

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317819
IDENTIFYING THE INFLUENCE OF THE
CONCENTRATION OF SURFACTANTS ON THE
TECHNOLOGICAL INDICATORS OF AEROSOL
EMULSION (p. 6–15)

Bogdan Putyatin

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5860-7628>

Olga Bliznjuk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2595-8421>

Natalia Masalitina

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7347-2584>

Valentyna Bezpalko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4448-7001>

Liubov Zhukova

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1549-8019>

Olesia Filenko

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0277-6633>

Viktoriia Horiainova

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4883-0770>

Maryna Ponomarova

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8463-821X>

Anton Ryabev

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2220-3282>

Dmytro Beliuchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7782-2019>

The object of the study is an emulsion system containing emulsifiers (Emulgin B2, Lanett SX), wetting agents (propylene glycol, glyceryl cocoate) and sodium laureth sulfate as a foaming agent. The main problem solved in the study is to ensure rational technological properties of emulsion systems in aerosol form under variable storage and use conditions. The results obtained showed that to ensure maximum emulsion stability during 7 and 30 days of storage, the optimal concentrations of Emulgin B2 are 2.75...3.0 %, and Lanett SX is 2.0...2.5 %. To achieve the desired foaming ability (80...85 %) and foam stability (75...80 %), it is recommended to use sodium laureth sulfate at a concentration of 0.20...0.22 %. It was found that the wet-

ting agents – propylene glycol (7 %) and glyceryl cocoate (1.5 %) – provide optimal system viscosity within 35...40 mPa·s. The stability of the emulsion is ensured by the formation of strong interfacial films using Lanett SX, while Emulgin B2 improves the thermal stability of the system. Foaming properties are provided by the ability of sodium laureth sulfate to reduce interfacial tension, however, too high concentrations can lead to foam oversaturation and deterioration of its stability. The features of the obtained results are that specific concentration limits of the components are justified, at which the necessary stability and functionality of the emulsion system are ensured. This allows solving the problem of achieving optimal characteristics of the emulsion system during storage and use, ensuring comfortable application to the skin and a stable foam structure. The scope of application of the obtained results is the cosmetic industry.

Keywords: emulsion system, Emulgin B2, Lanett SX, sodium laureth sulfate, moisturizing agents, propylene glycol, glyceryl cocoate.

References

- Kovaliova, O., Pivovarov, O., Kalyna, V., Tchoursinov, Y., Kunitzia, E., Chernukha, A. et al. (2020). Implementation of the plasmochemical activation of technological solutions in the process of ecologization of malt production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (107)), 26–35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215160>
- Kovaliova, O., Tchoursinov, Y., Kalyna, V., Koshulko, V., Kunitzia, E., Chernukha, A. et al. (2020). Identification of patterns in the production of a biologically-active component for food products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (11 (104)), 61–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200026>
- Bliznjuk, O., Masalitina, N., Mezentseva, I., Novozhylova, T., Korchak, M., Haliasnyi, I. et al. (2022). Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 13–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>
- Ilyasoglu Buyukkestelli, H., El, S. N. (2019). Development and characterization of double emulsion to encapsulate iron. *Journal of Food Engineering*, 263, 446–453. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.026>
- Varanasi, S., Henzel, L., Mendoza, L., Prathapan, R., Batchelor, W., Tabor, R., Garnier, G. (2018). Pickering Emulsions Electrostatically Stabilized by Cellulose Nanocrystals. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00409>
- Elaine, E., Bhandari, B., Tan, C. P., Nyam, K. L. (2024). Recent Advances in the Formation, Stability, and Emerging Food Application of Water-in-Oil-in-Water Double Emulsion Carriers. *Food and Bioprocess Technology*, 17 (11), 3440–3460. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03350-y>
- Bhattacharjee, A., Chakraborty, A., Mukhopadhyay, G. (2018). Double emulsions - A review with emphasis on updated stability enhancement perspective. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7 (6), 475–493. Available at: https://www.researchgate.net/publication/325568289_DOUBLE_EMULSIONS_-_A_RE

VIEW_WITH_EMPHASIS_ON_UPDATED_STABILITY_ENHANCEMENT_PERSPECTIVE

8. Sayyar, Z., Jafarizadeh-Malmiri, H. (2024). Enhancing the efficacy of nano-curcumin on cancer cells through mixture design optimization of three emulsifiers. *BMC Chemistry*, 18 (1). <https://doi.org/10.1186/s13065-024-01160-z>
9. Zheng, Y., Zi, Y., Shi, C., Gong, H., Zhang, H., Wang, X., Zhong, J. (2023). Tween emulsifiers improved alginate-based dispersions and ionic crosslinked milli-sized capsules. *Npj Science of Food*, 7 (1). <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00208-z>
10. Blankart, M., Oellig, C., Averweg, S., Schwack, W., Hinrichs, J. (2020). Effect of storage at high temperature on chemical (composition) and techno-functional characteristics of E471 food emulsifiers applied to aerosol whipping cream. *Journal of Food Engineering*, 277, 109882. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109882>
11. Schick, D., Link, K., Schwack, W., Granvogl, M., Oellig, C. (2021). Analysis of mono-, di-, triacylglycerols, and fatty acids in food emulsifiers by high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *European Food Research and Technology*, 247 (4), 1023–1034. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03684-3>
12. Franzol, A., Banin, T. M., Brazil, T. R., Rezende, M. C. (2021). Assessment of kinetic stability of cosmetic emulsions formulated with different emulsifiers using rheological and sensory analyses. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 99 (3), 469–481. <https://doi.org/10.1007/s10971-021-05587-x>
13. Blankart, M., Kratzner, C., Link, K., Oellig, C., Schwack, W., Hinrichs, J. (2020). Technical emulsifiers in aerosol whipping cream – Compositional variations in the emulsifier affecting emulsion and foam properties. *International Dairy Journal*, 102, 104578. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104578>
14. Felix-Sagaste, K. G., Garcia-Carrasco, M., Picos-Corrales, L. A., Gonzalez-Ruelas, T., Rodriguez-Mercado, J. A. (2023). Plant-animal extracts and biocompatible polymers forming oil-in-water emulsions: Formulations for food and pharmaceutical industries. *Hybrid Advances*, 3, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100072>
15. Oellig, C., Blankart, M., Hinrichs, J., Schwack, W., Granvogl, M. (2020). Determination of mono- and diacylglycerols from E 471 food emulsifiers in aerosol whipping cream by high-performance thin-layer chromatography–fluorescence detection. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412 (27), 7441–7451. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02876-2>
16. Raisel, L. B., Colet, R., Nascimento, L. H. do, Cardoso, L., Azambuja, L. L., Souza Zanchetta, B. de et al. (2024). Development of an innovative stabilizer-emulsifier mixture to enhance the quality of ice cream on a structured scale. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18 (7), 6250–6263. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02644-1>
17. Petik, I., Belinska, A., Kunitsia, E., Bochkarev, S., Ovsianikova, T., Kalyna, V. et al. (2021). Processing of ethanol-containing waste of oil neutralization in the technology of hand cleaning paste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (109)), 23–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225233>
18. Khosharay, S., Rahmanzadeh, M., ZareNezhad, B. (2020). Surface Behavior of Aqueous Solutions of Sodium Lauryl Ether Sulfate, Additives and Their Mixtures: Experimental and Modeling Study. *International Journal of Thermophysics*, 41 (12). <https://doi.org/10.1007/s10765-020-02738-0>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316523

SYNTHESIS OF POLYETHERSULFONE/TITANIUM DIOXIDE MEMBRANES: ANALYSIS OF MORPHOLOGY, MECHANICAL PROPERTIES, AND WATER FILTRATION PERFORMANCE (p. 16–25)

Agung Mataram

Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6064-9704>

Aneka Firdaus

Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2552-855X>

Muhammad Yanis

Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2245-2185>

Rahma Dani

Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3522-3082>

Subriyer Nasir

Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6444-9101>

Ahmad Fauzi Ismail

Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Johor, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0150-625X>

Mohd Hafiz Dzarfan Othman

Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Johor, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-2447>

The increasing demand for clean water, driven by population growth, urbanization, and industrial activities, has led to significant challenges in public health, the economy, and the environment. Effective water purification technologies are essential to address this issue. This study explores using polyethersulfone (PES) polymer-based membranes reinforced with titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles for antifouling applications. The membranes were fabricated using an electric field treatment method. Scanning Electron Microscopy (SEM) revealed a pore size distribution between 1,170 μm and 7,122 μm, demonstrating that this method can be adjusted to create membranes with specific filtration characteristics. Atomic Force Microscope (AFM) analysis showed surface roughness between 150 and 500 nm, indicating that the membrane's surface morphology can be customized to improve performance. Mechanical testing showed that the tensile strength of the membranes varied with the addition of TiO₂: the pure PES membrane (T10) had a tensile strength of 2.12 MPa, while the T11 membrane (20 % PES, 1 % TiO₂) exhibited a decrease to 1.84 MPa. The T12 membrane (30 % PES, 1 % TiO₂) showed an increase in tensile strength to 3.86 MPa, confirming the reinforcing effect of TiO₂ on the membrane's mechanical properties. Clean Water Permeability (CWP) testing indicated flux values of 2558.9 L/m²·h·bar for T10, 1263.1 L/m²·h·bar for T11, and 2763.9 L/m²·h·bar for T12, highlighting the optimal balance of mechanical strength and permeability in T12. The PES/TiO₂ composite membrane, made using an electric field method, shows promise for water filtration due to its enhanced permeability, providing an efficient solution for water treatment.

Keywords: antifouling, fabrication, filtration, membranes, permeability, polyethersulfone, titanium dioxide.

References

- Progress on drinking water, sanitation and hygiene 2000–2017. Special focus on inequalities (2019). UNICEF. Available at: <https://www.unicef.org/reports/progress-on-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2019>
- Babaei, A. A., Reshadatian, N., Feizi, R. (2024). A state of the art-mini review on the sources, contamination, analysis, and consequences of microplastics in water. *Results in Engineering*, 23, 102827. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102827>
- Kurniawan, T. A., Bandala, E. R., Othman, M. H. D., Goh, H. H., Anouzla, A., Chew, K. W. et al. (2024). Implications of climate change on water quality and sanitation in climate hotspot locations: A case study in Indonesia. *Water Supply*, 24 (2), 517–542. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.008>
- Mousa, H. M., Fahmy, H. S., Ali, G. A. M., Abdelhamid, H. N., At-eia, M. (2022). Membranes for Oil/Water Separation: A Review. *Advanced Materials Interfaces*, 9 (27). <https://doi.org/10.1002/admi.202200557>
- Tomczak, W., Gryta, M. (2023). The Application of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes for Separation of Car Wash Wastewaters: Experiments and Modelling. *Membranes*, 13 (3), 321. <https://doi.org/10.3390/membranes13030321>
- Vafaei, K., Ashtiani, F. Z., Karimi, M., Ghorabi, S. (2023). Engineering hydrophobic surface on polyethersulfone membrane with bio-inspired coating for desalination with direct contact membrane distillation. *Polymers for Advanced Technologies*, 34 (8), 2419–2436. <https://doi.org/10.1002/pat.6061>
- Anucha, C. B., Altin, I., Bacaksiz, E., Stathopoulos, V. N. (2022). Titanium dioxide (TiO₂)-based photocatalyst materials activity enhancement for contaminants of emerging concern (CECs) degradation: In the light of modification strategies. *Chemical Engineering Journal Advances*, 10, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100262>
- Abed, I. A., Waisi, B. I. (2024). Performance Enhancement of Polyethersulfone-Based Ultrafiltration Membrane Decorated by Titanium Dioxide Nanoparticles for Dye Filtration. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25 (5), 265–273. <https://doi.org/10.12912/27197050/186182>
- Ehsani, M., Aroujalian, A. (2019). Fabrication of electrospun polyethersulfone/titanium dioxide (PES/TiO₂) composite nanofibers membrane and its application for photocatalytic degradation of phenol in aqueous solution. *Polymers for Advanced Technologies*, 31 (4), 772–785. <https://doi.org/10.1002/pat.4813>
- Ding, C., Qin, X., Tian, Y., Cheng, B. (2022). PES membrane surface modification via layer-by-layer self-assembly of GO@TiO₂ for improved photocatalytic performance. *Journal of Membrane Science*, 659, 120789. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120789>
- Yao, J., Shen, H., Gong, Y., Cheng, C. (2023). Preparation of a Cation Exchange Membrane by a Sol-Gel Method-Based Polyvinyl Alcohol to Improve Alkali Recovery via Diffusion Dialysis in the Textile Industry. *Separations*, 10 (7), 370. <https://doi.org/10.3390/separations10070370>
- Hu, W., Yang, X., Hou, X., Zhao, Q., Liu, B., Sun, Z. et al. (2020). Novel Nanocomposite PEM Membranes with Continuous Proton Transportation Channel and Reinforcing Network Formed by Electrospinning Solution Casting Method. *Macromolecular Materials and Engineering*, 305 (6). <https://doi.org/10.1002/mame.201900388>
- Saleem, J., Moghal, Z. K. B., Hafeez, A., Sajjad, S., Shoaib, M., Alahmad, J., McKay, G. (2024). Stretch-Induced Spin-Cast Membranes Based on Semi-Crystalline Polymers for Efficient Microfiltration. *Polymers*, 16 (13), 1799. <https://doi.org/10.3390/polym16131799>
- Barambu, N. U., Bilad, M. R., Bustam, M. A., Huda, N., Jaafar, J., Narkkun, T., Faungnawakij, K. (2020). Development of Polysulfone Membrane via Vapor-Induced Phase Separation for Oil/Water Emulsion Filtration. *Polymers*, 12 (11), 2519. <https://doi.org/10.3390/polym12112519>
- Fazal, M. R., Mataram, A. (2023). Polyvinylidene fluoride membranes with tin (IV) dioxide (SnO₂) additives: enhancing water treatment for airport eco green. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 3 (2), 68–74. <https://doi.org/10.52989/jaet.v3i2.100>
- Pogharian, N., Vlahovska, P. M., Olvera de la Cruz, M. (2024). Effects of Normal and Lateral Electric Fields on Membrane Mechanical Properties. *The Journal of Physical Chemistry B*, 128 (38), 9172–9182. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c04255>
- Ahmadi Bonakdar, M., Rodrigue, D. (2024). Electrospinning: Processes, Structures, and Materials. *Macromol*, 4 (1), 58–103. <https://doi.org/10.3390/macromol4010004>
- Du, M., Yang, J., Tao, Y., Xu, B., Gu, C., Zhao, H. et al. (2024). Experimental Study on the Agglomeration Behavior of Elongated Biomass Particles in a Lifting Tube. *ACS Omega*, 9 (4), 4931–4948. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c08719>
- Yap, Y. K., Oh, P. C., Chin, E. Y. J. (2021). Development of α -Fe₂O₃-TiO₂/PPOdm Mixed Matrix Membrane for CO₂/CH₄ Separation. *E3S Web of Conferences*, 287, 02013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128702013>
- Meng, J., Zhong, J., Xiao, H., Ou, J. (2021). Interfacial design of nano-TiO₂ modified fly ash-cement based low carbon composites. *Construction and Building Materials*, 270, 121470. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121470>
- Pradeepa, P., Edwinraj, S., Ramesh Prabhu, M. (2015). Effects of ceramic filler in poly(vinyl chloride)/poly(ethyl methacrylate) based polymer blend electrolytes. *Chinese Chemical Letters*, 26 (9), 1191–1196. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2015.05.007>
- Mataram, A., Anisya, N., Nadiyah, N. A., Afriansyah, A. (2020). Fabrication Membrane of Titanium dioxide (TiO₂) Blended Polyethersulfone (PES) and Polyvinylidene fluoride (PVDF): Characterization, Mechanical Properties and Water Treatment. *Key Engineering Materials*, 867, 159–165. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.867.159>
- Li, C., Guo, X., Wang, X., Fan, S., Zhou, Q., Shao, H. et al. (2018). Membrane fouling mitigation by coupling applied electric field in membrane system: Configuration, mechanism and performance. *Electrochimica Acta*, 287, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.06.150>
- Wang, X., Feng, M., Liu, Y., Deng, H., Lu, J. (2019). Fabrication of graphene oxide blended polyethersulfone membranes via phase inversion assisted by electric field for improved separation and antifouling performance. *Journal of Membrane Science*, 577, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.01.055>
- Seyed Shahabadi, S. M., Rabiee, H., Seyedi, S. M., Mokhtare, A., Brant, J. A. (2017). Superhydrophobic dual layer functionalized titanium dioxide/polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (TiO₂/PH) nanofibrous membrane for high flux membrane distillation. *Journal of Membrane Science*, 537, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.05.039>

26. Zhao, F., Han, X., Shao, Z., Li, Z., Li, Z., Chen, D. (2022). Effects of different pore sizes on membrane fouling and their performance in algae harvesting. *Journal of Membrane Science*, 641, 119916. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119916>
27. García-Ivars, J., Corbatón-Báguena, M.-J., Iborra-Clar, M.-I. (2019). Development of Mixed Matrix Membranes: Incorporation of Metal Nanoparticles in Polymeric Membranes. *Nanoscale Materials in Water Purification*, 153–178. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813926-4.00011-2>
28. Zhang, H., Zuo, M., Zhang, X., Shi, X., Yang, L., Sun, S. et al. (2021). Effect of agglomeration on the selective distribution of nanoparticles in binary polymer blends. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 149, 106590. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2021.106590>
29. Jaiswal, M., Dudhe, R., Sharma, P. K. (2014). Nanoemulsion: an advanced mode of drug delivery system. *3 Biotech*, 5 (2), 123–127. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0214-0>
30. Wasyłeczko, M., Wojciechowski, C., Chwojnowski, A. (2024). Polyethersulfone Polymer for Biomedical Applications and Biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*, 25 (8), 4233. <https://doi.org/10.3390/ijms25084233>
31. Li, Z., Liu, M., Young, R. J. (2024). Dependence of the reinforcement of polymer-based nanocomposites upon the nanofiller geometry. *Nano Materials Science*. <https://doi.org/10.1016/j.nanomaterials.2024.04.014>
32. Ravandi, R., Zeinali Heris, S., Hemmati, S., Aghazadeh, M., Davaran, S., Abdyazdani, N. (2024). Effects of chitosan and TiO₂ nanoparticles on the antibacterial property and ability to self-healing of cracks and retrieve mechanical characteristics of dental composites. *Heliyon*, 10 (6), e27734. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27734>
33. Batool, M., Shafeeq, A., Haider, B., Ahmad, N. M. (2021). TiO₂ Nanoparticle Filler-Based Mixed-Matrix PES/CA Nanofiltration Membranes for Enhanced Desalination. *Membranes*, 11 (6), 433. <https://doi.org/10.3390/membranes11060433>
34. Sunar, T., Parenti, P., Tunçay, T., Özyürek, D., Annoni, M. (2023). The Effects of Nanoparticle Reinforcement on the Micromilling Process of A356/Al₂O₃ Nanocomposites. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 7 (4), 125. <https://doi.org/10.3390/jmmp7040125>
35. Karim, S. S., Farrukh, S., Hussain, A., Younas, M., Noor, T. (2022). The influence of polymer concentration on the morphology and mechanical properties of asymmetric polyvinyl alcohol (PVA) membrane for O₂/N₂ separation. *Polymers and Polymer Composites*, 30. <https://doi.org/10.1177/09673911221090053>
36. Bilal, A., Yasin, M., Akhtar, F., Gilani, M., Almohamadi, H., Younas, M. et al. (2024). Enhancing Water Purification by Integrating Titanium Dioxide Nanotubes into Polyethersulfone Membranes for Improved Hydrophilicity and Anti-Fouling Performance. *Membranes*, 14 (5), 116. <https://doi.org/10.3390/membranes14050116>
37. Yi, P., Jia, H., Yang, X., Fan, Y., Xu, S., Li, J. et al. (2023). Antibiofouling properties of TiO₂ coating with coupled effect of photocatalysis and microstructure. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 656, 130357. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130357>
38. Rudakova, A. V., Emeline, A. V., Romanychev, A. I., Bahne-mann, D. W. (2021). Photoinduced hydrophilic behavior of TiO₂ thin film on Si substrate. *Journal of Alloys and Compounds*, 872, 159746. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159746>
39. Cai, W., Chen, H., Lin, J., Liu, Y., Wu, F., Pu, X. (2023). Inorganic nanoparticles-modified polyvinyl chloride separation membrane and enhanced anti-fouling performance. *Surfaces and Interfaces*, 38, 102885. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.102885>
40. Deng, H., Lei, H., Luo, Y., Huan, C., Li, J., Li, H. et al. (2024). The effects of titanium dioxide nanoparticles on cadmium bioaccumulation in ramie and its application in remediation of cadmium-contaminated soil. *Alexandria Engineering Journal*, 86, 663–668. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.12.019>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314098

IDENTIFYING THE EFFECT OF ADDING CATALYTIC CONVERTER BRIQUETTE MIX VARIATIONS EMPLOYING THE MICROWAVE METHOD WITH SULFURIC ACID ACTIVATION TO REDUCE EMISSIONS IN MOTOR VEHICLES (p. 26–37)

Syamsuri

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7177-5466>

Evi Yuliawati

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4821-3203>

Maritha Nilam Kusuma

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6063-043X>

Mohammad Rizaldhy Triono

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9596-6970>

Farizal Luthfi Alfandi

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5516-8902>

The use of fossil fuels in transportation equipment, especially motorized vehicles, will have an extraordinary effect on air pollution. The percentage of air pollution from transportation sources in Indonesia is 70.5 % CO, 18.34 % HC, 8.89 % NO_x, 0.88 % SO_x, and 1.33 % particulate matter. Given the danger of exhaust emissions, especially carbon monoxide, which can cause death for humans who inhale it, efforts are needed to control air pollution from motorized vehicles. There are several methods that can be applied, one of which is to use adsorbents. Activated carbon can be used as an adsorbent.

In this experimental research, briquettes with a diameter of 20 mm and a length of 30 mm were made. A mixture of coconut shell charcoal briquettes and wood charcoal briquettes 65–25 % (Model 1), 55–35 % (Model 2), and 45–45 % (Model 3) was used. The microwave method and sulfuric acid activation for 1 hour were applied. Testing with the object of the study was performed on a 4-stroke motor vehicle (Honda Supra 125) 2012 with an engine speed of 2,000 rpm. Emission tests were carried out using a gas analyzer. The performance test of a motorbike engine where adsorbents are installed in the exhaust gas was conducted using a dyno test. The results show that this briquette mixture can reduce carbon monoxide (CO) gas emissions by 71.6 % compared to without a catalytic converter. In addition, gas emissions of hydrocarbons (HC) were seen to be reduced by 88.8 % in comparison with an engine without a

catalytic converter. Engine performance tests showed no significant impact on torque and power due to the use of this adsorbent.

In conclusion, a mixture of coconut shell charcoal briquettes and wood charcoal briquettes activated with sulfuric acid, which is used to reduce exhaust gas emissions in motor vehicles can be applied.

Keywords: briquettes, wood charcoal, coconut shells, H₂SO₄ activation, CO, HC.

References

- Fredholm, B. B., Nordén, B. (2010). Fuels for Transportation. *AM-BIO*, 39 (S1), 31–35. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0062-z>
- Kumar, R. (Ed.) (2013). *Fossil Fuels: sources, environmental concerns and waste management practices*. Nova Publishers, 315.
- Asim, M., Usman, M., Abbasi, M. S., Ahmad, S., Mujtaba, M. A., Soudagar, M. E. M., Mohamed, A. (2022). Estimating the Long-Term Effects of National and International Sustainable Transport Policies on Energy Consumption and Emissions of Road Transport Sector of Pakistan. *Sustainability*, 14 (9), 5732. <https://doi.org/10.3390/su14095732>
- Gao, C., Xu, J., Jia, X., Dong, Y., Ru, H. (2020). Influence of Large Vehicles on the Speed of Expressway Traffic Flow. *Advances in Civil Engineering*, 2020 (1). <https://doi.org/10.1155/2020/2454106>
- Ahmad Shuhaili, A. F., Ihsan, S. I., Faris, W. F. (2013). Air Pollution Study of Vehicles Emission In High Volume Traffic: Selangor, Malaysia As A Case Study. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS*, 12 (2), 67–84. Available at: <http://www.wseas.us/journal/pdf/systems/2013/56-304.pdf>
- Cholakov, G. St. (2009). Control of exhaust emissions from internal combustion engine vehicles. Vol. III. Pollution control technologies. Available at: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C09/E4-14-05-01.pdf>
- Yuliusman, Ayu, M. P., Hanafi, A., Nafisah, A. R. (2020). Adsorption of carbon monoxide and hydrocarbon components in motor vehicle exhaust emission using magnesium oxide loaded on durian peel activated carbon. *International Conference on Emerging Applications in Material Science and Technology: ICEAMST 2020*, 2235, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0002351>
- Fajri, D. A., Ghofur, A. (2021). Pengaruh arang kayu ulin sebagai catalytic converter Terhadap emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar pada mesin toyota kijang 5k. *JTAM ROTARY*, 3 (2). https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v3i2.4164
- Tira, H. S. (2019). Pengaruh penggunaan arang aktif kayu keling (*dalbergia latifolia*) sebagai adsorben untuk menurunkan emisi gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar bensin. Universitas Mataram.
- Nurhayati, N., Zikri, Z. (2020). Efektifitas karbon aktif cangkang buah kluwek (*Pangium edule*) dan cangkang biji kopi (*Coffea arabica L*) terhadap daya serap gas co dan partikel pb dari emisi kendaraan bermotor. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 5 (1), 43–49. <https://doi.org/10.25105/pdk.v5i1.6425>
- Soo, X. Y. D., Lee, J. J. C., Wu, W.-Y., Tao, L., Wang, C., Zhu, Q., Bu, J. (2024). Advancements in CO₂ capture by absorption and adsorption: A comprehensive review. *Journal of CO₂ Utilization*, 81, 102727. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102727>
- Karimi, M., Shirzad, M., Silva, J. A. C., Rodrigues, A. E. (2023). Carbon dioxide separation and capture by adsorption: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21 (4), 2041–2084. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01589-z>
- Khair, H., Nur, T. B., Suryati, I., Utami, R., Surya, K. D. (2023). Analyzing the performance of cyclones and scrubbers as air pollution control methods for household solid waste incinerator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1239 (1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1239/1/012014>
- Hao, X., Xiafan, X., Liubiao, C., Jia, G., Junjie, W. (2021). A novel cryogenic condensation system based on heat-driven refrigerator without power input for volatile organic compounds recovery. *Energy Conversion and Management*, 238, 114157. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114157>
- Mikulčić, H., Baleta, J., Wang, X., Wang, J., Qi, F., Wang, F. (2021). Numerical simulation of ammonia/methane/air combustion using reduced chemical kinetics models. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (45), 23548–23563. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.109>
- Sukmana, H., Bellahsen, N., Pantoja, F., Hodur, C. (2021). Adsorption and coagulation in wastewater treatment – Review. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 17 (1), 49–68. <https://doi.org/10.1556/446.2021.00029>
- Jena, S. P., Acharya, S. K., Das, H. C., Patnaik, P. P., Bajpai, S. (2018). Investigation of the effect of FeCl₃ on combustion and emission of diesel engine with thermal barrier coating. *Sustainable Environment Research*, 28 (2), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.10.002>
- Sharma, S. K., Goyal, P., Tyagi, R. K. (2015). Conversion efficiency of catalytic converter. *International Journal of Ambient Energy*, 37 (5), 507–512. <https://doi.org/10.1080/01430750.2015.1020567>
- Nurulita, U., Mifbakhuddin, M. (2016). Adsorption of Carbon Monoxide (CO) in a Room by Coconut Shell and Durian Skin Activated Carbons. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12 (1). <https://doi.org/10.15294/kemas.v12i1.4029>
- Tri BASuki, K. (2007). Penurunan konsentrasi CO dan NO₂ pada emisi gas buang dengan menggunakan media penyisipan TiO₂ lokal pada karbon aktif. *Jurnal Forum Nuklir*, 1 (1), 45. <https://doi.org/10.17146/jfn.2007.1.1.3272>
- Ghofur, A., Soemarno, Hadi, A., Putra, M. D. (2018). Potential fly ash waste as catalytic converter for reduction of HC and CO emissions. *Sustainable Environment Research*, 28 (6), 357–362. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.07.003>
- Ghofur, A., Syamsuri, S., Mursadin, A., Nugroho, A., Legowo, A. C. (2023). Implementation peat soil adsorbent & variation of filter for reduce emission improvement from motor vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (121)), 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273790>
- Laksono, E. D. (2024). Pengaruh penggunaan catalytic converter dengan briket arang kayu yang bervariasi terhadap performa dan emisi gas buang. Surabaya: ITATS.
- Lapisa, R., Halim, A. G., Sugiarto, T., K. A., Martias, M., Maksum, H., Krismadinata, K., Ambiyar, A. (2020). Effect of geometric parameters on the performance of motorcycle catalytic converters. *Journal of Physics: Conference Series*, 1469 (1), 012176. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1469/1/012176>
- Pujiono, F., Mulyati, T. A. (2017). Potensi karbon aktif dari limbah pertanian sebagai material pengolahan air limbah. *Jurnal Wiyata*, 4 (1), 37–45. Available at: <https://ojs.iik.ac.id/index.php/wiyata/article/view/94>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313985
IDENTIFYING THE EFFECT OF CARBONIZATION TEMPERATURE ON THE POROUS STRUCTURE AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF ACTIVATED CARBON DERIVED FROM QUAIL EGGSHELL (p. 38–48)

Wenny Maulina

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1854-7800>

Diah Wahyu Wardani

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7947-4089>

Nutfah Anggiana Putri

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7098-8303>

Arry Yuariatun Nurhayati

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8199-8172>

Artoto Arkundato

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4731-6999>

Ratna Dewi Syarifah

Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9110-2093>

Dhewa Edikresnha

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6203-4343>

The object of this study is to evaluate the potential of quail eggshells as a raw material for producing porous and electrically conductive activated carbon by focusing on the effect of carbonization temperature. The main problem solved is the lack of utilization of quail eggshell waste, despite its unique microporous structure and rich mineral and organic content. This underutilized waste, often discarded, represents an opportunity to align sustainable practices with the development of advanced materials for adsorbent and energy applications.

The results showed that the activated carbon produced at a carbonization temperature of 400 °C had superior properties compared to higher temperatures (500 °C and 600 °C), with the highest surface area and electrical conductivity. FTIR characterization identified important functional groups such as O-H, C=O, C=C, and CaO, which support the formation of the carbon framework and contribute to the stability and functionality of the material. XRD patterns confirmed the hexagonal carbon structure, a desirable feature for maintaining structural integrity in demanding applications. SEM revealed irregular morphologies, while BET analysis showed a combination of micropores and mesopores. Under optimal carbonization conditions, activated carbon produced at 400 °C offers a combination of structural and conductive properties. It achieved a specific surface area of 296.875 m²/g, indicating excellent porosity for adsorption applications. Additionally, the material exhibited an electrical conductivity of 1.62×10⁻² S/cm, which is suitable for energy storage devices such as supercapacitors and batteries. The decrease in these properties at higher carbonization temperatures highlights the importance of optimizing synthesis parameters to achieve desired outcomes.

These structural and conductive properties make the material suitable for advanced applications in environmental remediation,

renewable energy, and waste management. By converting quail eggshells into high-value activated carbon, the study demonstrates a feasible approach to reducing waste while contributing to eco-friendly material development. This study proves that quail eggshells can be effectively utilized, adding value to organic waste while increasing its economic viability.

Keywords: activated carbon, quail eggshells, carbonization temperature, structural and porous characterization, electrically conductive properties.

References

- Priya, D. S., Kennedy, L. J., Anand, G. T. (2023). Effective conversion of waste banana bract into porous carbon electrode for supercapacitor energy storage applications. *Results in Surfaces and Interfaces*, 10, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.rsufi.2023.100096>
- Yerdauletov, M. S., Nazarov, K., Mukhametuly, B., Yeleuov, M. A., Daulbayev, C., Abdulkarimova, R. et al. (2023). Characterization of Activated Carbon from Rice Husk for Enhanced Energy Storage Devices. *Molecules*, 28 (15), 5818. <https://doi.org/10.3390/molecules28155818>
- Babalola, B. M., Wilson, L. D. (2024). Valorization of Eggshell as Renewable Materials for Sustainable Biocomposite Adsorbents – An Overview. *Journal of Composites Science*, 8(10), 414. <https://doi.org/10.3390/jcs8100414>
- Carvalho, J., Araujo, J., Castro, F. (2011). Alternative Low-cost Adsorbent for Water and Wastewater Decontamination Derived from Eggshell Waste: An Overview. *Waste and Biomass Valorization*, 2 (2), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s12649-010-9058-y>
- Badillo-Camacho, J., Orozco-Guareño, E., Carbajal-Arizaga, G. G., Manriquez-Gonzalez, R., Barcelo-Quintal, I. D., Gomez-Salazar, S. (2020). Cr(VI) adsorption from aqueous streams on eggshell membranes of different birds used as biosorbents. *Adsorption Science & Technology*, 38 (9-10), 413–434. <https://doi.org/10.1177/0263617420956893>
- Ntuli, V., Hapazari, I. (2013). Sustainable waste management by production of activated carbon from agroforestry residues. *South African Journal of Science*, 109 (1/2), 6. <https://doi.org/10.1590/sajs.2013/1077>
- Saleem, J., Shahid, U. B., Hijab, M., Mackey, H., McKay, G. (2019). Production and applications of activated carbons as adsorbents from olive stones. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9 (4), 775–802. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00473-7>
- Mrosso, R., Mecha, A. C., Kiplagat, J. (2024). Carbon dioxide removal using a novel adsorbent derived from calcined eggshell waste for biogas upgrading. *South African Journal of Chemical Engineering*, 47, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.11.007>
- Adewale, A. J., Sonibare, J. A., Adeniran, J. A., Fakinle, B. S., Oke, D. O., Lawal, A. R., Akeredolu, F. A. (2024). Removal of carbon monoxide from an ambient environment using chicken eggshell. *Next Materials*, 2, 100100. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2023.100100>
- Shi, Y., Liu, G., Li, M., Wang, L. (2020). Egg shell waste as an activation agent for the manufacture of porous carbon. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28 (3), 896–900. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2019.09.014>
- Aravind, M., Amalanathan, M. (2021). Structural, morphological, and optical properties of country egg shell derived activated carbon for dye removal. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1491–1495. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.311>

12. Tizo, M. S., Blanco, L. A. V., Cagas, A. C. Q., Dela Cruz, B. R. B., Encoy, J. C., Gunting, J. V. et al. (2018). Efficiency of calcium carbonate from eggshells as an adsorbent for cadmium removal in aqueous solution. *Sustainable Environment Research*, 28 (6), 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.09.002>
13. Gabryelczyk, A., Yadav, S., Swiderska-Mocek, A., Altaee, A., Lota, G. (2023). From waste to energy storage: calcinating and carbonizing chicken eggshells into electrode materials for supercapacitors and lithium-ion batteries. *RSC Advances*, 13 (34), 24162–24173. <https://doi.org/10.1039/d3ra03037g>
14. Balasubramanian, V., Daniel, T., Henry, J., Sivakumar, G., Mohanraj, K. (2019). Electrochemical performances of activated carbon prepared using eggshell waste. *SN Applied Sciences*, 2 (1). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1921-2>
15. Kakom, S. M., Abdelmonem, N. M., Ismail, I. M., Refaat, A. A. (2022). Activated Carbon from Sugarcane Bagasse Pyrolysis for Heavy Metals Adsorption. *Sugar Tech*, 25 (3), 619–629. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01214-3>
16. Maulina, W., Kusumaningtyas, R., Rachmawati, Z., Supriyadi, Arkundato, A., Rohman, L., Purwandari, E. (2019). Carbonization Process of Water Hyacinth as an Alternative Renewable Energy Material for Biomass Cook Stoves Applications. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 239, 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/239/1/012035>
17. Koli, A., Pattanshetti, A., Mane-Gavade, S., Dhabbe, R., Kamble, R., Garadkar, K., Sabale, S. (2024). Agro-waste management through sustainable production of activated carbon for CO₂ capture, dye and heavy metal ion remediation. *Waste Management Bulletin*, 2 (1), 97–121. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.12.010>
18. Sylla, N. F., Ndiaye, N. M., Ngom, B. D., Momodu, D., Madito, M. J., Mutuma, B. K., Manyala, N. (2019). Effect of porosity enhancing agents on the electrochemical performance of high-energy ultracapacitor electrodes derived from peanut shell waste. *Scientific Reports*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50189-x>
19. Disha, S. A., Sahadat Hossain, Md., Habib, Md. L., Ahmed, S. (2024). Calculation of crystallite sizes of pure and metals doped hydroxyapatite engaging Scherrer method, Halder-Wagner method, Williamson-Hall model, and size-strain plot. *Results in Materials*, 21, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100496>
20. Barra, A., Ferreira, N. M., Poças, F., Ruiz-Hitzky, E., Nunes, C., Ferreira, P. (2025). Boosting through-plane electrical conductivity: chitosan composite films with carbon-sepiolite and multiwalled carbon nanotubes. *Carbon*, 231, 119691. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2024.119691>
21. Pant, B., Park, M., Kim, H.-Y., Park, S.-J. (2017). CdS-TiO₂ NPs decorated carbonized eggshell membrane for effective removal of organic pollutants: A novel strategy to use a waste material for environmental remediation. *Journal of Alloys and Compounds*, 699, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.360>
22. Adinaveen, T., Vijaya, J. J., Kennedy, L. J. (2014). Comparative Study of Electrical Conductivity on Activated Carbons Prepared from Various Cellulose Materials. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41 (1), 55–65. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1516-6>
23. Katesa, J., Junpiromand, S., Tangsatitkulchai, C. (2013). Effect of Carbonization Temperature On Properties of Char And Activated Carbon From Coconut Shell. *Suranaree J. Sci. Technol.*, 20 (4), 269–278. Available at: <https://www.thaiscience.info/journals/Article/SJST/10966578.pdf>
24. Adinaveen, T., Kennedy, L. J., Vijaya, J. J., Sekaran, G. (2013). Studies on structural, morphological, electrical and electrochemical properties of activated carbon prepared from sugarcane bagasse. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19 (5), 1470–1476. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.01.010>
25. Ramos, M. E., Bonelli, P. R., Cukierman, A. L. (2008). Physico-chemical and electrical properties of activated carbon cloths. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 324 (1-3), 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.03.034>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318930

DETERMINING THE PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERE OF FUEL MIXTURES OF NATURAL GAS WITH HYDROGEN IN GAS NETWORKS (p. 49–58)

Yurii Franchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7910-8705>

Volodymyr Kosilov

JSC «Kyivgas», Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4949-4893>

Yuliia Kovalchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2627-4459>

The object of this study is a gas mixture of natural gas and hydrogen.

The physical and chemical parameters of fuel mixtures of natural gas with hydrogen have been investigated with the aim of further regulating the hydrogen content in the gas transmission system in accordance with the state standards of Ukraine and the European Union. The task addressed was the safe use of green hydrogen in a mixture with natural gas.

The permissible hydrogen content in municipal network gas was established at 7 mol %, which would allow efficient and safe use of existing gas transmission systems. Currently, a 4 % increase in pressure is recommended for low-pressure networks. This is because the calorific value of natural gas is regulated by the Code of Gas Transmission and Distribution Systems and must be within certain limits, and compliance with this particular hydrogen content in natural gas allows this indicator to be kept within the normal range. The 4 % increase in pressure is due to the preservation of the thermal power of gas burners when one gaseous fuel is replaced by another.

The content of the mixture of combustible gases at the lower and upper flash points was analyzed. It was found that at 7 % hydrogen content, the flash point range is 5.07–16.75 vol %, which is within the permissible range of 5–15 vol %. With an increase in the hydrogen content of the gas, an explosion may occur in a wider range of concentrations and require additional safety measures.

The defined hydrogen limit does not affect the explosiveness of network gas and ensures the safety of its use since the lower concentration limit of flammability (in terms of methane) in a mixture with air in volume percentage is 4.4, and the upper limit is 17.0 vol % according to Annex 2 of the technical regulations.

Keywords: “green” hydrogen, network gas, calorific value, Wobbe number, flash point.

References

- Zhan, X., Chen, Z., Qin, C. (2022). Effect of hydrogen-blended natural gas on combustion stability and emission of water heater burner. *Case Studies in Thermal Engineering*, 37, 102246. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102246>
- Zhou, D., Yan, S., Huang, D., Shao, T., Xiao, W., Hao, J. et al. (2022). Modeling and simulation of the hydrogen blended gas-electricity integrated energy system and influence analysis of hydrogen blending modes. *Energy*, 239, 121629. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121629>
- Pylypenko, R. A., Smiyan, B. S., Tsvetkov, S. V., Pikashov, V. S., Melnikov, R. V., Logvinenko, D. M. (2022). Substitution of natural gas and mixtures of process gases. *Energy Technologies & Resource Saving*, 1, 24–32. <https://doi.org/10.33070/etars.1.2022.03>
- Volchyn, I. A., Yasynetskyi, A. O., Przybylski, W. (2022). Environmental aspects of green ammonia role in Ukrainian energy sector. *Energy Technologies & Resource Saving*, 2, 76–83. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2022.07>
- Li, J., Lai, S., Chen, D., Wu, R., Kobayashi, N., Deng, L., Huang, H. (2021). A Review on Combustion Characteristics of Ammonia as a Carbon-Free Fuel. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.760356>
- Kyrychenko, V. I., Kyrychenko, V. V., Nezdorovin, V. P. (2022). The problem of hydrogen, hydrogen and atomic-hydrogen energy: physical, chemical and technological aspects, technical and economic analysis (review). *Energy Technologies & Resource Saving*, 3, 20–40. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2022.02>
- Dolci, F., Thomas, D., Hilliard, S., Guerra, C. F., Hancke, R., Ito, H. et al. (2019). Incentives and legal barriers for power-to-hydrogen pathways: An international snapshot. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (23), 11394–11401. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.045>
- Kovač, A., Paranos, M., Marciuš, D. (2021). Hydrogen in energy transition: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (16), 10016–10035. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.256>
- Melaina, M. W., Antonia, O., Penev, M. (2013). Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/1068610>
- Samanta, S., Roy, D., Roy, S., Smallbone, A., Paul Roskilly, A. (2024). Modelling of hydrogen blending into the UK natural gas network driven by a solid oxide fuel cell for electricity and district heating system. *Fuel*, 355, 129411. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129411>
- Guandalini, G., Colbertaino, P., Campanari, S. (2017). Dynamic modeling of natural gas quality within transport pipelines in presence of hydrogen injections. *Applied Energy*, 185, 1712–1723. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.006>
- Mayrhofer, M., Koller, M., Seemann, P., Prieler, R., Hochenauer, C. (2021). Assessment of natural gas/hydrogen blends as an alternative fuel for industrial heat treatment furnaces. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (41), 21672–21686. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.228>
- Nguyen, T. T., Park, J., Kim, W. S., Nahm, S. H., Beak, U. B. (2020). Effect of low partial hydrogen in a mixture with methane on the mechanical properties of X70 pipeline steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (3), 2368–2381. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.013>
- Patel, M., Roy, S., Roskilly, A. P., Smallbone, A. (2022). The techno-economics potential of hydrogen interconnectors for electrical energy transmission and storage. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130045. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130045>
- Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., Jäger-Waldau, A. (2021). Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 228, 113649. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113649>
- Nykonorov, O. (2020). Rol hazotransportnoi infrastruktury Ukrainy v rozvytku vodnevoi enerhetyky. *Netradytsiyni tekhnolohiyi ta enerhoefektyvnist*, 5, 3–8.
- Soroka, B. S., Pianykh, K. Ye., Zghurskyi, V. O., Horupa, V. V., Kudriavtsev, V. S. (2020). Enerhetychni ta ekolohichni kharakterystyky pobutovykh hazovykh pryladiv pry vykorystanni metano-vodnevoi sumishi palyvnoho hazu. *Netradytsiyni tekhnolohiyi ta enerhoefektyvnist*, 6, 3–13.
- Iurzhenko, M. V., Kovalchuk, M. O., Kondratenko, V. Yu., Demchenko, V. L., Gusakova, K. G., Verbovskyi, V. S. et al. (2023). Influence of hydrogen-methane gas mixtures on the physical and chemical structure of polyethylene pipes of the operating gasdistribution networks of Ukraine. *Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing*, 2, 41–46. <https://doi.org/10.37434/tdnk2023.02.06>
- Gondal, I. A. (2019). Hydrogen integration in power-to-gas networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (3), 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.164>
- Wahl, J., Kallo, J. (2020). Quantitative valuation of hydrogen blending in European gas grids and its impact on the combustion process of large-bore gas engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (56), 32534–32546. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.184>
- Kolienko, A. H. (2021). Vykorystannia sumishi pryrodnoho hazu i vodniu yak palyva v komunalno-pobutovykh promyslovykh palyvospaliuvadnykh teploenergiichykh ustanovkakh. *Naftova haluz Ukrainy. Netradytsiyni tekhnolohiyi*, 4 (52), 25–30. Available at: <https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/10188/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%94%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf>
- Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo zaprovadzhennia na rynku pryrodnoho hazu obliku ta rozrakhunkiv za obsiahom hazu v odynitsiakh enerhiyi. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1850-20#Text>
- DBN V.2.5-20:2018. Gas Supply (2019). Kyiv. Available at: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/04/DBN-V2520-18_Gas.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318568

DEVELOPMENT OF A NEW METHOD FOR STONE COAL CONVERTING INTO A LIQUID HIGH-TEMPERATURE HEAT CARRIER BASED ON ENERGY FACTORS (p. 59–69)

Iryna Glikina

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2307-1245>

Yevhen Zubtsov

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4697-1975>

The object of this study is coal processing with synthesis gas as the target product. The experimental technology employs a reactor with a liquid high-temperature heat carrier. The technological advancement allows ecological and safe transformation of hard raw material – hard coal.

Hard, brown, and salty coal contains quite a lot of mineral impurities. Thermodynamic analysis of chemical transformations of coal according to its content has been carried out. The analysis was performed under the conditions of the new technology. The technology makes it possible to work simultaneously with solid, liquid, and gas structures. The main technological parameters are considered to be atmospheric pressure, temperature from 1073 to 1373 K, composition and height of the heat carrier in the reactor. The optimal temperature conditions for the process in the melt were revealed. The research was related to the characteristics and properties of liquid high-temperature heat carrier. Two types of laboratory reactors were studied. The composition and volume of the liquid heat carrier contributes to a stable and balanced progress of the target process. The proposed scheme of a reactor with a liquid high-temperature heat carrier for the coal gasification process allows for an environmentally friendly process. The designed scheme contains three zones of the process: conversion, oxidation, and post-oxidation. The reactor scheme is quite simple in structure. The technology in liquid high-temperature heat carrier involves one heat carrier for three reactor zones. The target product of processing is synthesis gas. Synthesis gas can be used directly as a target product with hydrogen being an alternative energy source. Synthesis gas as a raw material can be used to obtain hydrocarbons, separate use of substances for various industries and transformation into various compounds of organic and inorganic synthesis.

Keywords: synthesis gas, liquid high-temperature heat carrier, hard coal, three-zone reactor, mineral component.

References

1. Book: Essentials of Environmental Science (CK-12) (2024). Available at: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Environmental_Engineering_\(Sustainability_and_Conservation\)/Book%3A_Essentials_of_Environmental_Science_\(CK-12\)/14%3A_Untitled_Chapter_14/14.02%3A_New_Page](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Environmental_Engineering_(Sustainability_and_Conservation)/Book%3A_Essentials_of_Environmental_Science_(CK-12)/14%3A_Untitled_Chapter_14/14.02%3A_New_Page)
2. Tashcheev, Iu. V. (2015). Energy efficiency: renewable and non-renewable energy. *Vestnik sotcialno-ekonomicheskikh issledovaniï*, 2 (57), 169–177. Available at: https://www.researchgate.net/publication/348778074_ENERGOEFEKTIVNIST_VIDNOVLUVANI_TA_NEVIDNOVLUVANI_DZERELA_ENERGII
3. Zubtsov, E. Y., Hlykyn, M. A., Hlykyna, Y. M. (2006). Hazyfykatsyia uhlei v zhydkom visokotemperaturnom teplonosytele s poluchenym syntez-haza. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KHPi»*, 11, 67–74.
4. Falshtynskyi, V., Saik, P., Lozynskyi, V., Dychkovskyi, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (2), 68–75. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.068>
5. Rosen, M., Scott, D. (1987). An energy-exergy analysis of the Koppers-Totzek process for producing hydrogen from coal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 12 (12), 837–845. [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(87\)90105-4](https://doi.org/10.1016/0360-3199(87)90105-4)
6. Svitlyi, Yu. H., Krut, O. A., Biletskyi, V. S. (2013). Ukrainian Experience of Brown Coal Treatment to Coal Water Slurry. *Energotekhnologii i resursoberezhennïe*, 2, 5–10. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2013_2_3
7. Korchevoy, Yu., Pivnyak, G. (2006). Advanced coal technology for energy branch. Available at: https://scinn.org.ua/sites/default/files/pdf/2006/N2/2_06_53.pdf
8. Gupta, S., De, S. (2021). Investigation of cold flow hydrodynamics in a dual fluidized bed for gasification of high-ash coal. *Powder Technology*, 384, 564–574. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.030>
9. Haponych, L. S., Melnyk, Z. P., Ivashchenko, N. V., Cherniavskyi, M. V. (2008). Tekhnolohii pererobky nyzkoiakisnoho vuhillia dlia enerhoustonovok maloi ta serednoi potuzhnosti. *Kharchova promyslovist*, 7, 102–105.
10. Abaimov, N., Ryzhkov, A., Tuponogov, V., Simbiriatin, L., Dubinin, A., Ding, L., Alekseenko, S. (2023). Steam Gasification in a Fluidized Bed with Various Methods of In-Core Coal Treatment. *Axioms*, 12 (6), 587. <https://doi.org/10.3390/axioms12060587>
11. Tontu, M. (2020). An investigation of performance characteristics and energetic efficiency of vertical roller coal mill. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 41 (4), 248–262. <https://doi.org/10.1080/19392699.2020.1799200>
12. Reddy, P. J. (2013). Coal treatment and emissions control technologies. *Clean Coal Technologies for Power Generation*. CRC Press, 91–116. <https://doi.org/10.1201/b15512-11>
13. Kim, T., Park, S. D., Lee, U. D., Park, B. C., Park, K. I., Hong, J. (2021). Thermodynamic analysis of the 2nd generation pressurized fluidized-bed combustion cycle utilizing an oxy-coal boiler and a gasifier. *Energy*, 236, 121471. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121471>
14. Ma, S., Liu, C., Sun, Y., Gong, C., Qu, B., Ma, L., Tang, R. (2019). Advanced treatment technology for FGD wastewater in coal-fired power plants: current situation and future prospects. *Desalination and Water Treatment*, 167, 122–132. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24630>
15. Wu, X., Yu, H., Wu, P., Wang, C., Chen, H., Sun, Y., Zheng, H. (2024). A Gasification Technology to Combine Oil Sludge with Coal-Water Slurry: CFD Analysis and Performance Determination. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 20 (7), 1481–1498. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2024.047092>
16. Saranchuk, V. I., Iliashov, M. O., Oshovskiy, V. V., Biletskyi, V. S. (2008). *Osnovy khimii i fizyky horiuchykh kopalyn*. Donetsk: Skhidnyi vydavnychiy dim, 640. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/3a9a7bd0-32c9-430e-954b-6bea78416749>
17. Zubtsov, E. Y., Hlykyn, M. A., Hlykyna, Y. M., Tarasov, V. Yu. (2007). Hazyfykatsyia uhlia razlychnoho fraktsyonnoho sostava v zhydkom visokotemperaturnom teplonosytele. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*, 11 (2), 52–55.
18. Radovenchik, V. M., Ivanenko, O. I., Radovenchik, Ya. V., Krysenko, T. V. (2020). Zastosuvannia ferytnykh materialiv v protsesakh ochyshchennia vody. Kyiv: Kondor-Vydavnytstvo, 215. Available at: https://eco-paper.kpi.ua/CONTENT/literatyra/feryty_mono.pdf
19. Natriiu khlorid. *Farmatsevychna entsyklopediia*. Available at: <https://www.pharmacypedia.com.ua/article/1207/natriyu-klorid>
20. Zubtsov, E. Y., Tarasov, V. Yu., Brodskyi, O. L., Kravchenko, I. V. (2017). Parova konversii hazovoho vuhillia v rozplavi v statsionarnomu ta protochnomu rezhymi. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*, 5 (235), 50–55.
21. Glikina, I., Kudryavtsev, S., Zubcov, I. E., Luhovskoi, I. A. (2018). The perspective technologies for the processing of fossil fuels.

Resources and resourcesaving technologies in mineral mining and processing. Petroșani: Universitas Publishing, 78–127.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319045

IDENTIFYING THE EFFECT OF VARYING ACID CONCENTRATION AND SOLID/LIQUID RATIO IN THE LEACHING EXTRACTION OF MAGNESIUM FROM FERRONICKEL SLAG (p. 70–78)

Eni Febriana

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
Indonesia Institute of Sciences, Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1816-9598>

Aldo Yansen Tambor Napitupulu

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8116-8322>

Johny Wahyuadi Soedarsono

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

Badrul Munir

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-6499>

Eddy Sumarno Siradj

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5928-9625>

Agus Paul Setiawan Kaban

Universitas Indonesia, Kota Depok, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9706-0506>

Martina Yttria Mertoprawiro

JOB Pertamina-Medco E&P Simenggaris, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4222-9740>

Kadek Ambara Jaya

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9193-8347>

Indonesia is the country with the largest nickel reserves and production levels in the world. Each ton of nickel production can produce eight tons of by-products in the form of ferronickel slag, which continues to increase due to the minimal recycling process of these by-products. This study aimed to determine the impact of changes in acid concentration and solid/liquid ratio on the leaching extraction of magnesium from ferronickel slag and characterize the transformation of ferronickel slag at each stage of the process. The research was conducted using the alkali fusion method and continued with water leaching and acid leaching using Hydrochloric Acid (HCl) as the solvent. The first step in the investigation was milling to get a powder with the particle size $\leq 127 \mu\text{m}$. The sample powder was subsequently mixed with the Na_2CO_3 additive in a 50:50 (w/w) ratio and roasted for 60 minutes at 1000°C . The water leaching procedure was then conducted for 60 minutes at 100°C , a 1:10 (w/v) ratio, and a stirring speed of 400 rpm. The filtrate and residue were then separated using a filtration process. An acid leaching utilizing HCl with concentration variations of 0.5, 1, and 1.5 M, and solid/liquid ratio (s/l) variations of 1:20, 1:30, and 1:40 (w/v) was performed on the residue. The results of acid leaching were then filtrated again. The filtrate was then characterized by ICP-OES testing. Based on the analysis results, it can be stated that the percentage

of magnesium extraction increases as the solid/liquid ratio (s/l) increases but decreases with the increase in HCl concentration. The optimum percentage of magnesium extraction is 64.12 %, which was achieved with the leaching conditions of a solid/liquid ratio (s/l) of 1:40 (w/v) and a HCl concentration of 0.5 M.

Keywords: ferronickel slag, recycling, alkali fusion, roasting, water leaching, acid leaching, extraction, magnesium, acid concentration, solid/liquid ratio.

References

1. Nickel Statistics and Information. USGS. Available at: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/nickel-statistics-and-information>
2. Nurjaman, F., Astuti, W., Bahfie, E., Suharno, B. (2021). Study of selective reduction in lateritic nickel ore: Saprolite versus limonite. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1488–1494. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.687>
3. Sun, W., Li, X., Liu, R., Zhai, Q., Li, J. (2021). Recovery of Valuable Metals from Nickel Smelting Slag Based on Reduction and Sulfurization Modification. *Minerals*, 11 (9), 1022. <https://doi.org/10.3390/min11091022>
4. Ulum, R. M., Natalin, Riastuti, R., Mayangsari, W., Prasetyo, A. B., Soedarsono, J. W., Maksun, A. (2023). Pyro-Hydrometallurgy Routes to Recover Silica from Indonesian Ferronickel Slag. *Recycling*, 8 (1), 13. <https://doi.org/10.3390/recycling8010013>
5. Zulhan, Z., Agustina, N. (2021). A novel utilization of ferronickel slag as a source of magnesium metal and ferroalloy production. *Journal of Cleaner Production*, 292, 125307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125307>
6. Prasetyo, A. B., Khaerul, A., Mayangsari, W., Febriana, E., Maksun, A., Andinie, J. et al. (2021). Magnesium extraction of ferronickel slag processed by alkali fusion and hydrochloric acid leaching. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 57 (2), 225–233. <https://doi.org/10.2298/jmmb200224018p>
7. Yan, P., Shen, Y., Du, X., Chong, J. (2020). Microwave Absorption Properties of Magnetite Particles Extracted from Nickel Slag. *Materials*, 13 (9), 2162. <https://doi.org/10.3390/ma13092162>
8. Li, B., Rong, T., Du, X., Shen, Y., Shen, Y. (2021). Preparation of Fe_3O_4 particles with unique structures from nickel slag for enhancing microwave absorption properties. *Ceramics International*, 47 (13), 18848–18857. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.03.224>
9. Gao, F., Huang, Z., Li, H., Li, X., Wang, K., Hamza, M. F. et al. (2021). Recovery of magnesium from ferronickel slag to prepare hydrated magnesium sulfate by hydrometallurgy method. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127049. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127049>
10. Gu, F., Peng, Z., Tang, H., Ye, L., Tian, W., Liang, G. et al. (2018). Preparation of Refractory Materials from Ferronickel Slag. *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2018*, 633–642. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72484-3_67
11. Abdul, F., Adachi, K., Ho, H.-J., Iizuka, A., Shibata, E. (2024). Magnesium recovery from ferronickel slag by reaction with sodium hydroxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12 (3), 112516. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112516>
12. Song, H.-Y., Seo, J.-B., Kang, S.-K., Kim, I.-D., Choi, B.-W., Oh, K.-J. (2014). CO_2 Fixation by Magnesium Hydroxide from Ferro-Nickel Slag. *Clean Technology*, 20 (1), 42–50. <https://doi.org/10.7464/ksct.2014.20.1.042>

13. Mubarok, M. Z., Yudiarto, A. (2017). Synthesis of Magnesium Oxide from Ferronickel Smelting Slag Through Hydrochloric Acid Leaching-Precipitation and Calcination. *Energy Technology* 2017, 247–258. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52192-3_24
14. Yang, J., Duan, X., Liu, L., Yang, H., Jiang, X. (2021). Recovery of Magnesium from Ferronickel Slag to Prepare Magnesium Oxide by Sulfuric Acid Leaching. *Minerals*, 11 (12), 1375. <https://doi.org/10.3390/min11121375>
15. Pangaribuan, R. H., Patrick, J., Prasetyo, A. B., Maksum, A., Munir, B., Soedarsono, J. W. (2018). The effect of NaOH (natrium hydroxide) to slag nickel pyrometallurgy in different temperature and additive ratio. *E3S Web of Conferences*, 67, 03052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703052>
16. Patrick, J., Prasetyo, A. B., Munir, B., Maksum, A., Soedarsono, J. W. (2018). The effect of addition of sodium sulphate (Na₂SO₄) to nickel slag pyrometallurgical process with temperature and additives ratio as variables. *E3S Web of Conferences*, 67, 03053. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186703053>
17. Mufakhir, F. R., Mubarok, M. Z., Ichlas, Z. T. (2018). Leaching of silicon from ferronickel (FeNi) smelting slag with sodium hydroxide solution at atmospheric pressure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 285, 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/285/1/012003>
18. Prasetyo, A. B., Darmawansyah, R., Mayangsari, W., Febriana, E., Permana, S., Maksum, A. et al. (2020). Reverse leaching of magnesium from ferronickel slag using alkali solvent NaOH. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (103)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193885>
19. Xiao, Q., Chen, Y., Gao, Y., Xu, H., Zhang, Y. (2010). Leaching of silica from vanadium-bearing steel slag in sodium hydroxide solution. *Hydrometallurgy*, 104 (2), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.06.007>
20. Qian, B., Liu, H., Ma, B., Wang, Q., Lu, J., Hu, Y. et al. (2022). Bulk trash to nano treasure: Synthesis of two-dimensional brucite nanosheet from high-magnesium nickel slag. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130196. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130196>
21. Mayangsari, W., Avifah, I.N., Prasetyo, A. B., Febriana, E., Maksum, A., Ulum, R. M. et al. (2021). Decomposition of ferronickel slag through alkali fusion in the roasting process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (110)), 44–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.217579>
22. Prasetyo, A. B., Maksum, A., Soedarsono, J. W., Firdiyono, F. (2019). Thermal characteristics of ferronickel slag on roasting process with addition of sodium carbonate (Na₂CO₃). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541 (1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/541/1/012037>
23. Raschman, P., Špáková, M., Fedoročková, A. (2010). Effect of hydrochloric acid concentration on the selectivity of leaching of high-calcium dead-burned magnesite. *Acta Montanistica Slovaca*, 15 (3), 232–237. Available at: https://actamont.tuke.sk/pdf/2010/n3/09_Raschman.pdf

АНОТАЦІЇ
TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317819

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АЕРОЗОЛЬНОЇ ЕМУЛЬСІЇ (с. 6–15)**Б. В. Путятін, О. М. Близнюк, Н. Ю. Масалігіна, В. В. Безпалько, Л. В. Жукова, О. М. Філенко, В. В. Горяїнова, М. С. Пономарьова, А. А. Рябев, Д. Ю. Белоченко**

Об'єктом дослідження є емульсійна система, яка містить емульгатори (Emulgin B2, Lanett SX), зволожуючі агенти (пропіленгліколь, гліцерилкокоат) та лауретсульфат натрію як піноутворювач. Основною проблемою, яка вирішувалась в дослідженні, є забезпечення раціональних технологічних властивостей емульсійних систем в аерозольній формі при змінних умовах зберігання і використання. Отримані результати показали, що для забезпечення максимальної стабільності емульсії протягом 7 та 30 днів зберігання оптимальними є концентрації Emulgin B2 на рівні 2,75...3,0 %, а Lanett SX – 2,0...2,5 %. Для досягнення бажаної піноутворювальної здатності (80...85 %) і стабільності піни (75...80 %) рекомендовано використовувати лауретсульфат натрію в концентрації 0,20...0,22 %. Встановлено, що зволожуючі агенти – пропіленгліколь (7 %) та гліцерилкокоат (1,5 %) – забезпечують оптимальну в'язкість системи в межах 35...40 мПа·с. Стабільність емульсії забезпечується завдяки утворенню міцних міжфазних плівок за допомогою Lanett SX, тоді як Emulgin B2 покращує термостабільність системи. Піноутворювальні властивості забезпечуються за рахунок здатності лауретсульфату натрію знижувати міжфазний натяг, однак занадто високі концентрації можуть призводити до перенасичення піною і погіршення її стабільності. Особливості отриманих результатів полягають у тому, що обґрунтовано конкретні концентраційні межі компонентів, за яких забезпечується необхідна стабільність та функціональність емульсійної системи. Це дозволяє вирішити проблему досягнення оптимальних характеристик емульсійної системи при зберіганні та використанні, забезпечуючи комфортне нанесення на шкіру і стабільну структуру піни. Сферою застосування отриманих результатів є косметична промисловість.

Ключові слова: емульсійна система, Emulgin B2, Lanett SX, лауретсульфат натрію, зволожуючі агенти, пропіленгліколь, гліцерилкокоат.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316523

СИНТЕЗ МЕМБРАН ПОЛІЕФІРСУЛЬФОН/ДІОКСИД ТИТАНУ: АНАЛІЗ МОРФОЛОГІЇ, МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ ВОДИ (с. 16–25)**Agung Mataram, Aneka Firdaus, Muhammad Yanis, Rahma Dani, Subriyer Nasir, Ahmad Fauzi Ismail, Mohd Hafiz Dzarfan Othman**

Зростаючий попит на чисту воду, зумовлений зростанням населення, урбанізацією та промисловою діяльністю, призвів до значних проблем у сфері охорони здоров'я, економіки та довкілля. Ефективні технології очищення води мають важливе значення для вирішення цієї проблеми. У цьому дослідженні вивчається використання мембран на основі поліефірсульфонового (ПЕС) полімеру, армованих наночастинками діоксиду титану (TiO_2), для боротьби з обростанням. Мембрани були виготовлені з використанням методу обробки в електричному полі. Скануюча електронна мікроскопія (SEM) виявила розподіл пор за розміром від 1,170 мкм до 7,122 мкм, демонструючи, що цей метод може бути налаштований для створення мембран з певними фільтраційними характеристиками. Аналіз за допомогою атомно-силового мікроскопа (АСМ) показав шорсткість поверхні від 150 до 500 нм, що свідчить про те, що морфологію поверхні мембрани можна змінювати для покращення її продуктивності. Механічні випробування показали, що міцність на розрив мембран змінювалася залежно від додавання TiO_2 : чиста мембрана з ПЕС (T10) мала міцність на розрив 2,12 МПа, тоді як мембрана T11 (20 % ПЕС, 1 % TiO_2) демонструвала зниження до 1,84 МПа. Мембрана T12 (30 % ПЕС, 1 % TiO_2) показала збільшення міцності на розрив до 3,86 МПа, що підтверджує підсилюючий вплив TiO_2 на механічні властивості мембрани. Випробування на проникність чистої води (CWP) показало значення потоку 2558,9 л/м²-год/бар для T10, 1263,1 л/м²-год/бар для T11 і 2763,9 л/м²-год/бар для T12, що підкреслює оптимальний баланс механічної міцності і проникності в T12. Композитна мембрана PES/ TiO_2 , виготовлена з використанням методу електричного поля, є перспективною для фільтрації води завдяки своїй підвищеній проникності, забезпечуючи ефективне рішення для очищення води.

Ключові слова: антиобростання, виготовлення, фільтрація, мембрани, проникність, поліефірсульфат, діоксид титану.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.314098

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАВАННЯ РІЗНИХ СУМШЕЙ БРИКЕТІВ КАТАЛІТИЧНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОХВИЛЬОВОГО МЕТОДУ І АКТИВАЦІЇ СІРЧАНОЮ КИСЛОТОЮ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ В АВТОМОБІЛЯХ (с. 26–37)**Syamsuri, Evi Yuliawati, Maritha Nilam Kusuma, Moh. Rizaldhy Triono, Farizal Luthfi AlFandi**

Використання викопного палива в транспортному обладнанні, особливо в автомобілях, має надзвичайний вплив на забруднення повітря. Обсяг забруднення повітря від транспортних джерел в Індонезії становить 70,5 % CO, 18,34 % HC, 8,89 % NOx, 0,88 % SOx

та 1,33 % твердих частинок. З огляду на небезпеку викидів вихлопних газів, особливо чадного газу, який може призвести до смерті людини при його вдиханні, необхідні заходи щодо боротьби із забрудненням повітря автомобілями. Одним із методів є застосування адсорбентів. В якості адсорбенту може використовуватися активоване вугілля.

У ході експериментального дослідження були виготовлені брикети діаметром 20 мм та довжиною 30 мм. Була використана суміш вугільних брикетів із кокосової шкаралупи та деревного вугілля 65–25 % (модель 1), 55–35 % (модель 2) і 45–45 % (модель 3). Застосовувався мікрохвильовий метод та активація сірчаною кислотою протягом 1 години. Випробування об'єкта дослідження проводилися на 4-тактному автомобілі (Honda Supra 125) 2012 року з частотою обертання двигуна 2000 об/хв. Перевірку викидів виконували з використанням газоаналізатора. Перевірка продуктивності двигуна мотоцикла, з установкою адсорбентів у вихлопних газах, здійснювалася за допомогою динамометричного випробування. Результати показують, що дана брикетна суміш дозволяє знизити викиди монооксиду вуглецю (CO) на 71,6 % в порівнянні з відсутністю каталітичного нейтралізатора. Крім того, спостерігалось зниження викидів вуглеводнів (HC) на 88,8 % порівняно з двигуном без каталітичного нейтралізатора. Випробування двигуна не показали істотного впливу даного адсорбенту на крутний момент і потужність.

На закінчення, суміш вугільних брикетів з кокосової шкаралупи та деревного вугілля, активованих сірчаною кислотою може бути використана для зниження викидів вихлопних газів в автомобілях.

Ключові слова: брикети, деревне вугілля, кокосова шкаралупа, активація H_2SO_4 , CO, HC.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313985

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ КАРБОНІЗАЦІЇ НА ПОРИСТІСТЬ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ, ОДЕРЖАНОГО З ШКАРАЛУПИ ПЕРЕПЕЛИНИХ ЯЄЦЬ (с. 38–48)

Wenny Maulina, Diah Wahyu Wardani, Nutfah Anggiana Putri, Arry Yuariatun Nurhayati, Artoto Arkundato, Ratna Dewi Syarifah, Dhewa Edikresnha

Метою даного дослідження є оцінка можливості використання шкаралупи перепелиних яєць в якості сировини для виробництва пористого та електропровідного активованого вугілля, приділяючи особливу увагу впливу температури карбонізації. Основна вирішувана проблема полягає в недостатньому використанні відходів з шкаралупи перепелиних яєць, незважаючи на її унікальну мікропористу структуру, а також багатий мінеральний та органічний склад. Ці маловикористовувані відходи, що часто викидаються, дають можливість поєднати стійкі методи з розробкою сучасних матеріалів для адсорбційних і енергетичних застосувань.

Результати показали, що активоване вугілля, одержане за температури карбонізації 400 °C, володіє чудовими властивостями порівняно з більш високими температурами (500 °C та 600 °C), маючи найбільшу площу поверхні та електропровідність. При дослідженні характеристик методом ІЧ Фур'є-спектроскопії були виявлені важливі функціональні групи, такі як O-H, C=O, C=C та CaO, що підтримують формування вуглецевого каркасу й сприяють стабільності та функціональності матеріалу. Рентгенограми підтвердили наявність гексагональної структури вуглецю, що є бажаною властивістю для збереження структурної цілісності в складних умовах експлуатації. За допомогою СЕМ-аналізу виявлено неправильну морфологію, тоді як ВЕТ-аналіз показав поєднання мікропор та мезопор. За оптимальних умов карбонізації активоване вугілля, одержане за температури 400 °C, володіє поєднанням структурних і провідних властивостей. Питома площа поверхні становила 296,875 м²/г, що свідчить про відмінну пористість для адсорбційних застосувань. Крім того, матеріал показав електропровідність 1,62×10⁻² см/см, що може бути використано для пристроїв зберігання енергії, таких як суперконденсатори та акумулятори. Зниження цих властивостей за більш високих температур карбонізації підкреслює важливість оптимізації параметрів синтезу для досягнення бажаних результатів.

Дані структурні та провідні властивості роблять матеріал придатним для перспективного застосування в області відновлення навколишнього середовища, відновлюваної енергії та утилізації відходів. Перетворення шкаралупи перепелиних яєць у високоцінне активоване вугілля демонструє реальний підхід до скорочення відходів, сприяючи створенню екологічно чистих матеріалів. Дане дослідження доводить можливість ефективного використання шкаралупи перепелиних яєць, що збільшує цінність органічних відходів і підвищує їхню економічну доцільність.

Ключові слова: активоване вугілля, шкаралупа перепелиних яєць, температура карбонізації, структурно-пористі характеристики, електропровідні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318930

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВОДНЕМ В ГАЗОВИХ МЕРЕЖАХ (с. 49–58)

Ю. Й. Франчук, В. В. Косілов, Ю. І. Ковальчук

Об'єктом дослідження є газова суміш природного газу з воднем.

Досліджено фізико-хімічні показники паливних сумішей природного газу з воднем з метою подальшого нормування вмісту водню в газотранспортній системі відповідно до державних стандартів України та Європейського Союзу. Вирішувалася проблема безпечного використання зеленого водню у суміші з природним газом.

Визначено допустиму норму вмісту водню в міському мережевому газі на рівні 7 мольних %, що дозволить ефективно та безпечно використовувати існуючі газотранспортні системи. Наразі в умовах використання мережі низького тиску рекомендовано збільшення

тиску на 4 %. Це пояснюється тим, що теплота згорання природного газу регламентується кодексом газотранспортних і газорозподільчих систем, і повинна знаходитись в певному діапазоні, дотримання саме такого вмісту водню в природному газі дозволяє утримувати цей показник у межах норми. Підвищення тиску на 4 % обумовлене збереженням теплової потужності газопальникових пристроїв за заміни одного газоподібного палива на інші.

Здійснено аналіз вмісту суміші горючих газів на нижній і верхній межі спалахування. Встановлено, що за 7 % вмісту водню діапазон спалахування знаходиться в межах 5,07–16,75 об'ємних відсотків, що перебуває в діапазоні допустимих значень 5–15 об. %. За умови збільшення вмісту водню в газі вибух може відбутися у більш широкому діапазоні концентрацій та потребуватиме додаткових заходів безпеки.

Визначена межа водню не впливає на показники вибуховості мережного газу і забезпечує безпечність його використання, оскільки нижня концентраційна межа займистості (за метаном) у суміші з повітрям в об'ємних відсотках складає 4,4, верхня – 17,0 об. % згідно з додатком 2 технічного регламенту.

Ключові слова: «зелений» водень, мережевий газ, теплота згорання, число Воббе, межа спалаху.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318568

РОЗРОБКА НОВОГО СПОСОБУ ПЕРЕТВОРЕННЯ КАМ'ЯНОГО ВУГІЛЛЯ У РІДКОМУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ТЕПЛОНОСІЇ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ФАКТОРАМИ (с. 59–69)

Є. І. Зубцов, І. М. Глікіна

Об'єктом дослідження був процес переробки кам'яного вугілля з отриманням синтез-газу як цільового продукту. Дослідна технологія використовує реактор з рідким високотемпературним теплоносієм. Розробка дозволяє екологічне та безпечне перетворення твердої сировини – кам'яного вугілля.

Вміст кам'яного, бурого та солоного вугілля містить досить багато мінеральних домішок. Проведено термодинамічний аналіз хімічних перетворень вугілля згідно його вмісту. Аналіз був проведений за умов нової технології. Технологія дозволяє працювати одночасно з твердою, рідинною та газовою структурою. Основними технологічними параметрами вважається: тиск атмосферний, температура від 1073 до 1373 К, склад та висота теплоносія в реакторі. Виявлено оптимальні температурні умови перебігу процесу у розплаві. Дослідження були пов'язані з характеристиками та властивостями рідкого високотемпературного теплоносія. Досліджено два типи лабораторних реакторів. Склад та об'єм рідкого теплоносія сприяє стабільному й рівноважному перебігу цільового процесу. Запропоновану схему реактору з рідким високотемпературним теплоносієм для процесу газифікації вугілля доцільно вважати екологічним процесом. Розроблена схема містить три зони перебігу процесу: конверсії, окиснення та доокиснення. Схема реактору є достатньо простою за конструкцією. Технологія у рідкому високотемпературному теплоносії використовує один теплоносієм для трьох зон реактору. Цільовим продуктом переробки є синтез-газ. Синтез-газ можливо використовувати безпосередньо як цільовий продукт, де водень є альтернативним енергетичним джерелом. Синтез-газ як сировина можливо використовувати з отриманням вуглеводнів, окреме використання речовин для різних виробництв та перетворення у різні сполуки органічного й неорганічного синтезу.

Ключові слова: синтез-газ, рідкий високотемпературний теплоносієм, кам'яне вугілля, тризонний реактор, мінеральна складова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.319045

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ КИСЛОТИ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ ТВЕРДОГО/РІДКОГО У ВИЛУГОВУВАННІ МАГНІЮ З ФЕРОНІКЕЛЕВОГО ШЛАКУ (с. 70–78)

Eni Febriana, Aldo Yansen T. Napitupulu, Johny Wahyuadi Soedarsono, Badrul Munir, Eddy Sumarno Siradj, Agus Paul Setiawan Kaban, Martina Yttria Mertoprawiro, Kadek Ambara Jaya

Індонезія – країна з найбільшими резервами нікелю та рівнями виробництва у світі. Кожна тонна виробництва нікелю може виробляти вісім тонн побічних продуктів у вигляді феронікелевого шлаку, який продовжує збільшуватися через мінімальний процес переробки цих побічних продуктів. Це дослідження мало на меті визначити вплив змін концентрації кислоти та співвідношення твердого/рідкого на вилучення магнію з феронікелевого шлаку та характеризувати трансформацію феронікелевого шлаку на кожній стадії процесу. Дослідження проводили за допомогою методу злиття лугу і продовжували вилуговування води та вилуговування кислоти за допомогою соляної кислоти (HCl) як розчинника. Першим кроком у дослідженні було фрезерування, щоб отримати порошок з розміром частинок ≤ 127 мкм. Порошок зразка згодом змішували з добавкою Na_2CO_3 у співвідношенні 50:50 (мас./мас.) і обсмажували протягом 60 хвилин при 1000°C . Потім процедуру вилуговування води проводили протягом 60 хвилин при 100°C , коефіцієнт 1:10 (мас./об.) та перемішувальна швидкість 400 об./хв. Потім фільтрат і залишок відокремлювали за допомогою процесу фільтрації. Вилуговування кислоти, що використовує HCl з варіаціями концентрації 0,5, 1 та 1,5 м, співвідношення твердого/рідкого (т/р) 1:20, 1:30 та 1:40 (мас./об.) було проведено на залишках. Результати вилуговування кислоти потім знову фільтрували. Потім фільтрат характеризувався тестуванням ICP-OES. Виходячи з результатів аналізу, можна зазначити, що відсоток екстракції магнію збільшується у міру збільшення співвідношення твердого/рідкого (т/р), але зменшується зі збільшенням концентрації HCl. Оптимальний відсоток вилучення магнію становить 64,12 %, що було досягнуто при умовах вилуговування твердого/рідкого співвідношення (т/р) 1:40 (мас./об.) та концентрації HCl 0,5 м.

Ключові слова: феронікелевий шлак, переробка, лужне злиття, смаження, вилуговування води, вилуговування кислоти, екстракція, магній, концентрація кислоти, співвідношення твердого/рідкого.