

ABSTRACT AND REFERENCES

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360827

DETERMINING THE INFLUENCE OF SURFACE ENERGY OF POLYMER FILMS ON THE WETTING AND ADHESION OF FLEXOGRAPHIC INKS (p. 6–14)**Valentyna Slobodianyuk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6982-7194>**Ivanna Koniukhova**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6488-4130>

This study investigates the process of wetting and adhesive interaction between flexographic inks and polymer films of different nature and surface structure. An issue related to flexographic printing on polymer films is insufficient surface wettability and low stability of adhesion of the ink layer, which worsens the print quality. This work explores the wetting of the surface of films with liquids of different polarity and with UV flexographic ink.

The equilibrium values of the cosine of the wetting angle for non-polar and polar liquids have been experimentally determined. The $\cos\theta$ values for non-polar liquids are 0.90–0.99, while for polar liquids they decrease to 0.36–0.92 depending on the type of film surface. The thermodynamic characteristics of wetting, in particular the work of adhesion and cohesion, were calculated. It was established that the work of adhesion varies within 45–140 mN/m.

It has been shown that wetting is determined by the ratio of the dispersive and polar components of surface energy. For non-polar liquids, dispersive interactions dominate, while for polar liquids, polar ones. The influence of the structural characteristics of the surface on wetting has been established. The matte polypropylene film is characterized by worse wettability compared to glossy samples.

The components of the surface energy were determined by the Owens-Wendt method, which made it possible to establish their influence on adhesive interaction. The surface energy values of polymer films are 42–53 mN/m, while the proportion of the polar component increases to 0.19 for samples with better wettability. It has been shown that the adhesive behavior of UV flexographic ink is comparable to polar liquids.

The results could be used to predict the wetting of polymer materials and to optimize flexographic printing processes.

Keywords: wetting, adhesion, polymer films, polypropylene, polyethylene terephthalate, surface energy, Owens-Wendt-Rabel-Kaelble (OWRK) method.

References

- Aydemir, C., Altay, B. N., Akyol, M. (2020). Surface analysis of polymer films for wettability and ink adhesion. *Color Research & Application*, 46 (2), 489–499. <https://doi.org/10.1002/col.22579>
- Wynne, A. C., Smith, M. A., Foley, K., Chu, I.-W., Johnston, M. A., Walters, K. B., Kundu, S. (2025). Improving Water-Based Ink Adhesion on Commercial Polymers by Corona Treatment. *Polymer Engineering & Science*, 65 (12), 6823–6835. <https://doi.org/10.1002/pen.70167>
- Wang, Y., Hansen, C. J., Wu, C.-C., Robinette, E. J., Peterson, A. M. (2021). Effect of surface wettability on the interfacial adhesion of a thermosetting elastomer on glass. *RSC Advances*, 11 (49), 31142–31151. <https://doi.org/10.1039/d1ra05916e>
- Wang, D., Cornelius, C. J. (2016). Ionomer thermodynamic interrelationships associated with wettability, surface energy, swelling, and water transport. *European Polymer Journal*, 85, 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.10.024>
- Repeta, V. (2013). Influence of surface energy of polymer films on spreading and adhesion of UV-flexo inks. *Acta Graphica*, 23 (3-4), 79–84. Available at: <https://hrcak.srce.hr/en/138185>
- Kukura, T. Yu., Varkholyak, V. I. (2024). Adhesive interaction of flexographic inks with the photopolymer printing plate surface. *Printing and Publishing*, 1 (87), 133–139. <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2024-1-87-133-139>
- Beketov, G. V., Shynkarenko, O. V. (2022). Surface wetting and contact angle: basics and characterisation. *Himia, Fizika Ta Tehnologija Poverhni*, 13 (1), 3–35. <https://doi.org/10.15407/hftp13.01.003>
- Owens, D. K., Wendt, R. C. (1969). Estimation of the surface free energy of polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 13 (8), 1741–1747. <https://doi.org/10.1002/app.1969.070130815>
- Guo, W., Ye, C., ten Brink, G. H., Loos, K., Svetovoy, V. B., Palasantzas, G. (2021). Tunable wettability of polymer films by partial engulfment of nanoparticles. *Physical Review Materials*, 5 (1). <https://doi.org/10.1103/physrevmaterials.5.015604>
- Jorge, A. M. S., Coutinho, J. A. P., Pereira, J. F. B. (2025). Owens-Wendt method as a tool to evaluate polarity of polymer-polymer aqueous two-phase systems. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 726, 138080. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.138080>
- Krykhovets, O. V., Slobodianyuk, V. G. (2022). Study of surface properties of biodegrading films based on polyvinyl alcohol. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 25, 13–18. <https://doi.org/10.32447/20784643.25.2022.02>
- Repeta, V., Kukura, T., Havrylyshyn, V., Kukura, Y. (2023). Analysis of factors and construction of prognostic quality models of flexographic printing process of packaging with solvent based inks. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 14 (3), 37–44. <https://doi.org/10.24867/jged-2023-3-037>
- Nogalska, A., Trojanowska, A., Tylkowski, B., Garcia-Valls, R. (2019). Surface characterization by optical contact angle measuring system. *Physical Sciences Reviews*, 5 (2). <https://doi.org/10.1515/psr-2019-0083>
- Law, K.-Y., Zhao, H. (2015). Contact Angle Measurements and Surface Characterization Techniques. *Surface Wetting*, 7–34. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25214-8_2
- Chai, J., Ming, C., Zeng, Y., Liu, Z., Sun, Y.-Y. (2025). Surface energy of glass and interfacial energy of glass with metals. *Physical Review B*, 111 (3). <https://doi.org/10.1103/physrevb.111.035433>
- Chen, X., Cao, Y., Chen, C., Bian, H., Song, X., Fu, W. et al. (2024). Insight into the wetting behavior and interfacial evolution of Sn-xZr/ZrO₂ systems at 850-950 °C. *Journal of the European Ceramic Society*, 44 (6), 4008–4017. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.01.029>
- Kang, Y., Jung, I.-H. (2024). Model for Surface Tension of Pure Liquid Metals: Revisit to Iida's Model. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 55 (5), 3698–3710. <https://doi.org/10.1007/s11663-024-03209-9>
- Zhang, Z., Wang, W., Korpacz, A. N., Dufour, C. R., Weiland, Z. J., Lambert, C. R., Timko, M. T. (2019). Binary Liquid Mixture Contact-Angle Measurements for Precise Estimation of Surface Free Energy. *Langmuir*, 35 (38), 12317–12325. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b01252>

19. Lide, D. R. (Ed.) (2005). CRC handbook of chemistry and physics. CRC Press. Available at: <https://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/isolda/libros/handbook.pdf>
20. Repeta, V. B. (2009). Kompiuterna prohrama «Analiz kinetyky rozতিকання ridyn» (Svidotstvo pro avtorske pravo No. 28766). Ukrainska akademiya drukarstva.
21. Klonica, M., Kuczmaszewski, J. (2017). Determining the value of surface free energy on the basis of the contact angle. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11 (1), 66–74. <https://doi.org/10.12913/22998624/68800>
22. Borah, R., Kumar, A., Das, M. K., Ramteke, A. (2015). Surface functionalization-induced enhancement in surface properties and biocompatibility of polyaniline nanofibers. *RSC Advances*, 5 (60), 48971–48982. <https://doi.org/10.1039/c5ra01809a>
23. Slobodianyuk, V. H., Nazar, I. M., Koniukhova, I. I., Koniukhov, O. D. (2025). Impact of low temperatures and UV irradiation on the mechanical properties of polymer films for packaging. *Book Qualilogy*, 1 (47), 107–116. <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2025-1-47-107-116>
24. Slobodianyuk, V. H., Koniukhova, I. I., Koniukhov, O. D. (2025). Determination of surface properties of films for packaging. *Book Qualilogy*, 2 (48), 175–182. <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2025-2-48-175-182>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363075

ESTABLISHING THE RELATIONSHIPS BETWEEN C9 HYDROCARBON RESIN PROPERTIES AND RADICAL OLIGOMERIZATION TECHNIQUE (p. 15–22)

Roman Subtelnyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2919-004X>

Olha Fedotova

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3847-0077>

Volodymyr Romaniv

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5237-4911>

Yevhenii Zhuravskiy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1595-0864>

Bohdan Dzinyak

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1824-2871>

This study investigates the radical oligomerization of the C9 fraction of liquid by-products from diesel fuel pyrolysis. The task addressed is to establish patterns of influence of the radical oligomerization technique on the properties of C9 hydrocarbon resins.

The effect of radical oligomerization technique on the physicochemical, molecular weight, rheological, and structural characteristics of resins obtained by high-temperature (thermal, initiated) and low-temperature (emulsion, suspension) methods has been studied. It was established that high-temperature methods provide higher yields of resins (15–32%), lower average molecular weight (455–670 g/mol), and a wider molecular weight distribution (1.20–1.25). Low-temperature dispersion processes are characterized by lower yields (4–29.3%), higher molecular weight (550–750 g/mol) and narrower distribution (1.02–1.06). Emulsion and suspension methods provide lighter resins (10–40 mg I₂/100 ml) compared to high-temperature analogs (40–80 mg I₂/100 ml).

The results and structural differences recorded by IR spectroscopy are attributed to the temperature regime of synthesis. High-tem-

perature resins are characterized by a higher content of condensed cyclic structures. This is explained by the intensification of side chain transfer reactions at high temperatures.

Special features of the results are determining the complex relationship between the oligomerization technique and the characteristics of the resins. This allows for a purposeful selection of synthesis conditions for specific product requirements.

The scope of practical implementation of the results includes the chemical and paint industries; as well as the possibility of directed regulation of the properties of C9 resins for their use in adhesives, sealants, and film formers.

Keywords: hydrocarbon resin, C9 fraction, radical oligomerization, styrene, cyclopentadiene, polydispersity, rheology.

References

1. Rostami, M.-T., Shahverdi, H., Javanbakht, V., Chermahini, A. N., Fakhar, A. (2026). Experimental petroleum resin production and optimization using response surface modeling. *Scientific Reports*, 16 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-36409-1>
2. Mildenberg, R., Zander, M., Collin, G. (1997). *Hydrocarbon Resins*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527614653>
3. Rahmatpour, A., Ghasemi Meymandi, M. (2021). Large-Scale Production of C9 Aromatic Hydrocarbon Resin from the Cracked-Petroleum-Derived C9 Fraction: Chemistry, Scalability, and Techno-economic Analysis. *Organic Process Research & Development*, 25 (1), 120–135. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.0c00474>
4. Liang, T., Lin, X.-H., Zou, Y.-R., Zhan, Z.-W., Peng, P. (2023). Elucidating the chemical structures of petroleum resin using solid-state 13C NMR. *Chemical Geology*, 630, 121492. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121492>
5. Liang, J., Chang, S., Feng, N. (2013). Effect of C5 petroleum resin content on damping behavior, morphology, and mechanical properties of BIIR/BR vulcanizates. *Journal of Applied Polymer Science*, 130 (1), 510–515. <https://doi.org/10.1002/app.39202>
6. Zohuriaan-Mehr, M. J., Omidian, H. (2000). Petroleum Resins: An Overview. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 40 (1), 23–49. <https://doi.org/10.1081/mc-100100577>
7. Subtelnyy, R., Zhuravskiy, Y., Dzinyak, B. (2023). Preparation of hydrocarbon resins by suspension oligomerisation of the C9 fraction of gasoline pyrolysis initiated by amino peroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (126)), 23–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292527>
8. Orobchuk, O., Subtelnyy, R., Dzinyak, B. (2014). Studying the effect of initiator dosing on the process of hydrocarbon fraction suspension co-oligomerization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (70)), 14–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.26236>
9. Mokryi, Ye., Dziniak, B., Nykulyshyn, I., Budzan, B., Salim Khair Salem (1997). Porivnialna otsinka metodiv oderzhannia naftopolimernykh smol. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 5, 153–156.
10. Subtelnyy, R., Kichura, D., Dzinyak, B. (2021). Correlation between the emulsion oligomerization parameters for C9 fraction and the characteristics of hydrocarbon resins. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (111)), 6–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232684>
11. Subtelnyy, R. O., Fedotova, O. B., Dzinyak, B. O. (2026). Molecular-weight distribution of C9 hydrocarbon resins. *Voprosy Khimii I Khimicheskoi Tekhnologii*, 2, 59–67. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2026-165-2-59-67>
12. Xiong, Z., Mi, Z., Zhang, X. (2005). Study on the oligomerization of cyclopentadiene and dicyclopentadiene to tricyclopentadiene

through diels-alder reaction. Reaction Kinetics and Catalysis Letters, 85 (1), 89–97. <https://doi.org/10.1007/s11144-005-0247-9>

13. Guo, Y., Liu, J., Lu, Y., Dong, D., Wang, W., Zhang, L. (2018). A combined molecular dynamics simulation and experimental method to study the compatibility between elastomers and resins. RSC Advances, 8 (26), 14401–14413. <https://doi.org/10.1039/c8ra00572a>
14. Zhou, D., Chen, X., Liang, J., Wei, X., Wu, C., He, Y., Wang, L. (2022). Combustion kinetics and fuel performance of tackifying resins by TG-FTIR and DFT analysis. Fuel, 330, 125656. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125656>
15. Subtelnyy, R. O., Balitskiy, I. H., Dzynyak, B. O. (2025). Rheological properties of C9 petroleum resin solutions. Voprosy Khimii I Khimicheskoi Tekhnologii, 2, 17–23. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2025-159-2-17-23>
16. Yan, C., Zhang, T., Hu, K., Gillani, S. T. A., Zhang, W. (2024). Evaluation of the Effect of C9 Petroleum Resin on Rheological Behavior, Microstructure, and Chemical Properties of Styrene–Butadiene–Styrene Modified Asphalt. Buildings, 14 (6), 1599. <https://doi.org/10.3390/buildings14061599>
17. Chen, Z., Wang, W., Abdulkadir, A., Lei, J., Yi, J., Pei, Z. (2025). C9 Petroleum Resin and Polyethylene-Based High-Viscosity Modified Asphalt Binder Proportioning Optimization and Performance Study. Coatings, 15 (3), 343. <https://doi.org/10.3390/coatings15030343>
18. Lei, G. Y. (1981). Self-consistency of fractional precipitation method for determining molecular weight distribution in a polymer sample. Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition, 19 (2), 389–396. <https://doi.org/10.1002/pol.1981.170190215>
19. Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R. (2021). A conceptual guide to measuring species diversity. Oikos, 130 (3), 321–338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
20. Uysal, D. S., Kalıpcılar, H., Karakaş, G. (2025). Kinetic Analysis and Simulation of Dicyclopentadiene/Cyclopentadiene Production by Using Reactive Batch Distillation of Pyrolysis Gasoline. Energy & Fuels, 39 (15), 7592–7604. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c00569>
21. Yao, Z., Xu, X., Dong, Y., Liu, X., Yuan, B., Wang, K. et al. (2020). Kinetics on thermal dissociation and oligomerization of dicyclopentadiene in a high temperature & pressure microreactor. Chemical Engineering Science, 228, 115892. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115892>
22. Wutz, C., Kricheldorf, H. R. (2012). Molecular Weight Distribution of Linear Chains in Step-Growth Polymerization Under the Influence of Cyclization Reactions. Macromolecular Theory and Simulations, 21 (4), 266–271. <https://doi.org/10.1002/mats.201100084>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364663

IDENTIFICATION OF RESPONSE SURFACE PATTERNS IN ULTRASOUND-ASSISTED TRANSESTERIFICATION OF CASTOR OIL USING CAO-MGO CATALYSTS DERIVED FROM BLOOD COCKLE SHELL AND LIMESTONE (p. 23–33)

Abdullah Faizal

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
Universitas Wahidiyah, Bandar Lor, Kec. Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4112-4413>

Slamet Wahyudi

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4479-0895>

Winarto Winarto

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7988-1132>

Ishardita Pambudi Tama

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8392-6890>

The object of this study is the ultrasound-assisted transesterification of castor oil (*Ricinus communis*) into biodiesel using heterogeneous catalysts derived from natural sources: blood cockle shells (*Anadara granosa*) from Pekanbaru and limestone from Bangkalan, Indonesia. The problem addressed is that directly calcined limestone produces low biodiesel yield without complex post-treatment, and whether ultrasonic irradiation can compensate for this has not been tested. Three catalysts (shell-derived CaO, limestone-derived CaO-MgO, and their 1:1 physical mixture) were calcined at 900°C, 5 h, characterized by X-ray diffraction, Scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy, and Fourier-transform infrared spectroscopy, and tested under ultrasonic irradiation at 28 kHz with 56.0 W effective power (calorimetric calibration, 100 W nominal). A central composite design (reaction time, catalyst loading) was employed for each catalyst. Mean yields were 95.4% (mixed), 93.2% (limestone), and 89.2% (shell). Response surface analysis revealed a maximum for limestone (97.9% at 93.9 min, 4.24 wt%), a saddle point for shell, and an inverted surface for the mixture. These distinct geometries arise from phase composition and active-site differences. Unlike prior work requiring calcination-hydration-dehydration and NiO impregnation, the limestone catalyst here achieved 93.2% yield by direct calcination and sonication alone, far exceeding the 16.45% reported without sonication. These findings apply to biodiesel production where shell and limestone are abundant, replacing complex catalyst post-treatment with direct calcination and sonication.

Keywords: heterogeneous catalysis, sonication, blood cockle shell, calcined limestone, response surface methodology, calorimetric calibration.

References

1. Farouk, S. M., Tayeb, A. M., Abdel-Hamid, S. M. S., Osman, R. M. (2024). Recent advances in transesterification for sustainable biodiesel production, challenges, and prospects: a comprehensive review. Environmental Science and Pollution Research, 31 (9), 12722–12747. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32027-4>
2. Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (4), 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
3. Banković-Ilić, I. B., Stamenković, O. S., Veljković, V. B. (2012). Biodiesel production from non-edible plant oils. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (6), 3621–3647. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.002>
4. Osorio-González, C. S., Gómez-Falcon, N., Sandoval-Salas, F., Saini, R., Brar, S. K., Ramírez, A. A. (2020). Production of Biodiesel from Castor Oil: A Review. Energies, 13 (10), 2467. <https://doi.org/10.3390/en13102467>
5. Chidambaranathan, B., Gopinath, S., Aravindraj, R., Devaraj, A., Gokula Krishnan, S., Jeevaanathan, J. K. S. (2020). The production of biodiesel from castor oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition Engine: A comprehensive review. Materials Today: Proceedings, 33, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.205>
6. Lee, H. V., Juan, J. C., Taufiq-Yap, Y. H., Kong, P. S., Rahman, N. A. (2015). Advancement in heterogeneous base catalyzed technology: An efficient production of biodiesel fuels. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 7 (3). <https://doi.org/10.1063/1.4919082>
7. Ponnappan, V. S., Munuswamy, D. b., Nagappan, B., Devarajan, Y. (2021). Investigation on the effect of ultrasound irradiation on bio-

diesel properties and transesterification parameters. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (45), 64769–64777. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15568-w>

8. Yan, S., DiMaggio, C., Mohan, S., Kim, M., Salley, S. O., Ng, K. Y. S. (2010). *Advancements in Heterogeneous Catalysis for Biodiesel Synthesis*. *Topics in Catalysis*, 53 (11-12), 721–736. <https://doi.org/10.1007/s11244-010-9460-5>
9. Tahvildari, K., Anaraki, Y. N., Fazaeli, R., Mirpanji, S., Delrish, E. (2015). The study of CaO and MgO heterogenic nano-catalyst coupling on transesterification reaction efficacy in the production of biodiesel from recycled cooking oil. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13 (1). <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0226-7>
10. Ismail, S., Ahmed, A. S., Anr, R., Hamdan, S. (2016). Biodiesel Production from Castor Oil by Using Calcium Oxide Derived from Mud Clam Shell. *Journal of Renewable Energy*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/5274917>
11. Aqliliriana, C. M., Ernee, N. M., Irmawati, R. (2015). Preparation and characterization of modified calcium oxide from natural sources and their application in the transesterification of palm oil. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 4 (11), 168–175.
12. Widiarti, N., Bahruji, H., Holilah, H., Ni'mah, Y. L., Ediati, R., Santoso, E. et al. (2021). Upgrading catalytic activity of NiO/CaO/MgO from natural limestone as catalysts for transesterification of coconut oil to biodiesel. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13 (4), 3001–3015. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01373-5>
13. Encinar, J. M., González, J. F., Pardal, A. (2012). Transesterification of castor oil under ultrasonic irradiation conditions. Preliminary results. *Fuel Processing Technology*, 103, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.12.033>
14. Abukhadra, M. R., Mohamed, A. S., El-Sherbeeney, A. M., Soliman, A. T. A., Abd Elgawad, A. E. E. (2020). Sonication induced transesterification of castor oil into biodiesel in the presence of MgO/CaO nanorods as a novel basic catalyst: Characterization and optimization. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 154, 108024. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108024>
15. Gandhi, S. S., Gogate, P. R. (2021). Intensified transesterification of castor oil using ultrasonic horn: response surface methodology (RSM) based optimization. *International Journal of Green Energy*, 18 (14), 1523–1535. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1911808>
16. Sabzimaleki, M., Ghobadian, B., Mazloom Farsibaf, M., Najafi, G., Dehghani Soufi, M., Mohammad Safieddin Ardebili, S. (2015). Optimization of Biodiesel Ultrasound-Assisted Synthesis from Castor Oil Using Response Surface Methodology (RSM). *Chemical Product and Process Modeling*, 10 (2), 123–133. <https://doi.org/10.1515/cppm-2014-0013>
17. Buasri, A., Chaiyut, N., Loryuenyong, V., Worawanitchaphong, P., Trongyong, S. (2013). Calcium Oxide Derived from Waste Shells of Mussel, Cockle, and Scallop as the Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production. *The Scientific World Journal*, 2013 (1). <https://doi.org/10.1155/2013/460923>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362859

IMPLEMENTATION OF A MULTI-STAGE DOUBLE-SLOPE SOLAR STILL FOR SALT AND DISTILLED WATER PRODUCTION UNDER TROPICAL RAINY CONDITIONS (p. 34–47)

Nova Risdiyanto Ismail

Widya Gama University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6919>

Purbo Suwandono

Widya Gama University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4085-1291>

Dadang Hermawan

Widya Gama University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9053-9090>

Frida Dwi Anggraeni

Widya Gama University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5117-3815>

Dzulfikar Johan Akbar

Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4652-8516>

The object of this study is a multi-stage double-slope solar still used for simultaneous distilled water production and seawater concentration into salt crystals under tropical rainy conditions. The problem solved in this study is the discontinuity of conventional salt production during the rainy season, when open evaporation ponds become less effective because of rainfall, high humidity, and unstable solar radiation. Experiments were conducted in Malang as a laboratory environment and in Lamongan as a coastal salt production area. The results showed that the system could operate continuously during the rainy season and increase seawater salinity from 3.5% to about 29%. The cumulative distilled water production was almost identical in both locations, reaching 36.57–36.58 L/m². However, seawater concentration was faster in Malang, requiring 25 days, compared with 29 days in Lamongan. This difference was explained by the larger temperature gradients between water, fins, glass cover, and ambient air in Malang, which improved evaporation and condensation. Salt from Malang also had higher NaCl content, 92.33%, than salt from Lamongan, 86.95%, supported by lower Mg and S contents. FTIR detected O–H, sulfate, and carbonate groups, while XRD confirmed halite as the dominant crystalline phase. Macro images showed that Malang salt crystals were more uniform and regular. The distinctive feature of the system is the tiered double-slope configuration, which enables gradual brine concentration while still producing distilled water in a closed solar-driven process. These results show that the system can be practically applied in tropical coastal salt-producing areas with high rainfall to support more continuous salt and distilled water production.

Keywords: solar still, multi-stage, double-slope, salt production, distilled water, rainy conditions.

References

1. Ary Giri Dwi Kartika, Makhfud Efendy, Onie Wiwid Jayanthi (2121). Evaporation rate, meteorological and physical condition of salt crystallizer pond in Pamekasan, Indonesia. *Journal Universitas Muhammadiyah Gresik Engineering, Social Science, and Health International Conference (UMGESHIC)*, 1 (1), 116–120.
2. Amin, Abd. A., Yanuar, A. T., Kurniaty, R., Hakim, L., Ardian, G., Amenan, M., Kurniawan, A. (2023). Greenhouse Salt Tunnel as Innovation to Create Salt Production in the South Coast Malang Regency, Indonesia. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 14 (1). <https://doi.org/10.21776/ub.jpj.2023.014.01.03>
3. Setiyono, H., Muslim, M., Arifa, A. N., Rifai, A., Satriadi, A., Ridlo, A., Soenardjo, N. (2025). The Relationship Between Climate Patterns, El Nino And La Nina With People's Salt Production In Jepara Regency, Central Java Province, Indonesia In 2015-2023. *African Journal of Biomedical Research*, 28 (4S), 204–209. Available at: <https://www.africanjournalofbiomedicalresearch.com/index.php/AJBR/article/view/8419>

4. Pambudi, N. A., Yusufiadi, J., Biddinika, M. K., Estriyanto, Y., Sarifudin, A. (2022). An experimental investigation of salt production improvement by spraying and heating. *Case Studies in Thermal Engineering*, 30, 101739. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101739>
5. Ren, J., Gu, T., Ma, S., Li, X., Zhou, Z., Hao, D. et al. (2025). Key factor in continuous salt harvesting via solar interfacial evaporation: Water supply to evaporation ratio. *Desalination*, 607, 118800. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.118800>
6. Khalaf, M. O., Özdemir, M. R., Sultan, H. S. (2025). A Comprehensive Review of Solar Still Technologies and Cost: Innovations in Materials, Design, and Techniques for Enhanced Water Desalination Efficiency. *Water*, 17 (10), 1515. <https://doi.org/10.3390/w17101515>
7. Peng, G., Sharshir, S. W. (2023). Progress and performance of multi-stage solar still – A review. *Desalination*, 565, 116829. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116829>
8. Elsheikh, A., Hammoodi, K. A., Ibrahim, A. M. M., Mourad, A.-H. I., Fujii, M., Abd-Elaziem, W. (2024). Augmentation and evaluation of solar still performance: A comprehensive review. *Desalination*, 574, 117239. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117239>
9. Yeang, J. Y. K., Bahar, R., Koo, C. H., Lee, S. S. (2023). Performance evaluation of a multi-stage solar distiller associated with Fresnel lens in Malaysian weather. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1137941>
10. Tony, M. A., Nabwey, H. A. (2024). Recent advances in solar still technology for solar water desalination. *Applied Water Science*, 14 (7). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02188-1>
11. Gao, J., Zhang, L., You, J., Ye, Z., Zhong, Y., Wang, R. et al. (2023). Extreme salt-resisting multistage solar distillation with thermohaline convection. *Joule*, 7 (10), 2274–2290. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.08.012>
12. Abdelsalam, M. A., Sajjad, M., Raza, A., AlMarzooqi, F., Zhang, T. (2024). Sustainable biomimetic solar distillation with edge crystallization for passive salt collection and zero brine discharge. *Nature Communications*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-45108-2>
13. Bian, Y., Ye, Z., Zhao, G., Tang, K., Teng, Y., Chen, S. et al. (2022). Enhanced Contactless Salt-Collecting Solar Desalination. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14 (29), 34151–34158. <https://doi.org/10.1021/acsmi.2c09063>
14. Mokhtar, O., ElSihiy, E. S., Xu, C., Du, X. (2026). Stable freshwater production of multi-stage solar still unit by latent and sensible heat packed bed thermal energy storage. *Journal of Energy Storage*, 141, 119216. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119216>
15. Davani, E., Jafarpur, K., Estahbanati, M. R. K. (2023). A novel analytical performance investigation of varying water depth in an active multi-stage basin solar still in addition to optimization of water depth in a single stage basin still. *Energy Reports*, 10, 581–590. <https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2023.07.013>
16. Alasadi, M. Q., Smaisim, G. F. (2026). Performance enhancement of a pyramid solar still using an integrated condensing tube and ultrasonic humidifier: an experimental study, energy, exergy, and economic evaluation. *Separation and Purification Technology*, 397, 138035. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.138035>
17. Zeng, P., Sun, X., Farnham, D. J. (2020). Skillful statistical models to predict seasonal wind speed and solar radiation in a Yangtze River estuary case study. *Scientific Reports*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65281-w>
18. Kandasamy, S., Vellingiri, M., Sengottain, S., Balasundaram, J. (2013). Performance correlation for single-basin double-slope solar still. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4 (1), 4. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-4>
19. Issaq, S. Z., Talal, S. K., Azooz, A. A. (2023). Effects of varying weather parameters on solar still performance. *Desalination and Water Treatment*, 298, 12–22. <https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29673>
20. Nomor, E., Islam, R., Alim, M. A., Rahman, A. (2021). Production of Fresh Water by a Solar Still: An Experimental Case Study in Australia. *Water*, 13 (23), 3373. <https://doi.org/10.3390/w13233373>
21. Li, D., Bou-Zeid, E. (2013). Synergistic Interactions between Urban Heat Islands and Heat Waves: The Impact in Cities Is Larger than the Sum of Its Parts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52 (9), 2051–2064. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-13-02.1>
22. Zakaria, M. M., Esmail, M. F. C., Abdel-Fadeel, W. A., Abdel-Ghany, Ahmed, M., Hares, E. (2025). Latest advanced techniques applied to solar still configurations to enhance performance: A review. *Process Safety and Environmental Protection*, 195, 106806. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.106806>
23. Kim, H., Rao, S. R., Kapustin, E. A., Zhao, L., Yang, S., Yaghi, O. M., Wang, E. N. (2018). Adsorption-based atmospheric water harvesting device for arid climates. *Nature Communications*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03162-7>
24. Dhivagar, R., Mohanraj, M., Raj, P., Gopidesi, R. K. (2021). Thermodynamic analysis of single slope solar still using graphite plates and block magnets at seasonal climatic conditions. *Water Science and Technology*, 84 (10-11), 2635–2651. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.156>
25. Tiwari, G. N., Sahota, L. (2017). Review on the energy and economic efficiencies of passive and active solar distillation systems. *Desalination*, 401, 151–179. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.08.023>
26. Saada, Y., Benmenine, D., Settou, B., Korichi, Z. (2025). Experimental investigation of solar desalination in Algeria: Performance, economic feasibility, and climatic variability analysis of geothermal-integrated and glass-cooled solar stills. *Energy*, 333, 136875. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136875>
27. Velmurugan, V., Srithar, K. (2011). Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2), 1294–1304. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.012>
28. Keshtkar, M., Eslami, M., Jafarpur, K. (2020). Effect of design parameters on performance of passive basin solar stills considering instantaneous ambient conditions: A transient CFD modeling. *Solar Energy*, 201, 884–907. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.068>
29. Ghadamgahi, M., Ahmadi-Danesh-Ashtiani, H., Delfani, S. (2020). Experimental investigation of multi-stage solar still using phase-change material. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40 (1). <https://doi.org/10.1002/ep.13477>
30. Baharvand, R., Assari, M. R., Basirat Tabrizi, H., Jafar Gholi Beik, A., Setareh, M. (2025). Enhanced productivity in stepped solar stills: An experimental comparative study of brine flow rates, absorber-glass distances, and cooling mechanisms. *Desalination and Water Treatment*, 323, 101251. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101251>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364664

DETERMINATION OF THE ANODIC DISSOLUTION DEPENDENCIES OF A MULTICOMPONENT ALLOY AS THE PRODUCT OF PRINTED CIRCUIT BOARD PROCESSING IN ELECTROLYTES BASED ON SULPHURIC AND METHANESULFONIC ACID (p. 48–55)

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Vadym Kucher

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5865-7375>

Yuri Sknar

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1188-3684>

Irina Sknar

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8433-1285>

Oksana Demchyshyna

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0828-3311>

Ella Chasova

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-2326>

The object of the study is the process of anodic dissolution of a multicomponent metallic alloy obtained from the recycling of printed circuit boards (PCBs). Such feedstock consists mainly of copper, tin, nickel, lead, and iron, which complicates its subsequent hydrometallurgical processing and requires the selection of an efficient electrolyte for the initial dissolution stage. A key challenge of the first processing stage is converting alloy components into a soluble form, which can be intensified by selecting an appropriate electrolyte composition and current density. To enhance the rate of electrochemical dissolution, a methanesulfonic acid electrolyte was used for this alloy composition. The results were compared with those obtained in a sulfuric acid electrolyte. Electrochemical characteristics were determined using cyclic voltammetry at different potential scan rates. Qualitative and quantitative evaluation of the anodic process was performed by analyzing cyclic voltammograms and the specific charge consumed during dissolution. The surface composition of the alloy before and after dissolution was determined by X-ray fluorescence analysis, while the composition of the electrolyte after electrolysis was used to evaluate the relative amounts of metals transferred into solution.

It was shown that anodic dissolution of the alloy proceeds more intensively in the methanesulfonic acid electrolyte than in the sulfuric acid medium. The specific charge associated with the anodic process was found to be 2–3 times higher in the methanesulfonic acid solution. It was established that during dissolution in a 1 M methanesulfonic acid electrolyte, copper and nickel dissolve mainly, whereas tin and lead accumulate on the surface as low-soluble products. After electrolysis, the alloy surface became enriched in tin and nickel, while the surface deposit contained elevated amounts of tin and lead. These findings indicate the selective nature of the process and the possibility of partial component separation as early as the first stage of electrochemical processing. The results obtained may be applied to the development of recycling technologies for multicomponent alloys, generally consisting of copper, nickel, tin, and lead.

Keywords: anodic dissolution, methanesulfonic acid, sulfuric acid, printed circuit boards.

References

1. Yang, Y. W., Sun, F. W., Tie, Z. X. (2014). The Status Quo of Mechanical Methods Recycling Waste Printed Circuit Boards. *Applied Mechanics and Materials*, 666, 383–387. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.666.383>
2. Huang, T., Zhu, J., Huang, X., Ruan, J., Xu, Z. (2022). Assessment of precious metals positioning in waste printed circuit boards and the economic benefits of recycling. *Waste Management*, 139, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.030>
3. The global E-waste Monitor 2024 – Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling: UN. Available at: <https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/>
4. Oke, E. A., Potgieter, H. (2024). Discarded e-waste/printed circuit boards: a review of their recent methods of disassembly, sorting and environmental implications. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26 (3), 1277–1293. <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01917-7>
5. Wang, X., Huang, W., Yan, B., Zhou, S., Zhu, X., Wang, Z. et al. (2025). E-waste recycling: Integrated life cycle assessment and techno-economic analysis unravels pyrometallurgy's edge and delivers an optimization framework for recovering waste printed circuit boards. *Waste Management*, 207, 115135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115135>
6. Ishchenko, V., Sydoruk, T. (2024). Waste electrical and electronic equipment flows in Ukraine. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 177 (3), 114–121. <https://doi.org/10.1680/jwarm.23.00016>
7. Mvokwe, S. A., Oyediji, O. O., Agoro, M. A., Meyer, E. L., Rono, N. (2025). A Critical Review of the Hydrometallurgy and Pyrometallurgical Recovery Processes of Platinum Group Metals from End-of-Life Fuel Cells. *Membranes*, 15 (1), 13. <https://doi.org/10.3390/membranes15010013>
8. Bizzo, W., Figueiredo, R., De Andrade, V. (2014). Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation. *Materials*, 7 (6), 4555–4566. <https://doi.org/10.3390/ma7064555>
9. Yang, H., Liu, J., Yang, J. (2011). Leaching copper from shredded particles of waste printed circuit boards. *Journal of Hazardous Materials*, 187 (1-3), 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.051>
10. Marković, B., Mihajlović, I., Stevanović, Z., Jegdić, B. (2025). Electrochemical behavior of copper with non-standard impurities content. *ISIRR 2009 – 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM “INTERDISCIPLINARY REGIONAL RESEARCH” – ROMANIA – HUNGARY – SERBIA*. Hunedoara. Available at: http://test.greenmetallurgy.rwth-aachen.de/wp-content/uploads/2025/08/s6_02_id_9157.pdf
11. Bounoughaz, M., Manzini, M., Ghali, E. (1995). Behaviour of Copper Anodes Containing Oxygen, Silver and Selenium Impurities During Electro-Refining. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 34 (1), 21–26. <https://doi.org/10.1179/cm.1995.34.1.21>
12. Ilkhchi, M. O., Yoozbashizadeh, H., Safarzadeh, M. S. (2007). The effect of additives on anode passivation in electrorefining of copper. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46 (8), 757–763. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.10.005>
13. Guan, Y., Han, K. N. (1994). An electrochemical study on the dissolution of gold and copper from gold/copper alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 25 (6), 817–827. <https://doi.org/10.1007/bf02662764>
14. Muthukumar, A., Venkataraman, N., Tamilmani, S., Raghavan, S. (2009). Anodic dissolution of copper in dilute hydroxylamine solutions: application to electrochemical mechanical planarisation of copper. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 44 (2), 101–107. <https://doi.org/10.1179/174327808x315669>
15. Laitinen, T., Salmi, K., Sundholm, G., Viinikka, P., Yli-Pentti, A. (1992). The anodic behaviour of tin in sulphuric acid solutions. *Electrochimica Acta*, 37 (10), 1797–1803. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(92\)85083-w](https://doi.org/10.1016/0013-4686(92)85083-w)

16. Giannetti, B. F., Sumodjo, P. T. A., Rabockai, T., Souza, A. M., Barboza, J. (1992). Electrochemical dissolution and passivation of tin in citric acid solution using electron microscopy techniques. *Electrochimica Acta*, 37 (1), 143–148. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(92\)80023-f](https://doi.org/10.1016/0013-4686(92)80023-f)
17. Wang, D., Fu, M., Wang, T., Miao, W., Xiang, L., Le, T., Zhang, L. (2025). Ultrasonic Enhancement of Tin Dissolution in NaOH/H₂O₂ System: Electrochemical and Passivation Modulation. *Metals*, 15 (9), 1016. <https://doi.org/10.3390/met15091016>
18. Taninouchi, Y.-k., Uda, T. (2021). Rapid Oxidative Dissolution of Metallic Tin in Alkaline Solution Containing Iodate Ions. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 7 (4), 1762–1771. <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00450-3>
19. El-Sherif, R. M., Badawy, W. A. (2011). Mechanism of Corrosion and Corrosion Inhibition of Tin in Aqueous Solutions Containing Tartaric Acid. *International Journal of Electrochemical Science*, 6 (12), 6469–6482. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)19694-5](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)19694-5)
20. Gernon, M. D., Wu, M., Buszta, T., Janney, P. (1999). Environmental benefits of methanesulfonic acid. *Green Chemistry*, 1 (3), 127–140. <https://doi.org/10.1039/a900157c>
21. Binnemans, K., Jones, P. T. (2024). Methanesulfonic acid (MSA) in clean processes and applications: a tutorial review. *Green Chemistry*, 26 (15), 8583–8614. <https://doi.org/10.1039/d4gc02031f>
22. Bengoa, L. N., Pary, P., Conconi, M. S., Egli, W. A. (2017). Electrodeposition of Cu-Sn alloys from a methanesulfonic acid electrolyte containing benzyl alcohol. *Electrochimica Acta*, 256, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.10.027>
23. Tang, C., Deng, X., Chen, Y., Li, Y., Deng, C., Zhu, Q. et al. (2021). Electrochemical dissolution and recovery of tin from printed circuit board in methane-sulfonic acid solution. *Hydrometallurgy*, 205, 105726. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105726>
24. Kotok, V., Sknar, Y., Butyrina, T., Sknar, I., Sukha, I., Demchyshyna, O. (2025). Determination of the efficiency and selectivity of anodic dissolution of a heat-resistant rhenium-containing superalloy in chloride-containing media with sulfuric or methanesulfonic acids. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (137)), 32–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.342421>
25. Kotok, V., Sknar, Y., Butyrina, T., Sknar, I., Demchyshyna, O., Chasova, E. (2025). Determination of the electrochemical dissolution feasibility of a superalloy used in turbine components in alkaline solutions with additives. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (136)), 12–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337836>
26. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Selective anodic treatment of W(WC)-based superalloy scrap. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 53–58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>
27. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Investigation of the anodic behavior of w-based superalloy for electrochemical selective treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (108)), 55–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218355>
28. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). Comparative investigation of different types of nickel foam samples for application in supercapacitors and other electrochemical devices. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (111)), 32–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.234251>
29. Mecucci, A., Scott, K. (2002). Leaching and electrochemical recovery of copper, lead and tin from scrap printed circuit boards. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 77 (4), 449–457. <https://doi.org/10.1002/jctb.575>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.360827

ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК НА ЗМОЧУВАННЯ ТА АДГЕЗІЮ ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ ФАРБ (с. 6–14)

В. Г. Слободяник, І. І. Конюхова

Об'єктом дослідження є процес змочування та адгезійної взаємодії флексографічних фарб із полімерними плівками різної природи та структури поверхні. Проблемою при флексографічному друці на полімерних плівках є недостатня змочуваність поверхні та низька стабільність адгезії фарбового шару, що погіршує якість друку. У роботі досліджено змочування поверхні плівок рідинами різної полярності та УФ-флексографічною фарбою.

Експериментально визначено рівноважні значення косинуса кута змочування для неполярних та полярних рідин. Значення $\cos\theta$ для неполярних рідин становлять 0,90–0,99, тоді як для полярних рідин зменшуються до 0,36–0,92 залежно від типу поверхні плівки. Розраховано термодинамічні характеристики змочування, зокрема роботу адгезії, когезії. Встановлено, що робота адгезії змінюється в межах 45–140 мН/м.

Показано, що змочування визначається співвідношенням дисперсійної та полярної складових поверхневої енергії. Для неполярних рідин домінують дисперсійні взаємодії, тоді як для полярних рідин – полярні. Встановлено вплив структурних характеристик поверхні на змочування. Матова поліпропіленова плівка характеризується гіршою змочуваністю порівняно з глянцевиими зразками.

Визначено складові поверхневої енергії методом Owens-Wendt, що дозволило встановити їх вплив на адгезійну взаємодію. Значення поверхневої енергії полімерних плівок становлять 42–53 мН/м, при цьому частка полярної складової зростає до 0,19 для зразків з кращою змочуваністю. Показано, що адгезійна поведінка УФ-флексографічної фарби є співставною з полярними рідинами.

Отримані результати можуть бути використані для прогнозування змочування полімерних матеріалів та оптимізації процесів флексографічного друку.

Ключові слова: змочування, адгезія, полімерні плівки, поліпропілен, поліетилентерефталат, поверхнева енергія, метод Оуенса-Вендта-Рабеля-Кебле (OWRK).

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.363075

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВЛАСТИВОСТЕЙ С9 ВУГЛЕВОДНЕВИХ СМОЛ ВІД СПОСОБУ РАДИКАЛЬНОЇ ОЛІГОМЕРИЗАЦІЇ (с. 15–22)

Р. О. Субтельний, О. Б. Федотова, В. П. Романів, Є. В. Журавський, Б. О. Дзіняк

Об'єктом дослідження є радикальна олігомеризація фракції С9 рідких побічних продуктів піролізу дизельного палива.

У роботі вирішувалася проблема встановлення закономірностей впливу способу радикальної олігомеризації на властивості С9 вуглеводневих смол.

Досліджено вплив способу радикальної олігомеризації на фізико-хімічні, молекулярно-масові, реологічні та структурні характеристики смол, одержаних високотемпературними (термічним, ініційованим) і низькотемпературним (емульсійним, суспензійним) методами. Встановлено, що високотемпературні методи забезпечують вищі виходи смол (15–32%), нижчу середню молекулярну масу (455–670 г/моль) та ширший молекулярно-масовий розподіл (1,20–1,25). Низькотемпературні дисперсійні процеси характеризуються нижчими виходами (4–29,3%), вищою молекулярною масою (550–750 г/моль) та вузьким розподілом (1,02–1,06). Емульсійний і суспензійний методи забезпечує одержання світліших смол (10–40 мг I₂/100 мл) порівняно з високотемпературними аналогами (40–80 мг I₂/100 мл).

Отримані результати та зафіксовані ІЧ-спектроскопією структурні відмінності пояснюються температурним режимом синтезу. Для високотемпературних смол характерний вищий вміст конденсованих циклічних структур. Це пояснюється інтенсифікацією побічних реакцій передачі ланцюга за високих температур.

Особливості та відмінні риси отриманих результатів полягають у визначенні комплексного зв'язку між способом олігомеризації та характеристиками смол. Це дозволяє цілеспрямовано обирати умови синтезу під конкретні вимоги до продукту.

Сферою практичного використання отриманих результатів є хімічна і лакофарбова промисловість; можливість спрямованого регулювання властивостей смол С9 для їх застосування у клеях, герметиках і плівкоутворювачах.

Ключові слова: вуглеводнева смола, фракція С9, радикальна олігомеризація, стирен, циклопентадієн, полідисперсність, реологія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364663

ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУР ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КАТАЛІЗАТОРІВ SAO-MGO, ОТРИМАНИХ З РАКОВИН МОРСЬКОГО МОЛЮСКА ТА ВАПНЯКУ (с. 23–33)

Abdullah Faizal, Slamet Wahyudi, Winarto, Ishardita Pambudi Tama

Об'єктом цього дослідження є ультразвукова переетерифікація касторової олії (*Ricinus communis*) у біодизель з використанням гетерогенних каталізаторів, отриманих з природних джерел: раковин морського моллюска (*Anadara granosa*) з Пеканбару та вапняку

з Банггалана, Індонезія. Проблема полягає в тому, що безпосередньо прокалений вапняк дає низький вихід біодизеля без складної подальшої обробки, і чи може ультразвукове опромінення компенсувати це, не було перевірено. Три каталізатори (СаО, отриманий з раковин, СаО-MgO, отриманий з вапняку, та їх фізична суміш 1:1) були прокалені при 900°C протягом 5 годин, охарактеризовані за допомогою рентгенівської дифракції, скануючої електронної мікроскопії з енергодисперсійною рентгенівською спектроскопією та інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є, а також випробувані під ультразвуковим опроміненням на частоті 28 кГц з ефективною потужністю 56,0 Вт (калориметричне калібрування, номінальна потужність 100 Вт). Для кожного каталізатора використовувалася центральна композитна конструкція (час реакції, завантаження каталізатора). Середній вихід становив 95,4% (змішаний), 93,2% (вапняк) та 89,2% (раковина). Аналіз поверхні відгуку виявив максимум для вапняку (97,9% за 93,9 хв, 4,24 мас.%), сідлову точку для раковини та інвертовану поверхню для суміші. Ці різні геометрії виникають через фазовий склад та відмінності в активному центрі. На відміну від попередніх робіт, що вимагали кальцинації-гідратації-дегідратації та просочення NiO, вапняковий каталізатор тут досяг виходу 93,2% лише шляхом прямого кальцинування та ультразвукової обробки, що значно перевищує 16,45%, про які повідомлялося без ультразвукової обробки. Ці результати стосуються виробництва біодизелю, де рясніють раковини та вапняк, замінюючи подальшу обробку складного каталізатора прямим кальцинуванням та ультразвуковою обробкою.

Ключові слова: гетерогенний каталіз, ультразвукова обробка, раковина морського молюска, кальцинований вапняк, методологія поверхні відгуку, калориметричне калібрування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.362859

ВПРОВАДЖЕННЯ БАГАТОСТУПЕНЕВОГО СОНЯЧНОГО ДИСТИЛЯТОРА З ПОДВІЙНИМ НАХИЛОМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СОЛІ ТА ДИСТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ В УМОВАХ ТРОПІЧНИХ ДОЩІВ (с. 34–47)

Nova Risdiyanto Ismail, Purbo Suwandono, Dadang Hermawan, Frida Dwi Anggraeni, Dzulfikar Johan Akbar

Об'єктом дослідження є багатоступеневий сонячний дистилятор з подвійним нахилом, який використовується для одночасного отримання дистильованої води та концентрування морської води до утворення кристалів солі в умовах тропічного сезону дощів. Проблема, яку вирішено в цьому дослідженні, полягає у перебоях у традиційному виробництві солі під час сезону дощів, коли відкриті випарні ставки стають менш ефективними через опади, високу вологість та нестабільність сонячної радіації. Експерименти проводилися в Малангу в лабораторних умовах та в Ламонгані – прибережному районі виробництва солі. Результати показали, що система може працювати безперервно під час сезону дощів та збільшувати солоність морської води з 3,5% до приблизно 29%. Сукупний обсяг виробництва дистильованої води був майже однаковим в обох місцях, сягаючи 36,57–36,58 л/м². Однак концентрування морської води відбувалося швидше в Малангу, де на це знадобилося 25 днів, порівняно з 29 днями в Ламонгані. Ця різниця пояснювалася більшими температурними градієнтами між водою, ребрами, скляною кришкою та навколишнім повітрям у Малангу, що покращувало випаровування та конденсацію. Сіль з Малангу також мала вищий вміст NaCl, 92,33%, ніж сіль з Ламонгана, 86,95%, що підтверджувалося нижчим вмістом Mg та S. За допомогою FTIR було виявлено групи O–H, сульфатні та карбонатні групи, а XRD підтвердило, що домінуючою кристалічною фазою є галіт. Макрофотографії показали, що кристали солі Маланг мають більш однорідну та правильну форму. Відмінною рисою системи є багаторівнева конфігурація з подвійним нахилом, яка забезпечує поступову концентрацію розсолу, одночасно виробляючи дистильовану воду в закритому сонячному процесі. Ці результати показують, що система може бути практично застосована в тропічних прибережних районах з високим рівнем опадів для забезпечення більш безперервного виробництва солі та дистильованої води.

Ключові слова: сонячний дистилятор, багатоступеневість, подвійний нахил, виробництво солі, дистильована вода, дощові умови.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.364664

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ АНОДНОГО РОЗЧИНЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО СПЛАВУ ПРОДУКТУ ПЕРЕРОБКИ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ, В ЕЛЕКТРОЛІТАХ НА ОСНОВІ СІРЧАНОЇ ТА МЕТАНСУЛЬФОНОВОЇ КИСЛОТ (с. 48–55)

В. А. Коток, В. М. Кучер, Ю. Є. Скар, І. В. Скар, О. В. Демчишина, Е. В. Часова

Об'єктом дослідження є процес анодного розчинення мультикомпонентного металевого сплаву, отриманого після переробки друкованих електронних плат (ДЕП). Така сировина містить переважно мідь, олово, нікель, свинець та залізо, що ускладнює її подальше гідрометалургійне перероблення. Вузким місцем першого етапу переробки є переведення складових сплаву в розчинну форму, яке можна інтенсифікувати, обравши відповідні умови: електроліт і густину струму. Для інтенсифікації швидкості електрохімічного розчинення було використано метансульфоновий електроліт як експериментальний для цього складу сплаву. Порівняння здійснювалось з даними, отриманими у сірчаноокислому електроліті. Електрохімічні характеристики були визначені за допомогою циклічної вольтамперометрії за різних швидкостей розгортки потенціалу. Якісну та кількісну оцінку анодного процесу було проведено за допомогою аналізу циклічних вольтамперних кривих і питомої кількості електрики, витраченої на розчинення. Склад поверхні сплаву до та після розчинення було визначено методом рентгенофлуоресцентного аналізу, а склад електроліту після електролізу було використано для оцінки співвідношення металів, що перейшли у розчин.

Показано, що у метансульфоновому електроліті анодне розчинення сплаву відбувається інтенсивніше, ніж у сірчаноокислому середовищі. Питомі кількості електрики, витрачені на анодний процес, були у 2–3 рази вищими для розчину метансульфонові кислоти. Встановлено, що під час розчинення у 1 моль/л метансульфонові кислоти мідь та нікель переважно переходять у розчин, тоді як олово і свинець накопичуються на поверхні у вигляді малорозчинних продуктів. Після електролізу поверхня сплаву збагачувалася оловом і нікелем, а осад містив підвищену кількість олова та свинцю. Це свідчить про селективний характер процесу і можливість часткового розділення компонентів уже на першій стадії електрохімічної переробки. Результати дослідження можуть бути використані для впровадження при переробці сплавів, основний склад яких – мідь, нікель, олово та свинець.

Ключові слова: анодне розчинення, метансульфонова кислота, сірчана кислота, друковані електронні плати.