study of Biodeterioration of External Sandcrete/Concrete Walls in Nigeria. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 10 (2), 88–99. doi: <https://doi.org/10.3923/rjet.2016.88.99>
15. Pokrovskiy, V. A. (2000). Temperature-programmed Desorption Mass Spectrometry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 62, 407–415. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1010177813557>
16. Waksman, S. A., Joffe, J. S. (1922). Microorganisms Concerned in the Oxidation of Sulfur in the Soil: II. Thiobacillus Thiooxidans, a New Sulfur-oxidizing Organism Isolated from the Soil. *Journal of Bacteriology*, 7 (2), 239–256. doi: <https://doi.org/10.1128/jb.7.2.239-256.1922>
17. Nieminen, S. M., Kärki, R., Auriola, S., Toivola, M., Laatsch, H., Laatikainen, R. et al. (2002). Isolation and Identification of Aspergillus fumigatus Mycotoxins on Growth Medium and Some Building Materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (10), 4871–4875. doi: <https://doi.org/10.1128/aem.68.10.4871-4875.2002>
18. Wasik, A. (2007). *Electron Microscopy: Methods and Protocols*, by J. Kuo, ed. Humana Press 2007. 608 pp. ISSN 1064-3745. *Acta Biochimica Polonica*, 54 (4), 887–888. Available at: <https://ojs.pt-bioch.edu.pl/index.php/abp/article/view/5078/4128>
19. Skomoroha, V. N., Zarechniy, V. G., Vorob'eva, I. P., Vakal, S. V.; Skomoroha, V. N. (Ed.) (2002). *Proizvodstvo dnuokisi titana pigmentnoy sul'fatnym sposobom*. Sumi: ATZT «Arsenal-Press», 204. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/2527?locale=uk>
20. Yang, L., Zhao, D., Yang, J., Wang, W., Chen, P., Zhang, S., Yan, L. (2019). Acidithiobacillus thiooxidans and its potential application. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103 (19), 7819–7833. doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10098-5>
21. Justs, J., Bajare, D., Korjakins, A., Mezinskis, G., Locs, J., Bumanis, G. (2013). Microstructural Investigations of Ultra-High Performance Concrete Obtained by Pressure Application within the First 24 Hours of Hardening. *Construction Science*, 14. doi: <https://doi.org/10.2478/cons-2013-0008>
22. Wei, S., Jiang, Z., Liu, H., Zhou, D., Sanchez-Silva, M. (2013). Microbiologically induced deterioration of concrete: a review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44 (4), 1001–1007. doi: <https://doi.org/10.1590/s1517-83822014005000006>
23. Song, Y., Tian, Y., Li, X., Wei, J., Zhang, H., Bond, P. L. et al. (2019). Distinct microbially induced concrete corrosion at the tidal region of reinforced concrete sewers. *Water Research*, 150, 392–402. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.083>
24. Van de Veerdonk, F. L., Gresnigt, M. S., Romani, L., Netea, M. G., Latgé, J.-P. (2017). Aspergillus fumigatus morphology and dynamic host interactions. *Nature Reviews Microbiology*, 15 (11), 661–674. doi: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.90>
25. Cwalina, B. (2008). Biodeterioration of concrete. *Architecture Civil Engineering Environment*, 1 (4), 133–140. Available at: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL2-0022-0118>
26. Yakovleva, G., Sagadeev, E., Stroganov, V., Kozlova, O., Okunev, R., Ilinskaya, O. (2018). Metabolic Activity of Micromycetes Affecting Urban Concrete Constructions. *The Scientific World Journal*, 2018, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/8360287>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227806

AN INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THERMOPLASTIC ADDITIVES IN ASPHALT CONCRETE MIXTURES ON THE PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF ASPHALT CONCRETE (p. 61–70)

Valeriy Zhdaniuk

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0420-7036>

Oleksandr Volovyk

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0949-3767>

Dmytro Kostin

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4278-2990>

Sergey Lisovin

LLC Road Innovation Company, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2522-8197>

The effect of modification of asphalt concrete mixtures of different grain sizes with “Ric-Polycell” (Ukraine) and “Duroflex®-SMA” thermoplastic polymers (Germany), which were added directly to the asphalt mixer during their preparation, on the properties of asphalt concrete was studied. It is confirmed that it is more expedient to use stone mastic asphalt concretes with a larger size of mineral crushed stone grains on high-traffic roads, as they are more rutting-resistant compared to asphalt concretes with smaller size and content of crushed stone grains.

The effect of the temperature of preparation and thermostating of asphalt concrete mixtures modified with the investigated thermoplastics on the compressive strength of asphalt concrete at a temperature of 50 °C, which were made of the studied mixtures, was investigated. It was found that the maximum possible temperatures of preparation and thermostating of asphalt concrete mixes provide a more complete modification.

The effect of the content of thermoplastic polymers in the composition of asphalt concrete mixtures on the properties and rutting resistance of fine-grained asphalt concrete, as well as stone mastic asphalt concrete, was studied. It was found that adding the “Ric-Polycell” polymer in the amount of 1.5 % and 3 % by weight of bitumen in the composition of the studied asphalt mixtures in the asphalt mixer during their preparation increases the rutting resistance of asphalt concrete under the studied conditions by 2.52–3.86 times. Modification of asphalt concrete mixtures with the “Duroflex®-SMA” additive in the amount of 0.3 % and 0.6 % by weight of the aggregate by a similar technology also allows increasing the rutting resistance of the obtained asphalt concrete by 1.86–3.16 times. Using these modifiers in the future will have a positive effect on the service life of the entire pavement structure.

Keywords: fine-grained asphalt concrete, stone mastic asphalt concrete, bitumen, asphalt concrete mixture, thermoplastic polymer, asphalt mixer, plastic deformations, rutting resistance.

References

- Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N. (2014). Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*, 54, 18–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>
- Zhang, F., Yu, J., Han, J. (2011). Effects of thermal oxidative ageing on dynamic viscosity, TG/DTG, DTA and FTIR of SBS- and SBS/sulfur-modified asphalts. *Construction and Building Materials*, 25 (1), 129–137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.048>
- Gallu, R., Méchin, F., Dalmas, F., Gérard, J.-F., Perrin, R., Loup, F. (2020). Rheology-morphology relationships of new polymer-modified bitumen based on thermoplastic polyurethanes (TPU). *Construction and Building Materials*, 259, 120404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120404>
- Jahanian, H. R., Shafabakhsh, G., Divandari, H. (2017). Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite. *Construction and Building Materials*, 131, 156–164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.069>
- Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., Shafiq, P. (2011). Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. *Materials & Design*, 32 (10), 4844–4849. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.016>
- Ameli, A., Maher, J., Mosavi, A., Nabipour, N., Babagoli, R., Norouzi, N. (2020). Performance evaluation of binders and Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures modified by Ground Tire Rubber (GTR), waste Polyethylene Terephthalate (PET) and Anti Stripping Agents (ASAs). *Construction and Building Materials*, 251, 118932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118932>
- Qian, C., Fan, W. (2020). Evaluation and characterization of properties of crumb rubber/SBS modified asphalt. *Materials Chemistry and Physics*, 253, 123319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123319>
- Parvez, M. A., Al-Abdul Wahhab, H. I., Hussein, I. A., Al-Mehthel, M. (2015). Thermorheology of Polyethylene Wax Modified Sulfur Asphalt. *International Polymer Processing*, 30 (2), 202–209. doi: <https://doi.org/10.3139/217.2977>
- Zolotarev, V. A., Bratchun, V. I. (Eds.) (2003). *Modifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchie, spetsial'nyye bitумы i bitумы s dobavkami v dorozhnom stroitel'stve*. PIARC-AIPCR, 229.
- Pyrig, Ya. I., Galkin, A. V., Zolotarev, V. A. (2015). *Modifikatsiya asfal'tobetonov putem pryamogo vvedeniya polimera sbs v mineral'nyuy smes'*. *Dorohy i mosty*, 15, 19–26.
- Zhdaniuk, V. K., Kostyn, D. Yu., Arinushkina, O. O. (2012). *Doslidzhennia vlastyvostei shchebenevo-mastykovykh asfaltobetoniv riznykh vydiv na modyfikovanykh bitumakh*. *Avtoshliakhovykh Ukrainy*, 6, 25–29.
- Zhdanyuk, V., Makarchev, O., Shrestha, R., Costin, D., Volovik, A. (2012). Investigation of influence of modifying additives applied in bitumen on a physical properties and rutting resistance of fine-grained asphalt concrete. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, 58, 130–133.
- Zhdanyuk, V. K., Masyuk, Yu. A., Chuguenko, S. A., Pligun, V. I. (2007). *Ob otsenke ustoychivosti asfal'tobetonnykh pokrytyi k obrazovaniyu plasticheskikh deformatsiy v vide kolei*. *Stroitel'stvo, rekonstruktsiya i vosstanovlenie zdaniy gorodskogo hozyaystva: II mezhdunar. nauch.-tekhn. internet-konf. Kharkiv: HNAGH*, 168–171.

АНОТАЦІЇ

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.224435**РОЗРОБКА ЕКСТРАКТУ БІЛОГО ЧАЮ В ЯКОСТІ ЗЕЛЕНОГО ІНГІБІТОРА КОРОЗІЇ В М'ЯКІЙ СТАЛІ В 1 М РОЗЧИНІ СОЛЯНОЇ КИСЛОТИ (с. 6–20)****Agus Paul Setiawan Kaban, Aga Ridhova, Gadang Priyotomo, Berna Elya, Ahmad Maksun, Yunita Sadeli, Sutopo, Taufik Aditiyawardman, Rini Riastuti, Johny Wahyuadi Soedarsono**

У даній роботі розглядається ефективність екстракту білого чаю в якості зеленого інгібітора корозії, а також міцність і стабільність зв'язку між молекулою фенолу і атомами Fe в м'якій сталі і як ця взаємодія може бути вивчена шляхом зміни концентрації і температури. Білий чай отримав значну увагу завдяки своїй здатності інгібувати корозію і був широко вивчений з використанням електрохімічних методів. Однак точна і систематична ідентифікація функціональних груп і модифікація поверхні були відсутні. Представлене дослідження було спрямоване на демонстрацію кількісного вимірювання електрохімічної імпедансної спектроскопії (ЕІС), доповненої Фур'є-ІЧС (Фур'є-ІЧ-спектроскопія), вимірюванням концентрації загальних фенолів і Раманівською спектроскопією. Для дослідження модифікації поверхні використовували СЕМ (скануючий електронний мікроскоп)/ЕРС (енергодисперсійна рентгенівська спектроскопія) і АСМ (атомно-силовий мікроскоп). Результати ЕІС показують, що оптимальна ефективність інгібування складала 96 % в розчині 80 ppm при 60 °С. Ацетон 70 % використовували для екстракції білого чаю і отримували 14,17±0,25 % фенольну сполуку. Спектроскопічні дослідження показують, що -ОН, ароматичні С=C, С=О і С-О-С стають основними учасниками процесу адсорбції і виявляються на поверхні металів в якості захисту від корозії. Тим часом термодинамічний розрахунок показує, що білий чай був адсорбований хімічно. Близькість R² до 1 показує, що адсорбція узгоджується з ізотермою адсорбції Ленгмюра. В кінцевому підсумку модифікація поверхні показала, що молекули фенолу відповідальні за зниження швидкості корозії до 16,38×10⁻³ т/ру. Очікується, що представлені результати слугуватимуть керівництвом для майбутніх досліджень білого чаю в якості зеленого інгібітора корозії.

Ключові слова: катехін, зелений інгібітор корозії, хемосорбція, адсорбція, модифікація поверхні, ізотерма Ленгмюра.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228546**РОЗРОБКА КОАЛЕСЦЕНТІВ ДЛЯ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ІОННИХ РІДИН – ПРОДУКТІВ ВЗАЄМОДІЇ ДІЕТАНОЛАМІНУ З НЕОРГАНІЧНИМИ КИСЛОТАМИ (с. 21–29)****Є. П. Левченко, О. С. Свердліковська, Д. О. Черваков, О. В. Черваков**

Синтезовано іонні рідини шляхом взаємодії діетаноламіну з ортофосфатною та борною кислотами для встановлення можливості заміни летких коалесцентів у складі лакофарбових матеріалів на іоногенні сполуки. Представлено результати дослідження впливу полімерних коалесцентів на основі іонних рідин на реологічні властивості воднодисперсійних лакофарбових матеріалів різної природи. Встановлено, що синтезовані коалесценти можна використовувати для модифікації властивостей лакофарбових матеріалів на основі поліуретанових та стирол-акрилових водних дисперсій. Показано, що продукт взаємодії діетаноламіну та борної кислоти у водних розчинах утворює іоногенну комплексну сполуку з уніполярною провідністю за іонами ОН⁻. Також встановлено, що при введенні до складу воднодисперсійних лакофарбових матеріалів розчини модифікаторів чинять розріджувачу дію. Проведено дослідження впливу іонних рідин на процес плівкоутворення водних дисперсій полімерів та пігментованих лакофарбових матеріалів на їх основі. Встановлено, що синтезовані іоногенні сполуки не поступаються за своєю ефективністю широко розповсюдженим традиційним промисловим коалесцентам типу Texanol[®].

Таким чином, є підстави стверджувати про можливість заміни промислового коалесценту Texanol[®] у складі пігментованих воднодисперсійних лакофарбових матеріалів на основі стирол-акрилових та поліуретанових дисперсій на принципово нові синтезовані іоногенні модифікатори. Так, покриття з коалесцентом на основі іонної рідини діетаноламіноборату мають більш високий рівень умовної твердості, яка перевищує на 17 % показник твердості фарби, виготовленої на основі традиційного коалесценту типу Texanol[®], не змінюючи її декоративні властивості, такі як колір та блиск.

Ключові слова: іонна рідина, діетаноламін, борна кислота, ортофосфатна кислота, коалесцент, лакофарбові матеріали.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.209900**АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАПРЯМКУ ПОТОКУ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ ВОДИ НА КОНДЕНСАТНЕ МАСЛО З ВІДПРАЦЬОВАНИХ ШИН (с. 30–37)****Budhi M Suyitno, Erlanda Augupta Pane, Wina Libyawati, Chatrine Jelita, Hendri Sukma, Ismail**

Застосування піролізу для термічного розкладання відпрацьованих шин можна розглядати як ідеальну концепцію для скорочення їх кількості і переробки. В результаті цього процесу може утворюватися конденсатне масло, типово масло, близьке за властивостями до сирової нафти. Критичним аспектом процесу піролізу є конструкція реактора, особливо для конденсатора, де швидкість теплопе-

редачі сприяє загальній якості і кількості одержуваного конденсатного масла. Дане дослідження присвячене впливу напрямку потоку води на процес конденсації піролізного газу. Для спостереження за ефектом процесу конденсації, досліджується кількість і якість отриманого масла. В даному процесі перевіряють два різних напрямки потоку води, а саме протитечію і паралельний потік. Вплив напрямку потоку води в конденсаторі явно впливає на процес піролізу з отриманням конденсатного масла. Виходячи з обсягу виробництва, протиточний конденсатор здатний виробляти 355 мл конденсатного масла, в той час як конденсатор з паралельним потоком всього 290 мл. Залежно від якості одержуваного конденсатного масла, протиточний конденсатор, як правило, краще, ніж конденсатор з паралельним потоком, де щільність, температура займання і в'язкість близькі до властивостей сирої нафти. Швидкість теплопередачі від конденсатора до піролізного газу є основним фактором, що впливає на якість і кількість конденсатного масла. Середня теплопередача для протитоку і паралельного потоку становить 2728 Вт і 1865 Вт відповідно. Можна констатувати, що використання протиточного конденсатора для реактора піролізу дозволяє поліпшити якість і кількість конденсатного масла.

Ключові слова: протитечія, паралельний потік, піроліз, конденсатор, теплопередача.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226575

ОДЕРЖАННЯ 5-ГІДРОКСИМЕТИЛФУРФУРОЛУ НА ОСНОВІ ГЛЮКОЗИ НА ШИРОКОПОРИСТИХ ЦЕОЛІТАХ (с. 38–44)

Л. К. Патриляк, С. В. Коновалов, О. П. Пертко, А. В. Яковенко, В. А. Поважний, О. В. Мельничук

Одержання речовин-платформ, зокрема, 5-гідроксиметилфурфуролу є одним із напрямків, що найбільш активно досліджується на сьогодні. Вони можуть бути сировиною для подальшого отримання нового покоління біополімерів, палив, фармацевтичних препаратів, харчових добавок та інших хімічних речовин. Синтезовано каталізатори на основі широкопористих цеолітів X, Y та M методами іонного обміну та просочування, що вміщують катіони рубідію, лантану, кальцію та амонію. Знайдено, що питома поверхня цеолітів складала 400–500 м²/г, а вибрані умови синтезу не спричиняють відчутного руйнування мікропористої структури. У присутності синтезованих каталізаторів проведено дегідратацію глюкози у водному середовищі та в диметилсульфоксиді за 150–160 °С. За допомогою газової хроматографії проаналізовано продукти реакції, розраховано вихід 5-гідроксиметилфурфуролу та конверсію глюкози. Встановлено вищу ефективність полікатіонних форм цеолітів у неводному середовищі. В останньому випадку досягнуто 40 % виходів 5-гідроксиметилфурфуролу за фактично повної конверсії глюкози. Методами інфрачервоної-спектроскопії та диференційно-термічного аналізу/термогравиметрії досліджено дезактивовані зразки каталізаторів. Встановлено, що у випадку реалізації реакції в диметилсульфоксиді на каталізаторі менше накопичуються продукти побічного процесу олігомеризації. Втрата маси зразків, дезактивованих у водному середовищі, складає 30–33 %, тоді як в диметилсульфоксиді – до 24 %. Одержані результати є практично важливими, оскільки єдиним легким продуктом перетворення є 5-гідроксиметилфурфурол з виходами до 40 %. Останні є прийнятними для можливої майбутньої реалізації одностадійного процесу одержання 5-гідроксиметилфурфуролу.

Ключові слова: цеоліти широкопористі, форми полікатіонні, глюкози дегідратація, 5-гідроксиметилфурфурол, вихід, конверсія глюкози.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227952

СИНТЕЗ Ni(OH)₂, ПРИГОДНОГО ДЛЯ ПРИМЕНЕННЯ В СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ, МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГОМОГЕННОГО ТЕМПЛАТНОГО ОСАЖДЕННЯ (с. 45–51)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток

Високу електрохімічну активність в суперконденсаторах проявляє α -Ni(OH)₂, отриманий темплатним гомогеним осадженням. Основний недолік – високі витрати енергії для підтримання високої температури при синтезі. Для зниження енерговитрат запропоновано знизити температуру синтезу. В дослідженні було проведено отримання Ni(OH)₂ методом холодного темплатного гомогенного осадження при використанні в якості темплату Culminal C8465 (0,5 %), протягом 6 місяців при t=20–35 °С.

Електрохімічні характеристики зразку вивчалися циклічною вольтамперометрією та гальваностатичним зарядно-розрядним циклюванням намазного “binder-free” електрода, виготовленого без введення зовнішнього зв'язуючого, в режимі суперконденсатора. Визначено, що утворюється низькокристалічний α -Ni(OH)₂, який складається із агломератів часток сферичної форми. Виявлено низькі питомі характеристики гідроксиду нікелю на початку циклювання через блокування активної поверхні. Показано, що питома ємність зразку підвищується при подальшому циклюванні за рахунок розпаду агрегатів на більш дрібні частки, отримано питомі ємності 80 Ф/г і 38 мА·год/г. Однак виявлено недостатність зв'язуючих властивостей залишків темплату, в результаті чого відбувається зниження питомих характеристик. Зроблено висновок щодо необхідності введення зовнішнього зв'язуючого.

Виявлено не описаний ефект суттєвого підвищення питомої ємності при висушуванні просоченого лугом електрода, обумовлений розпадом агломератів часток при карбонізації луку (максимальна ємність – 135 Ф/г і 69 мА·год/г). Зроблено висновок щодо перспективності застосування виявленого ефекту будь-яких зразків гідроксиду нікелю, отриманих різними методами об'ємного темплатного синтезу.

Ключові слова: гідроксид нікелю, темплатний синтез, холодне гомогенне осадження, суперконденсатор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226587**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНОЇ БІОХІМІЧНОЇ КОРОЗІЇ НА БЕТОННІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ В УМОВАХ ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА (с. 52–60)****О. І. Шкромада, В. Д. Івченко, В. Д. Чіванов, Л. А. Циганенко, Г. М. Циганенко, В. Б. Москаленко, І. М. Кирчата, О. М. Шершенюк, Ю. В. Ліцман**

Встановлено вплив мікробної та хімічної корозії на бетонні споруди, що експлуатуються в умовах хімічних підприємств, з метою надійного прогнозування термінів виведення останніх із функціонування для попередження виробничих катастроф. Незважаючи на те, що будівництво велось із урахуванням всіх будівельних норм, бетонні конструкції з часом піддаються хімічній та біологічній корозії.

Запропоновано як новачку дослідження глибини та ступеню пошкодження бетону на мікроскопічному рівні метод растрової електронної мікроскопії. Крім того, для визначення кількісного та якісного стану карбонатних складових бетону та сполук сірки запропоновано метод TPD-MS.

Дослідженнями встановлено, що в зразках бетону в цеху з виробництва діоксиду титану кількість виділення двоокису вуглецю в два рази менше, ніж у контрольних зразках при $t=600$ °C, а рівень двоокису сірки навпаки відповідно зростає. Це пов'язано із здатністю тіонових бактерій накопичувати сульфатну кислоту, яка руйнує цементуючу складову у бетоні. Отримані результати підтверджують вплив продуктів життєдіяльності мікроорганізмів *Acidithiobacillus thiooxidans* на корозійні процеси у бетоні.

Крім того, методом TPD-MS у приміщенні зберігання готової продукції встановлено, що при нагріванні контрольного зразка бетону виділяється значна кількість CO_2 при $t=580\text{--}600$ °C. Однак у дослідних зразках бетону сполуки карбону практично відсутні через те, що кислотні метаболіти мікрогрибів перешкоджають його формуванню. Мікроскопічними та РЕМ дослідженнями виявлено локалізацію в бетоні *Acidithiobacillus thiooxidans* та *Aspergillus fumigatus*.

Дослідженнями встановлені закономірності між механізмом утворення хімічних сполук в бетоні та метаболізмом мікроорганізмів.

Ключові слова: біохімічна корозія бетону, сульфатна кислота, бактерія *Thiobacillus thiooxidans*, мікроміцети *Aspergillus fumigatus*.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227806**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ТЕРМОПЛАСТИВ ДО АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ РІЗНИХ ТИПІВ ТА ВИДІВ (61–70)****В. К. Жданюк, О. О. Воловик, Д. Ю. Костін, С. В. Лісовін**

Виконані дослідження впливу модифікації асфальтобетонних сумішей різної гранулометрії термопластичними полімерами «Ric-Polycell» (Україна) та «Duroflex®-SMA» (Німеччина), які додавали безпосередньо у асфальтозмішувач під час їх приготування, на властивості асфальтобетонів. Підтверджено, що більш доцільно на автомобільних дорогах з високою інтенсивністю руху великокавових транспортних засобів, використовувати щибенево-мастикові асфальтобетони з більшою крупністю мінеральних зерен щебеню, оскільки вони є більш колієстійкі, порівняно з асфальтобетонами з меншим розміром та вмістом зерен щебеню.

Досліджено вплив температури приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей модифікованих досліджуваними термопластами на показник границі міцності при стиску асфальтобетонів за температури 50 °C, які були виготовлені з досліджуваних сумішей. Встановлено, що за максимально можливих температур приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей відбувається більш повна їх модифікація.

Досліджено вплив вмісту термопластичних полімерів у складі асфальтобетонних сумішей на властивості та колієстійкість дрібнозернистого асфальтобетону, а також щибенево-мастикових асфальтобетонів. Встановлено, що додавання полімеру «Ric-Polycell» у кількості 1,5 % та 3 % від маси бітуму до складу досліджених асфальтобетонних сумішей у асфальтозмішувач, під час їх приготування, дозволяє підвищити колієстійкість отриманих асфальтобетонів за досліджених умов від 2,52 до 3,86 разів. Модифікація асфальтобетонних сумішей добавкою «Duroflex®-SMA» у кількості 0,3 % та 0,6 % від маси мінеральної частини за аналогічною технологією, також дозволяє підвищити колієстійкість отриманих асфальтобетонів від 1,86 до 3,16 разів. Використання зазначених модифікаторів в подальшому позитивно впливатиме на збільшення терміну експлуатації усієї конструкції дорожнього одягу.

Ключові слова: дрібнозернистий асфальтобетон, щибенево-мастиковий асфальтобетон, бітум, асфальтобетонна суміш, термопластичний полімер, асфальтозмішувач, пластичні деформації, колієстійкість.