

ABSTRACT AND REFERENCES

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292774

SYNTHESIS OF NANOCARBON BY HIGH-VOLTAGE BREAKDOWN OF HYDROCARBONS (p. 6–16)**Nataliya Kuskova**Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0857-1647>**Antonina Malyushevskaya**Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-6105>**Mykola Prystash**Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7617-6200>**Svitlana Prystash**Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6271-7395>**Yury Adamchuk**Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2866-3626>

The object of research is the mechanisms of synthesis of nanocarbon structures in the process of electric high-voltage breakdown of hydrocarbons.

The problem to be solved is the purposeful synthesis of various types of nanocarbon with small losses of raw materials.

Mechanisms of nanocarbon formation in the process of high-voltage electric breakdown of hydrocarbons have been established. It is shown that a high-voltage breakdown leads to a cascade of chemical transformations. As a result of transformations, lower gaseous hydrocarbons are formed due to the destruction of molecules and higher ones – as a result of polymerization, and as a result of dehydrocyclization and polymerization with the participation of metal catalysts – various carbon nanostructures. The possibility of targeted synthesis of fullerene-like structures, nanotubes with diameters from 10 to 50 nm, nanofibers, and films is demonstrated. Experimental studies have confirmed that the qualitative and quantitative composition of nanocarbon can be varied in a wide range. With an increase in the number of carbon atoms or the number of C–C bonds in the raw material molecules, other things being equal, the practical yield of solid nanocarbon increases. It was determined that the synthesis of structured nanocarbon from a mixture of hydrocarbon gases, formed as a result of high-voltage breakdown of liquid hydrocarbons, actively occurs on the nickel-chromium catalytic surface. An increase in the area of the catalytic deposition surface leads to an increase in the yield of nanocarbon. The study of the ability of the obtained nanocarbon samples to absorb electromagnetic radiation confirmed the potential of the method of high-voltage breakdown of hydrocarbons for the synthesis of materials that weaken electromagnetic radiation at a frequency of 25 to 38 GHz. The greatest weakening is observed for samples consisting mainly of carbon nanotubes and nickel nanoparticles.

Keywords: synthesis of nanocarbon, high-voltage breakdown of hydrocarbons, mass yield of the product, electromagnetic properties.

References

- Zhang, Z., Ohta, S., Shiba, S., Niwa, O. (2022). Nanocarbon film electrodes for electro-analysis and electrochemical sensors. *Current Opinion in Electrochemistry*, 35, 101045. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2022.101045>
- Han, L., Song, Q., Li, K., Yin, X., Sun, J., Li, H. et al. (2021). Hierarchical, seamless, edge-rich nanocarbon hybrid foams for highly efficient electromagnetic-interference shielding. *Journal of Materials Science & Technology*, 72, 154–161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.07.020>
- Xiao, Z., Kong, L. B., Ruan, S., Li, X., Yu, S., Li, X. et al. (2018). Recent development in nanocarbon materials for gas sensor applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 274, 235–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.07.040>
- Pašti, I. A., Janošević Ležaić, A., Gavrilov, N. M., Čirić-Marjanović, G., Mentus, S. V. (2018). Nanocarbons derived from polymers for electrochemical energy conversion and storage – A review. *Synthetic Metals*, 246, 267–281. doi: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2018.11.003>
- Zhang, F., Zhang, H. (2021). Applications of nanocarbons in redox flow batteries. *New Carbon Materials*, 36 (1), 82–92. doi: [https://doi.org/10.1016/s1872-5805\(21\)60006-9](https://doi.org/10.1016/s1872-5805(21)60006-9)
- Madhu, R., Periasamy, A. P., Schlee, P., Hrou, S., Titirici, M.-M. (2023). Lignin: A sustainable precursor for nanostructured carbon materials for supercapacitors. *Carbon*, 207, 172–197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2023.03.001>
- Liang, Y. N., Oh, W.-D., Li, Y., Hu, X. (2018). Nanocarbons as platforms for developing novel catalytic composites: overview and prospects. *Applied Catalysis A: General*, 562, 94–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2018.05.021>
- Tang, C., Titirici, M.-M., Zhang, Q. (2017). A review of nanocarbons in energy electrocatalysis: Multifunctional substrates and highly active sites. *Journal of Energy Chemistry*, 26 (6), 1077–1093. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2017.08.008>
- Driscoll, N., Dong, R., Vitale, F. (2021). Emerging approaches for sensing and modulating neural activity enabled by nanocarbons and carbides. *Current Opinion in Biotechnology*, 72, 76–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.10.007>
- Yang, N., Jiang, X. (2017). Nanocarbons for DNA sequencing: A review. *Carbon*, 115, 293–311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.01.012>
- Elkoudous, M. A., Olojede, S. O., Sahoo, S., Kumar, R. (2023). Recent advances in modification of novel carbon-based composites: Synthesis, properties, and biotechnological/ biomedical applications. *Chemico-Biological Interactions*, 379, 110517. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2023.110517>
- Zhang, X., Zhao, N., He, C. (2020). The superior mechanical and physical properties of nanocarbon reinforced bulk composites achieved by architecture design – A review. *Progress in Materials Science*, 113, 100672. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100672>
- Rud, A. D., Kornienko, N. E., Kirian, I. M., Kirichenko, A. N., Kucherov, Oleksandr. P. (2018). Local heteroallotropic structures of carbon. *Materials Today: Proceedings*, 5 (12), 26089–26095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.08.035>
- Rud, A. D., Kornienko, N. E., Polunkin, I. V., Boguslavskii, L. Z., Vinnichenko, D. V., Kirian, I. M. et al. (2023). Structure of carbon nanospheres modified with oxygen-containing groups and halogens. *Applied Nanoscience*, 13 (10), 6929–6937. doi: <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02817-2>

15. García-Ruiz, D. L., Granados-Martínez, F. G., Gutiérrez-García, C. J., Ambriz-Torres, J. M., Contreras-Navarrete, J. de J., Flores-Ramírez, N. et al. (2021). "Synthesis of carbon nanomaterials by chemical vapor deposition method using green chemistry principles." *Handbook of Greener Synthesis of Nanomaterials and Compounds*, 273–314. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821938-6.00008-6>
16. Gerberich, W. W., Jungk, J. M., Mook, W. M. (2003). The bottom-up approach to materials by design. *Nano and Microstructural Design of Advanced Materials*, 211–220. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-008044373-7/50046-2>
17. Kumar, R., Pérez del Pino, A., Sahoo, S., Singh, R. K., Tan, W. K., Kar, K. K. et al. (2022). Laser processing of graphene and related materials for energy storage: State of the art and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, 91, 100981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2021.100981>
18. Wang, P., Hao, X., Tang, B., Abudula, A., Guan, G. (2022). Nanocarbon-based metal-free catalysts. *Carbon-Based Metal Free Catalysts*, 1–19. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-88515-7.00006-7>
19. Pandey, A., Chauhan, P. (2023). Functionalized graphene nanomaterials: Next-generation nanomedicine. *Functionalized Carbon Nanomaterials for Theranostic Applications*, 3–18. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824366-4.00020-0>
20. Woldu, A. R., Huang, Z., Zhao, P., Hu, L., Astruc, D. (2022). Electrochemical CO₂ reduction (CO₂RR) to multi-carbon products over copper-based catalysts. *Coordination Chemistry Reviews*, 454, 214340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214340>
21. Yan, G., Fu, H., Zhao, Y., Sun, Z., Zhang, B. (2022). A review on optimizing potentials of high voltage pulse breakage technology based on electrical breakdown in water. *Powder Technology*, 404, 117293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117293>
22. Zhu, L., He, Z.-H., Gao, Z.-W., Tan, F.-L., Yue, X.-G., Chang, J.-S. (2014). Research on the influence of conductivity to pulsed arc electrohydraulic discharge in water. *Journal of Electrostatics*, 72 (1), 53–58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2013.11.004>
23. Park, H.-K., Park, D.-H., Chung, B.-J. (2023). Influence of the electrolyte conductivity on the critical current density and the breakdown voltage. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 59, 169–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2023.01.007>
24. Kuskova, N. I., Yushchishina, A. N., Malyushevskaya, A. P., TsoLin, P. L., Petrichenko, L. A., Smal'ko, A. A. (2010). Production of carbonic nanomaterials in the course of electrodischarge treatment of organic liquids. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 46 (2), 149–153. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068375510020110>
25. Kuskova, N. I., Baklar', V. Yu., Terekhov, A. Yu., Yushchishina, A. N., Petrichenko, S. V., TsoLin, P. L., Malyushevskaya, A. P. (2014). Synthesis of carbon nanomaterials from gases generated in the course of the electrodischarge treatment of organic liquids. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 50 (2), 101–105. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068375514020094>
26. Kuskova, N. I., Dubovenko, K. V., Petrichenko, S. V., TsoLin, P. L., Chaban, S. O. (2013). Electrodischarge technology and equipment to produce new carbon nanomaterials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 49 (3), 215–221. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068375513030095>
27. Zhao, D., Li, X., Shen, Z. (2008). Microwave absorbing property and complex permittivity and permeability of epoxy composites containing Ni-coated and Ag filled carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 68 (14), 2902–2908. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.10.006>
28. Kuskova, N. I., Syzonenko, O. M., Torpakov, A. S. (2020). Electric discharge method of synthesis of carbon and metal-carbon nanomaterials. *High Temperature Materials and Processes*, 39 (1), 357–367. doi: <https://doi.org/10.1515/htmp-2020-0078>
29. Gaffney, J. S., Marley, N. A. (2018). Kinetics and the Rate of Chemical Reactions. *General Chemistry for Engineers*, 283–317. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810425-5.00009-6>
30. Kucherov, O., Rud, A., Gubanov, V., Biliy, M. (2020). Spatial 3d Direct Visualization of Atoms, Molecules and Chemical Bonds. *American Journal of Applied Chemistry*, 8 (4), 94. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20200804.11>
31. Sergiienko, R., Shibata, E., Akase, Z., Suwa, H., Nakamura, T., Shindo, D. (2006). Carbon encapsulated iron carbide nanoparticles synthesized in ethanol by an electric plasma discharge in an ultrasonic cavitation field. *Materials Chemistry and Physics*, 98 (1), 34–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.08.064>
32. Dolmatov, V. Yu., Myullyumyaki, V., Vehanen, A. (2013). Vozmozhniy mehanizm obrazovaniya nanoalmazha pri detonatsionnom sinteze. *Sverhtverdye materialy*, 3, 19–28. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/126042>
33. Shvartsev, S. L. (2009). Self-organizing Abiogenic Dissipative Structures in the Geologic History of the Earth. *Earth Science Frontiers*, 16 (6), 257–275. doi: [https://doi.org/10.1016/s1872-5791\(08\)60114-1](https://doi.org/10.1016/s1872-5791(08)60114-1)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292182
IMPROVING THE TECHNOLOGY OF WAXES
OBTAINING FROM OIL AND FAT WASTE (p. 17–22)

Dmytro Saveliev

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4310-0437>

Olena Petrova

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8612-3981>

Pavlo Kovalov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2817-5393>

Oleksandr Cherkashyn

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3383-7803>

Natalia Shevchuk

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5845-2582>

Nataliia Markova

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6169-6978>

Alla Ziuzko

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0888-4854>

Mykola Pidhorodetskyi

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-8635>

Anatolii Rozumenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3069-9313>

Oleksandr Ivashchuk

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8189-6472>

The object of the research is the extraction of waxes from the waste of the oil and fat industry – spent perlite.

As a result of oil winterization, a significant amount of spent filter powders is formed, the disposal of which poses a danger to

the environment. At the same time, winterization waste contains a significant amount of oil and wax, which are important components of many types of products. Oil and wax extraction involves the use of volatile, fire-hazardous solvents. An urgent task is to develop new safe and effective technologies for obtaining oils and waxes from winterization waste.

The technology of extracting waxes from spent perlite, obtained as a result of winterization of sunflower oil, which involves treatment of perlite with sodium chloride solution, was investigated.

Perlite was used according to SOU 15.4-37-210:2004 (CAS Number 93763-70-3) with indicators: mass fraction of fat – 20.1 %, peroxide value – 19.5 ½ O mmol/kg, acid value – 3.5 mg KOH/g. The temperature of mass settling after treatment with sodium chloride is 20 °C, the duration – 10 hours.

The following rational conditions for perlite processing using sodium chloride were determined: the concentration of dry sodium chloride (by weight of perlite) – 35.0 %, the duration of mass boiling – 30 minutes. Under these conditions, the experimental value of the saponification value of the obtained wax was 120.5 mg KOH/g. Wax quality indicators: melting point 71.5 °C, acid value 1.6 mg KOH/g, mass fraction of moisture 0.63 %.

The obtained results make it possible to obtain high-quality waxes from the waste of the oil and fat industry using a safe and affordable substance (sodium chloride). This will make it possible to avoid the need for waste disposal and increase the profitability of oil and fat enterprises due to obtaining valuable products from production waste.

Keywords: spent perlite, oil winterization waste, wax saponification value, filter powder.

References

- Kovari, K., Denise, J., Hollo, J. (2006). Seed crushing, oil refining and environmental problem. *Olaj. Szap. Kozmet.*, 45 (2), 45–52.
- Kachlishvili, I. N., Filippova, T. F. (2003). Experience in Manufacture of Hard Waxes. Combined Dewaxing and Deoiling Unit. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 39 (5), 233–239. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1026334207220>
- Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Chernukha, A., Kovalov, P., Grigorenko, N. et al. (2020). Rational parameters of waxes obtaining from oil winterization waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.219602>
- Modupalli, N., Thangaraju, S., Naik, G. M., Rawson, A., Natarajan, V. (2022). Assessment of physicochemical, functional, thermal, and phytochemical characteristics of refined rice bran wax. *Food Chemistry*, 396, 133737. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133737>
- Fonseca, L. R., Santos, M. A. S., Santos, T. P., Cunha, R. L. (2023). Sunflower waxes as natural structuring agents to improve the technological properties of water-in-oil (W/O) high internal phase emulsions (HIPEs). *Journal of Food Engineering*, 357, 111638. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111638>
- Simões, R., Miranda, I., Pereira, H. (2022). The Influence of Solvent and Extraction Time on Yield and Chemical Selectivity of Cuticular Waxes from *Quercus suber* Leaves. *Processes*, 10 (11), 2270. doi: <https://doi.org/10.3390/pr10112270>
- Hums, M. E., Moreau, R. A. (2019). A Simplified Method for Fractionation and Analysis of Waxes and Oils from Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bran. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96 (12), 1357–1366. doi: <https://doi.org/10.1002/aocs.12284>
- Redondas, C. E., Bäuml, E. R., Carelli, A. A. (2019). Sunflower wax recovered from oil tank settlings: Reevaluation of a waste product from the oilseed industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100 (1), 201–211. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10017>
- Chalapud, M. C., Bäuml, E. R., Carelli, A. A. (2016). Characterization of waxes and residual oil recovered from sunflower oil winterization waste. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119 (2). doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500608>
- Harron, A. F., Powell, M. J., Nunez, A., Moreau, R. A. (2017). Analysis of sorghum wax and carnauba wax by reversed phase liquid chromatography mass spectrometry. *Industrial Crops and Products*, 98, 116–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.015>
- Cascant, M. M., Breil, C., Garrigues, S., de la Guardia, M., Fabiano-Tixier, A. S., Chemat, F. (2017). A Green Analytical Chemistry Approach for Lipid Extraction: Computation Methods in the Selection of Green Solvents as Alternative to Hexane. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 409, 3527–3539. doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0323-9>
- Ardenghi, N., Mulch, A., Pross, J., Maria Niedermeyer, E. (2017). Leaf wax n-alkane extraction: An optimised procedure. *Organic Geochemistry*, 113, 283–292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.08.012>
- Tuhanioglu, A., Mauromoustakos, A., Ubeyitogullari, A. (2023). Purifying waxes through selective extraction of triacylglycerols from a bioethanol production side-stream using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 202, 106059. doi: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2023.106059>
- Guan, M., Xu, X., Tang, X., Li, Y. (2022). Optimization of supercritical CO₂ extraction by response surface methodology, composition analysis and economic evaluation of bamboo green wax. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129906. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129906>
- Al Bulushi, K., Attard, T. M., North, M., Hunt, A. J. (2018). Optimisation and economic evaluation of the supercritical carbon dioxide extraction of waxes from waste date palm (*Phoenix dactylifera*) leaves. *Journal of Cleaner Production*, 186, 988–996. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.117>
- Jana, S., Martini, S. (2016). Phase Behavior of Binary Blends of Four Different Waxes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93 (4), 543–554. doi: <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2789-6>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292527

PREPARATION OF HYDROCARBON RESINS BY SUSPENSION OLIGOMERISATION OF THE C9 FRACTION OF GASOLINE PYROLYSIS INITIATED BY AMINO PEROXIDES (p. 23–30)

Roman Subtelnyy

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2919-004X>

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>

The object of research is the production of C9 hydrocarbon resins by oligomerization of oil refining by-products.

In the technology of hydrocarbon resins by free radical oligomerization, there is a disadvantage in the use of high temperatures and a long reaction time. The resulting products have a dark color, which limits their use in paints and varnishes.

The technology of hydrocarbon resins, which consists in the suspension oligomerization of hydrocarbons of the C9 fraction in an aqueous medium, at low temperatures and stirring, was studied.

N-substituted amino peroxides, which are characterized by a low temperature of use, were used as initiators. The raw materials

used were C9 fractions of liquid gasoline pyrolysis products with an unsaturated compound content of 54.7 %.

The optimal conditions were established: temperature – 364 K, time – 180 min, Re=10120, initiator concentration – 0.064 mol/l, the share of C9 fraction in the reaction mixture – 25 %. Under these conditions, a light hydrocarbon resin with a color index of 20 mg I2/100 ml and a softening point of 352 K was obtained.

The use of amino peroxide initiators allows for the suspension oligomerization of the hydrocarbon fraction C9 at low temperatures (303–353 K) and within a short reaction time (180 min). This oligomerization technology makes it easy to remove excess heat and maintain isothermal conditions in the reaction zone. This prevents the development of side oxidation reactions that cause darkening of the product.

The research results make it possible to improve the process of oligomerization of the hydrocarbon fraction using new initiators and obtain light-colored hydrocarbon resins. This will reduce energy costs for production and improve the characteristics of hydrocarbon resins.

Keywords: C9 hydrocarbon resin, suspension oligomerization, N-substituted amino peroxide, light color.

References

- Speight, J. G. (2020). Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2015-0-06314-6>
- Mildenberg, R., Zander, M., Collin, G. (1997). Hydrocarbon Resins. VCH Verlagsgesellschaft mbH. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527614653>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.0c00474>
- Zohuriaan-Mehr, M. J., Omidian, H. (2000). Petroleum Resins: An Overview. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 40 (1), 23–49. doi: <https://doi.org/10.1081/mc-100100577>
- Subtelnyy, R., Zhuravskiy, Y., Kichura, D., Dzinyak, B. (2022). Oligomerization of C9 hydrocarbon fraction initiated by amino peroxides with cyclic substitute. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (117)), 23–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259892>
- Dzumudzei, M. V., Kucher, R. V., Turovskiy, A. A., Koshovskiy, B. I. (1971). Doslidzhennia kinetyky termichnoho rozpadu azotumisnykh perekysnykh spoluk z tret-alkilnym radykalom. *Ukrainskiy himicheskii zhurnal*, 39, 1142–1145.
- Turovskiy, A. A., Dzumudzei, M. V. (1973). Pro kinetyku peredachi lantsiuha cherez azotvmisni perekysy z tret-butylnym radykalom pry polimeryzatsiyi styrolu v masi. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 5, 1106–1108.
- Yang, J., Cao, Z., Qi, Y. (2014). Polymerization of C9 Fraction from Ethylene Cracking Catalyzed by Al³⁺-Loaded Styrenic Cation Exchange Resin. *Asian Journal of Chemistry*, 26 (19), 6658–6664. doi: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2014.17387>
- Rahmatpour, A., Soleimani, P., Karamian, S., Davvand, R. (2023). Use of a cross-linked polystyrene/titanium tetrachloride tightly bound coordination complex as catalyst for the production of petroleum resins. *Reaction Chemistry & Engineering*, 8 (7), 1583–1597. doi: <https://doi.org/10.1039/d2re00429a>
- Wang, G. Q., Zhang, W. X., Liang, J. C., Chen, G. Y., Wei, Z. Y., Zhang, L. (2013). Preparation of C5 Petroleum Resins Using Et₃NHCl-AlCl₃ as Catalyst. *Asian Journal of Chemistry*, 25 (5), 2829–2832. doi: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14017>
- Subtelnyy, R. O., Kichura, D. B., Dzinyak, B. O. (2022). Synthesis of petroleum resins in the presence of aliphatic aminoperoxides. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 88–97. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2022-145-6-88-97>
- Sae-Ma, N., Praserttham, P., Panpranot, J., Chaemchuen, S., Dok-jamp, S., Suriye, K., Rempel, G. L. (2010). Color improvement of C9 hydrocarbon resin by hydrogenation over 2% Pd/γ-alumina catalyst: Effect of degree of aromatic rings hydrogenation. *Journal of Applied Polymer Science*, 117 (5), 2862–2869. doi: <https://doi.org/10.1002/app.32189>
- Jiang, M., Wei, X., Chen, X., Wang, L., Liang, J. (2020). C9 Petroleum Resin Hydrogenation over a PEG1000-Modified Nickel Catalyst Supported on a Recyclable Fluid Catalytic Cracking Catalyst Residue. *ACS Omega*, 5 (32), 20291–20298. doi: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02193>
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232684>
- Kovačić, S., Slugovc, C. (2020). Ring-opening Metathesis Polymerisation derived poly(dicyclopentadiene) based materials. *Materials Chemistry Frontiers*, 4 (8), 2235–2255. doi: <https://doi.org/10.1039/d0qm00296h>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115892>
- Draper, N. R., Smith, H. (1998). Applied Regression Analysis. Wiley Series in Probability and Statistics. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118625590>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286991

IDENTIFYING THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF EXPANSIVE SOIL STABILIZED USING FLY ASH AND WASTE FOUNDRY SAND (p. 31–40)

Anita Setyowati Srie Gunarti

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0797-9330>

Yulvi Zaika

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0258-345X>

As'ad Munawir

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0015-8011>

Eko Andi Suryo

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6668-4907>

Harimurti

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4497-963X>

Expansive soil causes road construction damage in the form of cracks or deformations due to changes in moisture content. One method to address this issue is soil stabilization using additive materials. Special additives can sometimes be expensive; hence it is necessary to use additive materials based on industrial waste as a waste management solution to solve the problem of expansive soil as a road construction subgrade. This study aims to analyze the effects of adding two types of industrial waste, namely fly ash (FA) and waste foundry sand (WFS), regarding the microstructure, physical, and mechanical properties of expansive soil. The method of

stabilizing expansive soil involves mixing the soil with 9 % FA and various levels of WFS (0 %, 7.5 %, 10 %, 15 %) based on the dry weight of the soil. Microstructure testing includes quantitative X-ray diffraction and scanning electron microscopy. Physical property testing includes specific gravity, Atterberg limits and sieve analysis. Mechanical testing, i.e. compaction, California Bearing Ratio, swelling, and Triaxial tests were conducted. Soil stabilized with 9 % FA and 15 % WFS shows a significant increase in the internal friction angle and cohesion, reducing swelling by 67.18 % compared to the original soil swelling. The addition of 9 % fly ash and 15 % WFS to expansive soil reduces the content of montmorillonite. Natural expansive soils have a very poor soaked CBR of 0.94 %, while stabilized soils with 9 % FA and 15 % WFS have a soaked CBR of 6.46 %. This means that the soaked CBR of the stabilized soil meets the minimum CBR required for road subgrade construction. A mixture of 9 % FA and 15 % WFS in expansive soil can be recommended as a material for stabilizing expansive soil due to its ability to improve microstructure and mechanical properties.

Keywords: expansive soil, stabilization, WFS, FA, microstructure.

References

- Zhang, Y., Sappinen, T., Korkiala-Tanttu, L., Vilenius, M., Juuti, E. (2021). Investigations into stabilized waste foundry sand for applications in pavement structures. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105585>
- Sharma, A. K., Sivapullaiyah, P. V. (2016). Ground granulated blast furnace slag amended fly ash as an expansive soil stabilizer. *Soils and Foundations*, 56 (2), 205–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.02.004>
- Zaika, Y., Suryo, A. (2019). Design of improved lime expansive soil for embankment of flexible pavement. *International Journal of GEOMATE*, 17 (60). doi: <https://doi.org/10.21660/2019.60.8116>
- Indiramma, P., Sudharani, Ch., Needhidasan, S. (2020). Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment – An experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 22, 694–700. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.147>
- Sudjianto, A. T., Suraji, A., Susilo, S. H. (2021). Analysis of soil characteristics on expansive clay stabilization using shell ash. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 58–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245533>
- Blayi, R. A., Sherwani, A. F. H., Ibrahim, H. H., Faraj, R. H., Daraei, A. (2020). Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass powder. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00427>
- Khadka, S. D., Jayawickrama, P. W., Senadheera, S., Segvic, B. (2020). Stabilization of highly expansive soils containing sulfate using metakaolin and fly ash based geopolymer modified with lime and gypsum. *Transportation Geotechnics*, 23, 100327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100327>
- Yadav, A. P., Kumar, N. (2019). A Comparative Study of Waste Foundry Sand and Marble Dust for Stabilization of Subgrade Soil. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7 (4), 1240–1245. doi: <https://doi.org/10.22214/ijrasat.2019.4222>
- Mishra, B. (2015). A Study on Characteristics of Subgrade Soil by Use of Foundry Sand and Iron Turnings. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4 (12), 1262–1266. doi: <https://doi.org/10.21275/v4i12.nov152228>
- Gunarti, A. S. S., Raharja, I. (2020). Mechanical Properties Improvement of Clays Using Silica Sand Waste and Dust Sand Foundry Waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 856 (1), 012002. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/856/1/012002>
- Kumar, A., Parihar, A. (2023). Experimental study on waste foundry sand as partial replacement of retaining wall backfill. *Construction and Building Materials*, 402, 132947. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132947>
- Venkatesh, J., Chinnusamy, K., Muruges, S. (2020). A Review Paper on Comparative Study of Expansive Sub-Grade Stabilization using Industrial Wastes like Foundry Sand, Quarry Dust, Demolition Wastes and Rubber Scrap. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 955 (1), 012062. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/955/1/012062>
- Bhardwaj, B., Kumar, P. (2017). Waste foundry sand in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 156, 661–674. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010>
- Moses, G., Saminu, A., Oriola, F. O. P. (2012). Influence of compactive efforts on compacted foundry Sand treated with Cement Kiln dust. *Civil and Environmental Research*, 2 (5), 11–24. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267408722_Influence_of_Compactive_Efforts_on_Compacted_Foundry_Sand_Treated_With_Cement_Kiln_Dust
- Peter, L., Jayasree, P. K., Balan, K., Raj, S. A. (2016). Laboratory Investigation in the Improvement of Subgrade Characteristics of Expansive Soil Stabilised with Coir Waste. *Transportation Research Procedia*, 17, 558–566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.110>
- Mohanty, S. (2018). Stabilization of Expansive Soil Using Industrial Waste: Fly Ash. *Civil Engineering Research Journal*, 3 (2). doi: <https://doi.org/10.19080/cerj.2018.03.555606>
- Çokça, E. (2001). Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (7), 568–573. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2001\)127:7\(568\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:7(568))
- Zha, F., Liu, S., Du, Y., Cui, K. (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash. *Natural Hazards*, 47 (3), 509–523. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9236-4>
- Zumrawi, M. M. (2015). Stabilization of Pavement Subgrade by Using Fly Ash Activated by Cement. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3 (6), 218–224. Available at: https://www.researchgate.net/publication/287195779_Stabilization_of_Pavement_Subgrade_by_Using_Fly_Ash_Activated_by_Cement
- Sabat, A. K., Pradhan, A. (2014). Fiber reinforced- fly ash stabilized expansive soil mixes as subgrade material in flexible pavement. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19, 5757–5770. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289369176_Fiber_reinforced_fly_ash_stabilized_expansive_soil_mixes_as_subgrade_material_in_flexible_pavement
- Bose, B. (2012). Geo-engineering properties of expansive soil stabilized with fly ash. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 (1), 1339–1353.
- Razvi, S., Sujahat, S., Adnan, S., Aasim, K., Ravi, U., Saud, M. (2007). Stabilization of Soil by Foundry Sand with Fly-Ash. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, 3297 (5).
- Sharma, R. K., Kumar, A. (2013). Compaction and Sub-grade Characteristics of Clayey Soil Mixed with Foundry Sand and Fly Ash. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2 (10), 1504–1509. Available at: <https://www.ijert.org/research/compaction-and-sub-grade-characteristics-of-clayey-soil-mixed-with-foundry-sand-and-fly-ash-IJERTV2IS100572.pdf>
- Seed, H. B., Woodward, R. J., Lundgren, R. (1962). Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 88 (3), 53–87. doi: <https://doi.org/10.1061/jsfeaq.0000431>
- Chen, F. H. (Ed.) (1975). *Developments in geotechnical engineering: Foundations on expansive soils*. Vol. 12. Elsevier.
- Khare, A., Gupta, S. K., Sah, S., Kumar, M., Toppo, A., Jain, A., Jaiswal, S. K. (2023). Implication of Fly Ash in Stabilizing Expansive

- Soil. *Intersect: The Stanford Journal of Science, Technology, and Society*, 16 (2). Available at: <https://ojs.stanford.edu/ojs/index.php/intersect/article/view/2294>
27. Zimar, Z., Robert, D., Zhou, A., Giustozzi, F., Setunge, S., Kodikara, J. (2022). Application of coal fly ash in pavement subgrade stabilisation: A review. *Journal of Environmental Management*, 312, 114926. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114926>
 28. Turan, C., Javadi, A. A., Vinai, R., Beig Zali, R. (2022). Geotechnical Characteristics of Fine-Grained Soils Stabilized with Fly Ash, a Review. *Sustainability*, 14 (24), 16710. doi: <https://doi.org/10.3390/su142416710>
 29. Kaur, M. (2019). Improvement Of Cbr Value Of Expansive Soil With Industrial Waste. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 6 (5), 320–324. Available at: <https://www.jetir.org/papers/JETIRCW06062.pdf>
 30. Soni, A., Varshney, D. (2021). Enhancing the California Bearing Ratio (CBR) Value of Clayey-Sand Type of Soil in Mathura Region. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1116 (1), 012031. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1116/1/012031>
 31. Rajakumar, C., Meenambal, T. (2015). CBR and UCC strength characteristics of expansive soil subgrade stabilized with industrial and agricultural wastes. *International Journal of ChemTech Research*, 8 (7), 1–17.
 32. Muthu Lakshmi, S., Geetha, S., Selvakumar, M. (2021). Predicting soaked CBR of SC subgrade from dry density for light and heavy compaction. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1664–1670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.558>
 33. Choudhary, A. K., Gill, K. S., Jha, J. N. (2011). Improvement in CBR values of expansive soil subgrades using Geosynthetics. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*. Kochi. Available at: <https://gn-dec.ac.in/~igs/ldh/conf/2011/articles/Theme%20-%20J%2016.pdf>
 34. Warsiti, W., Kusdiyono, K., Risman, R., Ristiawan, A. (2020). Characteristic Study of CBR Value of Red Soil Mixture with Lime. *Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora*, 6 (1), 58–68.
 35. Sithole, N. T., Tsotetsi, N. T., Mashifana, T., Sillanpää, M. (2022). Alternative cleaner production of sustainable concrete from waste foundry sand and slag. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130399>
 36. Kumar, P., Paliwal, M. C., Jain, A. K. (2016). Stabilization Of Sub Grade Soil By Using Foundry Sand Waste. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 5 (9). doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.154193>
 37. Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42 (4), 223–237. doi: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(96\)00028-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2)
 38. Gorakhki, M. H., Alhomair, S. A., Bareither, C. A. (2017). Re-Use of Mine Waste Materials Amended with Fly Ash in Transportation Earthworks Projects. *MPC-17-332*. Available at: <https://www.ugpti.org/resources/reports/downloads/mpc17-332.pdf>
 39. Zhou, S., Zhou, D., Zhang, Y., Wang, W. (2019). Study on Physical-Mechanical Properties and Microstructure of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash and Lime. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 1–15. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4693757>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290234
IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF ELECTROKINETIC SOIL IMPROVEMENT ON THE MICROSTRUCTURE, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EXPANSIVE SOIL (p. 41–50)

Lydia Darmiyanti
 Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4451-6626>

As'ad Munawir
 Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0015-8011>

Arief Rachmansyah
 Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7036-6735>

Yulvi Zaika
 Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0258-345X>

Eko Andi Suryo
 Brawijaya University, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6668-4907>

Clay is a soil with low permeability. Clay is considered a problematic soil besides peat soil. The main problem with clay is its mineralogy. Expansive clay soils contain the minerals kaolinite, illite, and montmorillonite. Montmorillonite has weak bonds between its layers. These weak bonds make the soil easily incorporated, one of which is water. Water approaching expansive soil will bond with it and cause swelling.

Expansive soil improvement studies have been conducted. One of them is electrokinetic. Expansive soil from Karawang, Indonesia is one of the soils with a high swelling index. This is because montmorillonite is inside. The Karawang expansive soil will be improved by flowing several salt solutions with various voltages. The applied voltage will flow the solution from the anode to the cathode and fill the clay minerals. Four voltage variants will be applied with the same electrokinetic application time.

The mineralogy of soil before and after electrokinetic improvement undergone changes. The changes can be seen from SEM and XRF testing. The improved soil changed its physical properties from clay with high plasticity to clay with low plasticity. Chemical elements from salt solution trap in montmorillonite then make positive changes in soil mineralogy, soil physical properties, and mechanical properties. The mechanical properties can be seen in a decrease in the C value and an increase in the soil angle of friction after electrokinetic improvement. After electrokinetic improvement using calcium chloride, the lowest soil cohesion value was 12.356 kg/cm² at 12 V. After electrokinetic improvement with calcium dioxide, the lowest cohesion value at 12 V voltage is 19.22 kg/cm². In barium sulfate solution, the lowest soil cohesion at 15 V is 12.16 kg/cm². The soil swelling value decreased after improvement with calcium chloride to 0.008 % from 0.027 %. The research results in calcium chloride with 12 V give optimized results on soil improvement with electrokinetics.

Keywords: expansive soil, electrokinetic, salt solution, swelling, shear strength, montmorillonite, improvement.

References

1. Thanh Thuy, T. T., Eka Putra, D. P., Budianta, W., Hazarika, H. (2015). Improvement of expansive soil by electro-kinetic method. *Journal of Applied Geology*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.22146/jag.7207>
2. Mahalleh, H. A. M., Siavoshnia, M., Yazdi, M. (2021). Effects of electro-osmosis on the properties of high plasticity clay soil: Chemical and geotechnical investigations. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 880, 114890. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114890>
3. Abdullah, W. S., Al-Abadi, A. M. (2010). Cationic–electrokinetic improvement of an expansive soil. *Applied Clay Science*, 47 (3-4), 343–350. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2009.11.046>
4. James, J., James, A., Kumar, A., Gomthi, E., Prasath, K. K. (2019). Plasticity and Swell-Shrink Behaviour of Electrokinetically Stabilized Virgin Expansive Soil using Calcium Hydroxide and Calcium

Chloride Solutions as Cationic Fluids. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 29 (1), 128–146. doi: <https://doi.org/10.2478/ceer-2019-0010>

5. Klouche, F., Bendani, K., Benamar, A., Missoum, H., Maliki, M., Laredj, N. (2020). Electrokinetic restoration of local saline soil. *Materials Today: Proceedings*, 22, 64–68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.082>
6. Zaika, Y., Rachmansyah, A. (2012). Stabilization of Sandy Clay Using Electrochemical Injection. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2 (5), 4684–4690.
7. Panjaitan, N. H. (2014). Affect of Process Electrokinetics Against Minerals and Molecules of Expansive Clay. *IOSR Journal of Engineering*, 4 (8), 01–09. doi: <https://doi.org/10.9790/3021-04830109>
8. *Toxicological Review of Zinc and Compounds* (2010). *Rev. Lit. Arts Am.*, 39 (110), 759–786.
9. Ural, N. (2021). The significance of scanning electron microscopy (SEM) analysis on the microstructure of improved clay: An overview. *Open Geosciences*, 13 (1), 197–218. doi: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0145>
10. Ghimire, U. (2021). Effect of Soil Salinization on the Liquid Limits of Soils: A Review. *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 5 (2), 293–302. Available at: <http://www.ijeska.com/index.php/ijeska/article/view/321/285>
11. Sadeghian, F., Jahandari, S., Haddad, A., Rasekh, H., Li, J. (2022). Effects of variations of voltage and pH value on the shear strength of soil and durability of different electrodes and piles during electrokinetic phenomenon. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 14 (2), 625–636. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.07.017>
12. Trung, D. D., Nguyen, N.-T., Van Duc, D. (2021). Study on multi-objective optimization of the turning process of En 10503 steel by combination of Taguchi method and MOORA technique. *EU-REKA: Physics and Engineering*, 2, 52–65. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001414>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292080

OPTIMIZATION OF LAWELE GRANULAR ASPHALT (LGA) PERFORMANCE IN COLD PAVING HOT MIX ASBUTON (CPHMA) WITH CANDLENUT OIL MODIFIER (p. 51–61)

Lila Khamelda

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1022-2008>

Ludfi Djakfar

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-9263>

Wisnumurti

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2939-2170>

Lawele Granular Asphalt (LGA) is a Buton asphalt product derived from the Lawele area in Central Sulawesi, Indonesia. Although it possesses great potential, LGA utilization has not been fully maximized. One of the challenges is the need for a modifier to extract asphalt from the minerals within LGA. Candlenut oil is a potential modifier that can be used with LGA in Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) due to its similar polarity. Therefore, the aim of this research is to evaluate the performance of Lawele Granular Asphalt (LGA) with candlenut oil as a modifier in Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA).

The Marshall test was conducted to assess the performance of CPHMA with candlenut oil as a modifier. Furthermore, several variations were examined, including the quantity of the modifier,

duration of heating and compaction, heating temperature, and storage duration, using seven different mixtures and three storage periods. The optimal composition produced a Marshall value of 687.68 kg, which increased with a longer mixing duration and higher heating temperature.

The results showed that the Marshall value met the standards for CPHMA in Indonesia, as well as for VIM, VMA, VFB, and Flow values. The low flow indicated the density of the CPHMA pavement, while the MQ value showed its ability to withstand deformation of 200.13 kg/1 cm. The behavior of Marshall resistance was supported by Fourier transform infrared (FTIR) spectra, which exhibited similar compound groups between asphalt and the leached results of LGA with candlenut oil, indicating the presence of asphalt (binder). There was a slight decrease in the Marshall value after a 7-day duration, showing an increase after a 21-day storage period. Therefore, candlenut oil served as a viable alternative modifier for LGA.

Keywords: Marshall value, Lawele granular asphalt, candlenut oil, asbuton, modifier for Buton asphalt.

References

1. Zalman, Yulianto, B., Setyawan, A. (2017). Assessing the durability of North Buton Asphalt seal with Polymer Modified and Rejuvenation in warm mixture design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 176, 012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/176/1/012034>
2. *Road Work Supply Chain Using Buton Asphalt* (2018). Directorate of Institutional Development and Construction Services Resources. Surabaya.
3. Sumantoro, I. (2021). Imported Oil Asphalt Prices Rise, Who Cares. Available at: <https://www.indonesiana.id/read/151013/harga-aspal-minyak-impor-naik-untuk-peduli#>
4. Pravianto, W. (2013). *Asbuton Technology Collection*. Bandung: Pusjatan.
5. Baisa, H. L. (2022). Interview. Malang.
6. Nugroho, J., Darmadi (2019). Comparison of Asphalt Pavement Design Costs with Design Life for the Cilegon-Cibaliung and Citereup-Tanjung Lesung City Boundary Road Projects. *J. Tek. Sipil - Arsit.*, 18 (2), 54–61.
7. Cunanan, P. (2018). Carbon Intensive Industries - The Industry Sectors that Emit The Most Carbon. *Eco Warrior Princess*. Available at: <https://ecowarriorprincess.net/2018/04/carbon-intensive-industries-industry-sectors-emit-the-most-carbon/>
8. Buton Asphalt Mine. PT. Putindo Bintech. Available at: <http://bai.co.id/about-commitment.php>
9. Affandi, F. (2009). Properties of Hot Asphalt Mixture With Granulated Asbuton. *J. Jalan-Jembatan*, 26 (2), 1–14.
10. Suaryana, N., Widayat, D., Kurniadji, Dachlan, T. A., Yamin, A. (2004). *Hot Mix Asphalt Work Manual*.
11. DPU Dirjen Bina Marga (2006). *Use of Asbuton Book 4 Warm Asphalt Mixture with Granular Asbuton*. Jakarta.
12. Djakfar, L., Wisnumurti, Khamelda, L. (2022). Performance of CPHMA Incorporating Vegetable Oil as Asbuton Solution. *Key Engineering Materials*, 912, 1–16. doi: <https://doi.org/10.4028/p-c85t83>
13. Ketaren, S. (1986). *Food Oils and Fats*. Jakarta: UI-Press.
14. Qi, Z., Abedini, A., Sharbatian, A., Pang, Y., Guerrero, A., Sinton, D. (2018). Asphaltene Deposition during Bitumen Extraction with Natural Gas Condensate and Naphtha. *Energy & Fuels*, 32 (2), 1433–1439. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b03495>
15. Xu, L., Abedini, A., Qi, Z., Kim, M., Guerrero, A., Sinton, D. (2018). Pore-scale analysis of steam-solvent coinjection: azeotropic temperature, dilution and asphaltene deposition. *Fuel*, 220, 151–158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.119>
16. Jia, C., Batterman, S. (2010). A Critical Review of Naphthalene Sources and Exposures Relevant to Indoor and Outdoor Air. In-

- ternational Journal of Environmental Research and Public Health, 7 (7), 2903–2939. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph7072903>
17. Batterman, S., Chin, J.-Y., Jia, C., Godwin, C., Parker, E., Robins, T. et al. (2012). Sources, concentrations, and risks of naphthalene in indoor and outdoor air. *Indoor Air*, 22 (4), 266–278. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00760.x>
 18. Ge, D., You, Z., Chen, S., Liu, C., Gao, J., Lv, S. (2019). The performance of asphalt binder with trichloroethylene: Improving the efficiency of using reclaimed asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 232, 205–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.164>
 19. Kendale, J. C., Valentín, E. M., Woerpel, K. A. (2014). Solvent Effects in the Nucleophilic Substitutions of Tetrahydropyran Acetals Promoted by Trimethylsilyl Trifluoromethanesulfonate: Trichloroethylene as Solvent for Stereoselective C- and O-Glycosylations. *Organic Letters*, 16 (14), 3684–3687. doi: <https://doi.org/10.1021/ol501471c>
 20. Ulanova, T. S., Nurislamova, T. V., Popova, N. A., Mal'tseva, O. A. (2020). Working out a procedure for determining potentially hazardous volatile organic compounds (trichloroethylene and tetrachloroethylene) in ambient air. *Health Risk Analysis*, 4, 113–120. doi: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.13.eng>
 21. Mikhailenko, P., Ataean, P., Baaj, H. (2019). Extraction and recovery of asphalt binder: a literature review. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13 (1), 20–31. doi: <https://doi.org/10.1007/s42947-019-0081-5>
 22. Lopez-Alvarez, B., Villegas-Guzman, P., Peñuela, G. A., Torres-Palma, R. A. (2016). Degradation of a Toxic Mixture of the Pesticides Carbofuran and Iprodione by UV/H₂O₂: Evaluation of Parameters and Implications of the Degradation Pathways on the Synergistic Effects. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2903-2>
 23. Tu, Z., Zhou, Y., Zhou, J., Han, S., Liu, J., Liu, J. et al. (2023). Identification and Risk Assessment of Priority Control Organic Pollutants in Groundwater in the Junggar Basin in Xinjiang, P.R. China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20 (3), 2051. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph20032051>
 24. Oliviero Rossi, C., Caputo, P., De Luca, G., Maiuolo, L., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C. (2018). ¹H-NMR Spectroscopy: A Possible Approach to Advanced Bitumen Characterization for Industrial and Paving Applications. *Applied Sciences*, 8 (2), 229. doi: <https://doi.org/10.3390/app8020229>
 25. Mirazi, N., Movassagh, S.-N., Rafieian-Kopaei, M. (2016). The protective effect of hydro-alcoholic extract of mangrove (*Avicennia marina* L.) leaves on kidney injury induced by carbon tetrachloride in male rats. *Journal of Nephropathology*, 5 (4), 118–122. doi: <https://doi.org/10.15171/jnp.2016.22>
 26. Ganie, S. A., Haq, E., Hamid, A., Qurishi, Y., Mahmood, Z., Zargar, B. A. et al. (2011). Carbon tetrachloride induced kidney and lung tissue damages and antioxidant activities of the aqueous rhizome extract of *Podophyllum hexandrum*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 11 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-17>
 27. Deng, J.-S., Chang, Y.-C., Wen, C.-L., Liao, J.-C., Hou, W.-C., Amagaya, S. et al. (2012). Hepatoprotective effect of the ethanol extract of *Vitis thunbergii* on carbon tetrachloride-induced acute hepatotoxicity in rats through anti-oxidative activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 142 (3), 795–803. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.06.003>
 28. Adekomi, D., Oyesomi, T., Ajao, M., Ojo, O., Onikanni, S. (2013). Impact of liver damage on the histoarchitectural profile of the cerebellar cortex in rats. *African Journal of Cellular Pathology*, 1 (1), 1–8. doi: <https://doi.org/10.5897/ajcpath13.005>
 29. Cetinkaya, A., Kantarceken, B., Bulbuloglu, E., Kurutas, E. B., Ciralik, H., Atli, Y. (2013). The effects of L-carnitine and N-acetylcysteine on carbon tetrachloride induced acute liver damage in rats. *Bratislava Medical Journal*, 114 (12), 682–688. doi: https://doi.org/10.4149/blj_2013_145
 30. Hudianti, M. (2007). Variation Modifier Processing Method on Lasbutag Cold Mix for High Quality Road Hardening.
 31. Gertenbach, D. D. (2002). Solid-Liquid Extraction Technologies for Manufacturing Nutraceuticals. *Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects*. CRC Press, 332–365.
 32. Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga (2016). CPHMA Interim Specifications. Bandung.
 33. Djakfar, L., Wisnumurti, Khamelda, L. (2020). Methods of Making Laboratory Scale CPHMA Specimens. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. Available at: <https://ijettjournal.org/special-issues/ijett-aic102>
 34. Direktorat Jenderal Bina Marga (2016). Spesifikasi Khusus CPHMA 2016. Jakarta.
 35. Marga, B. (1991). Asphalt Mixture Testing Method with the Marshall Tool. SNI 06-2489-1991.
 36. SNI 03-6894-2002. Method for Testing The Asphalt Content of Asphalt Mixtures Using a Centrifuge. Available at: <https://binamarga.pu.go.id/index.php/nspk/detail/sni-03-6894-2002-metode-pengujian-kadar-aspal-dan-campuran-beraspal-dengan-cara-sentrifug>
 37. Laboratorium Rekayasa Jalan ITB (2001). Road Engineering Laboratory Ledger. Bandung: ITB.
 38. Caroles, L., Tumpu, M., Rangan, P. R., Mansyur (2021). Marshall properties of LASBUTAG asphalt mixes with pertalite as a modifier. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 871 (1), 012064. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/871/1/012064>
 39. Nawir, D., Mansur, A. Z. (2021). The Impact of HDPE Plastic Seeds on the Performance of Asphalt Mixtures. *Civil Engineering Journal*, 7 (9), 1569–1581. doi: <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091744>
 40. Sukirman, S. (2016). Hot Mix Asphalt Concrete. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
 41. Suyuti, R. A., Sumabrata, R. J., Hadiwardoyo, S. P., Iskandar, D. (2019). The use of reclaimed asphalt pavement by adding retona asbuton on asphalt concrete wearing course using the warm mix asphalt method. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5112431>
 42. Sastrohamidjojo, H. (2018). Basic Chemistry. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
 43. Redelius, P. (2009). Asphaltenes in Bitumen, What They Are and What They Are Not. *Road Materials and Pavement Design*, 10 (sup1), 25–43. doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690234>
 44. Faradiba, N. (2021). Difference between Organic and Inorganic Compounds. Available at: <https://www.kompas.com/sains/read/2021/12/28/204500623/perbedaan-senyawa-organik-dan-anorganik>
 45. Djakfar, L., Khamelda, L. (2023). Metode Pengujian untuk Pelarut Asbuton Berbasis-Minyak Kemiri. Indonesia.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289054

COMPARISON OF THE MOISTURE RESISTANCE OF A STEEL-SLAG STONE MASTIC ASPHALT MIXTURE MODIFIED WITH Ca(OH)₂ (p. 62–70)

Irawati

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3139-7210>

Ludfi Djakfar

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-9263>

Muhammad Zainul Arifin

Brawijaya University, Malang, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7611-8134>

Stone mastic asphalt is a type of hot mix asphalt that requires much coarse aggregate, so substitution waste aggregate, such as steel slag, will be an economic reason. The problem is that there are still many things that have not been consistent in various studies related to the moisture resistance of steel slag.

The study aimed to compare the effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ on the moisture resistance of the steel-slag stone mastic asphalt mixture and to determine the optimal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dosage for improving the mixture resistance. This study employs basalt aggregate, steel slag from Krakatau Steel Company, 60/70 penetration asphalt, a stabilizing substance made of bamboo fiber, and $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

The Texas boiling and the static immersed methods are used to test the adhesion on a loose mixture. The retained Marshall stability and indirect tensile strength are used to test the adhesion on the compacted mix.

Testing result of Krakatau steel slag shows that steel slag has a much higher Fe_2O_3 content than steel slag in general and has low water absorption; a poor affinity for asphalt results from this. The result of the Texas boiling method showed a decrease in the percentage adhesion value between steel slag and asphalt compared to natural basalt aggregates and asphalt. Marshall Stability Ratio and Tensile Strength Ratio increased after mixing the asphalt with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Marshall test results show decreased stability in mixtures with steel slag substitution. Adding $\text{Ca}(\text{OH})_2$ increased stability and resistance to moisture significantly. This indicated that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ enhances moisture resistance on stone mastic asphalt with modified steel slag. Stability, Marshall stability ratio, indirect tensile strength ratio, particle loss, and Texas boiling test significantly improved with adding $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Keywords: steel slag, stone mastic asphalt, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, moisture resistance, Marshall stability.

References

- Liu, J., Wang, Z., Li, M., Wang, X., Wang, Z., Zhang, T. (2022). Microwave heating uniformity, road performance and internal void characteristics of steel slag asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 353, 129155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129155>
- Qazizadeh, M. J., Farhad, H., Kavussi, A., Sadeghi, A. (2018). Evaluating the fatigue behavior of asphalt mixtures containing electric arc furnace and basic oxygen furnace slags using surface free energy estimation. *Journal of Cleaner Production*, 188, 355–361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.035>
- Chien, H.-T., Chang, J.-R., Hsu, H.-M. (2023). Determining the content of steel furnace slag in asphalt concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02399>
- Fakhri, M., shahryari, E. (2021). The effects of nano zinc oxide (ZnO) and nano reduced graphene oxide (RGO) on moisture susceptibility property of stone mastic asphalt (SMA). *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00655. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00655>
- Gan, Y., Li, C., Ke, W., Deng, Q., Yu, T. (2022). Study on pavement performance of steel slag asphalt mixture based on surface treatment. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e01131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01131>
- Liapis, I., Likoydis, S. (2012). Use of Electric Arc Furnace Slag in Thin Skid-Resistant Surfacing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 907–918. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1068>
- Mladenović, A., Turk, J., Kovač, J., Mauko, A., Cotič, Z. (2015). Environmental evaluation of two scenarios for the selection of materials for asphalt wearing courses. *Journal of Cleaner Production*, 87, 683–691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.013>
- Liu, J., Zhang, T., Guo, H., Wang, Z., Wang, X. (2022). Evaluation of self-healing properties of asphalt mixture containing steel slag under microwave heating: Mechanical, thermal transfer and voids microstructural characteristics. *Journal of Cleaner Production*, 342, 130932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130932>
- Caro, S., Masad, E., Bhasin, A., Little, D. N. (2008). Moisture susceptibility of asphalt mixtures, Part 1: mechanisms. *International Journal of Pavement Engineering*, 9 (2), 81–98. doi: <https://doi.org/10.1080/10298430701792128>
- Khodary, F., Abd El-sadek, M. S., El-Sheshtawy, H. S. (2014). Mechanical Properties Of Modified Asphalt Concrete Mixtures Using $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Nanoparticles. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 5 (5), 61–68. Available at: https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_05_05_006
- Kumlai, S., Jitsangiam, P., Nikraz, H. (2022). Assessments of moisture damage resistance of asphalt concrete mixtures and asphalt mastic with various mineral fillers. *Transportation Engineering*, 7, 100106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100106>
- Luo, W., Huang, S., Liu, Y., Peng, H., Ye, Y. (2022). Three-dimensional mesostructure model of coupled electromagnetic and heat transfer for microwave heating on steel slag asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 330, 127235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127235>
- Lou, B., Sha, A., Li, Y., Wang, W., Liu, Z., Jiang, W., Cui, X. (2020). Effect of metallic-waste aggregates on microwave self-healing performances of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 246, 118510. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118510>
- Terrel, R. L., Shute, J. W. (1989). Summary Report on WATER SENSITIVITY. S R-OSU-A-003A-89-3. Available at: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/shrp/shrp-A-IR-89-003/SHRP-AIR-003.pdf>
- Bikerman, J. J. (1967). Causes of poor adhesion: weak boundary layers. *Industrial & Engineering Chemistry*, 59 (9), 40–44. doi: <https://doi.org/10.1021/ie51403a010>
- Pstrowska, K., Gunka, V., Sidun, I., Demchuk, Y., Vytrykush, N., Kułażyński, M., Bratychak, M. (2022). Adhesion in Bitumen/Aggregate System: Adhesion Mechanism and Test Methods. *Coatings*, 12 (12), 1934. doi: <https://doi.org/10.3390/coatings12121934>
- Moura, B. L. R. de, Teixeira, J. E. S. L., Simão, R. A., Khedmati, M., Kim, Y.-R., Pires, P. J. M. (2020). Adhesion between steel slag aggregates and bituminous binder based on surface characteristics and mixture moisture resistance. *Construction and Building Materials*, 264, 120685. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120685>
- Phan, T. M., Park, D.-W., Le, T. H. M. (2018). Crack healing performance of hot mix asphalt containing steel slag by microwaves heating. *Construction and Building Materials*, 180, 503–511. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.278>
- Zhang, S., Guo, R., Yan, F., Dong, R., Kong, C., Li, J. (2023). Analysis of Asphalt Mixtures Modified with Steel Slag Surface Texture Using 3D Scanning Technology. *Materials*, 16 (8), 3256. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16083256>
- Desvita, M. D., Djakfar, L., Wisnumurti, W., Prasetya, M. S., Febriansyah, M. C. (2023). The role of addition of calcium alginate microcapsules on permanent deformation of AC-WC natural asphalt Buton stone in Indonesia. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (123)), 88–95. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280067>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292252

IDENTIFYING APPLICABILITY VISCOELASTIC SYSTEMS IN THE CONTEXT OF IMPROVING WELL CASING PROCESSE (p. 71–79)

Arman Kabdushev

M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3579-9054>

Dinara Delikesheva

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5442-4763>

Darkhan Korgasbekov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9135-4848>

Bauyrzhan Manapbayev

M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9140-178X>

Marzhan Kalmakhanova

M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8635-463X>

The object of research in this study is viscoelastic systems used as spacer systems in well casing during drilling. Polymer network-metal ion systems display distinctive properties, facilitating effective well coverage through their normal stresses.

The primary problem addressed in this research was optimizing viscoelastic system composition for well casing. Researchers sought the ideal sodium dichromate concentration to maximize viscosity in polyacrylamide-based spacer fluids. This optimization is crucial for enhancing casing cementing quality, especially in challenging geological conditions.

Utilizing a precise HAAKE MARS III rheometer, various tests, including shear, oscillatory, frequency, creep, and recovery tests, were performed to assess viscoelastic system rheology. Obtained results of optimal deformation interval for a solution with sodium bichromate is 40 Pa and aluminum sulfate, the yield strength was equal to 110 Pa.

This research optimized cross-linker concentration, increasing spacer system viscosity. This enhancement improves well cementing efficiency and allows for operation in challenging geological conditions. The precise rheometer unveiled previously unexplored rheological characteristics.

The optimized viscoelastic spacer fluid is invaluable in well casing, especially in challenging geological settings. This research guides the design of process fluids, enhancing casing cementing quality, and improving drilling efficiency and safety. Engineers and researchers can leverage the rheological data for informed decisions and better field performance.

Keywords: oil well cement, cement composite materials, basalt fiber, strength, deformation characteristics.

References

- Kabdushev, A., Delikesheva, D., Korgasbekov, D., Manapbayev, B., Kalmakhanova, M. (2023). Identifying the influence of basalt fiber reinforcement on the deformation and strength characteristics of cement stone. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (125)), 58–65. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288551>
- Doan, A., Holley, A., Kellum, M., Dighe, S., Arceneaux, C., Conrad, K. (2018). Application of an Innovative Spacer System Designed for Optimal Performance in HTHP Wells. Paper presented at the IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition. doi: <https://doi.org/10.2118/189682-ms>
- Brandl, A., Doan, A. A., Alegria, A. E. (2017). Advances in Spacer Technologies for Improved Zonal Isolation Results in Challenging Deep Deviated HPHT Wells Containing Heavy Oil Based Muds. Paper presented at the SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference. doi: <https://doi.org/10.2118/187658-ms>
- Gumerova, G. R., Yarkeeva, N. R. (2017). Technology of application of crosslinked polymeric compositions. *Oil and Gas Business*, 2, 63–79. doi: <https://doi.org/10.17122/ogbus-2017-2-63-79>
- Docherty, K. E. et al. (2016). Mud Removal – Clearing the Way for Effective Cementing. *Oilfield Review*, 28 (1), 20–25.
- Elochukwu, H., Samansu Douglas, E., Chikere, A. O. (2022). Evaluation of methyl ester sulphonate spacer fluid additive for efficient wellbore clean-up. *Energy Geoscience*, 3 (1), 73–79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engeos.2021.11.002>
- Kędzierski, M., Rzepka, M., Kremieniewski, M. (2019). The effects of cement slurry contamination with the drilling mud and spacer fluid on its setting. *Nafta-Gaz*, 75 (11), 691–699. doi: <https://doi.org/10.18668/ng.2019.11.04>
- Li, J., Li, Z., Tang, S., Sun, J., Wu, H., Su, D., Chen, W. (2020). Mechanism for the promotional effect of a novel solidifiable spacer fluid system on the cementation quality of cement sheath/formation interface. *Energy Science & Engineering*, 8 (12), 4212–4221. doi: <https://doi.org/10.1002/ese3.805>
- Li, L. et al. (2016). A novel spacer system to prevent lost circulation in cementing applications. *Proceedings of the 2016 AADE Fluids Technical Conference and Exhibition*. Houston.
- Ghousoub, Y. E., Zerball, M., Fares, H. M., Ankner, J. F., von Klitzing, R., Schlenoff, J. B. (2018). Ion distribution in dry polyelectrolyte multilayers: a neutron reflectometry study. *Soft Matter*, 14 (9), 1699–1708. doi: <https://doi.org/10.1039/c7sm02461d>
- Li, L., Alegria, A., Doan, A. A., Kellum, M. G., Castaneda, R. (2016). Application of a Novel Cement Spacer with Biodegradable Polymer to Improve Zonal Isolation in HTHP Wells. Paper presented at the Offshore Technology Conference. doi: <https://doi.org/10.4043/27048-ms>
- Ramos, V., Doan, A., Ekwue, A.-M., Kellum, M. (2020). An Innovative Spacer System Designed with Biodegradable Polymer and Loss Circulation Material to Aid in Formation Damage Control. Paper presented at the SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control. doi: <https://doi.org/10.2118/199242-ms>
- Quintero, L., Passanha, W. D., Aubry, E., Poitrenaud, H. (2015). Advanced Microemulsion Cleaner Fluid Applications in Deepwater Wells. Paper presented at the OTC Brasil. doi: <https://doi.org/10.4043/26344-ms>
- Curbelo, F. D. S., Garnica, A. I. C., Araújo, E. A., Paiva, E. M., Cabral, A. G., Araújo, E. A., Freitas, J. C. O. (2018). Vegetable oil-based preflush fluid in well cementing. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 170, 392–399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.06.061>
- Kremieniewski, M., Kędzierski, M., Błaż, S. (2021). Increasing the Efficiency of Sealing the Borehole in Terms of Spacer Pumping Time. *Energies*, 14 (20), 6702. doi: <https://doi.org/10.3390/en14206702>
- Loginova, M. Ye., Agzamov, F. A., Ismakov, R. A. (2022). Investigation of viscoelastic properties of buffer fluids to improve the quality of well anchoring. *Prom. Proizvod. Ispol'z. Elastomerov*, 3-4, 39–48. doi: <https://doi.org/10.24412/2071-8268-2022-3-4-39-48>
- Pernites, R., Brady, J., Padilla, F., Clark, J., McNeilly, C., Iqbal, W. et al. (2019). Unconventional Advanced High Performance Micromaterial for Enhancing Drilling Mud Cleaning Performance of Spacer Fluids in Horizontal Wells: From Laboratory Development to Field Applications. *Proceedings of the 7th Unconventional Resources Technology Conference*. doi: <https://doi.org/10.15530/urtec-2019-60>
- Fang, E., Li, H., Zhang, H., Chen, X., Luo, Y., Gu, J. (2020). Development and performance evaluation of a low temperature low density solidifiable spacer fluid. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 37 (1), 86–92. Available at: <http://www.zjywyjy.com.cn/en/article/doi/10.3969/j.issn.1001-5620.2020.01.014>
- Tabatabaee Moradi, S. S., Nikolaev, N., Nikolaeva, T. (2020). Development of spacer fluids and cement slurries compositions for lining of wells at high temperatures. *Journal of Mining Institute*, 242, 174. doi: <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.2.174>

20. Sarap, G. D., Sivanandan, M., Patil, S., Deshpande, A. P. (2009). The Use of High-Performance Spacers for Zonal Isolation in High-Temperature High-Pressure Wells. All Days. doi: <https://doi.org/10.2118/124275-ms>
21. Théron, B. E., Bodin, D., Fleming, J. (2002). Optimization of Spacer Rheology Using Neural Network Technology. All Days. doi: <https://doi.org/10.2118/74498-ms>
22. Cao, C., Pu, X., Wang, G., Zhao, Z. (2020). True rheological behaviours of spacer fluid with consideration of wall slip effect. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, 23 (1), 30. doi: <https://doi.org/10.1504/ijogct.2020.104969>
23. Brand, F., Peixinho, J., Nouar, C. (2001). A Quantitative Investigation of the Laminar-to-Turbulent Transition: Application to Efficient Mud Cleaning. All Days. doi: <https://doi.org/10.2118/71375-ms>
24. Koptiaeva, E. I., Karazeev, D. V., Strizhnev, V. A., Vezhnin, S. A., Telin, A. G. (2014). New cross-linked polymer compositions at the basis of partially hydrolyzed PAA for water shut-off and conformance control. Oil. Gas. Innovations, 10 (189), 45–49.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293873
DETERMINING THE POSSIBILITY OF USING COLD PLASMA FOR THE OXIDATION OF ATMOSPHERIC NITROGEN INTO NITROGEN OXIDES AND THE INFLUENCE OF ACTIVATING SUBSTANCES ON THE PROCESS (p. 80–87)

Viktor Slobodyanyuk

PrJSC «PlasmaTec», Vinnytsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7428-1703>

Andrii Kuzmenko

PrJSC «PlasmaTec», Vinnytsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3325-9661>

Serhii Kudriavtsev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2452-2220>

Olexii Tselishchev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4154-7734>

Maryna Loria

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5589-8351>

The process of oxidation of molecular nitrogen by high-energy oxidants, such as nitric acid vapor, products of the thermolysis of nitric acid, and hydrogen peroxide, in a cold plasma stream was studied. To implement the process of obtaining nitric acid from atmospheric air using reproductive technology (Zakharov's method), the design of a reactor for obtaining nitrogen oxides by direct oxidation of nitrogen in a cold plasma stream is proposed. At the same time, it was proposed to use the effect of obtaining nitrogen oxides in an air mixture with nitric acid vapors (the Karavaev effect) and during the thermal decomposition of hydrogen peroxide with atmospheric nitrogen (the Nagiev effect). The effectiveness of the use of cold plasma for the oxidation of atmospheric nitrogen was established, which is confirmed by the obtained dependences. It is shown that the

amount of nitrogen oxides that are formed depends on the efficiency of the formation of a stable flow of OH- radicals in the plasma flow. It was also found that the amount of nitrogen oxides depends on the parameters of the plasma generator, the composition of the liquid used in the burner, and the amount of air supplied.

The effect of nitric acid, hydrogen peroxide, and alcohols as activators of atmospheric nitrogen oxidation in a high-energy field was revealed. It was determined that when comparing three activator substances, which are able to form OH- radicals during their decomposition, it is hydrogen peroxide that is the most promising activator substance for carrying out the process of atmospheric nitrogen oxidation in the plasma flow.

The amount of nitrogen oxides formed in the cold plasma region is almost independent of the flow rate of the reaction mixture through the reactor and remains almost unchanged in a wide range of changes in flow rates from 30 to 3000 l/h.

Keywords: molecular nitrogen, direct oxidation, cold plasma, nitrogen oxides, nitric acid, plasma torch, activator substance, hydrogen peroxide.

References

1. Nagiev, T. M. (1985). Sopryazhennyye reaktsii okisleniya perekis'yu vodovoda. Uspehi himii, 54 (10), 1654–1673.
2. Nagiev, M. F., Nagiev, T. M., Aslanov, F. A., Bayramov, V. M., Iskenderov, R. A. (1973). Svyazyvanie azota v vide ego zakisi. DAN SSSR, 213 (5), 1096–1098.
3. Karavaev, M. M., Matyshak, V. A. (1998). Geterogenno-kataliticheskoe okislenie azota parami azotnoy kisloty. Himicheskaya promyshlennost', 9, 537–542.
4. Zaharov, I. I. (2012). Kvantovo-himicheskoe issledovanie vozmozhnosti foto-himicheskoy aktivatsii molekulyarnogo azota. Teoreticheskaya i eksperimental'naya himiya, 48 (3), 191–195.
5. Zakharov, I. I., Ijagbuji, A. A., Tselishev, A. B. et al. (2014). Ecologically pure technology for the direct oxidation of molecular nitrogen to nitric acid. Advances in Quantum Systems Research, 253–272.
6. Crowley, J. N., Carl, S. A. (1997). OH Formation in the Photoexcitation of NO₂ beyond the Dissociation Threshold in the Presence of Water Vapor. The Journal of Physical Chemistry A, 101 (23), 4178–4184. doi: <https://doi.org/10.1021/jp970319e>
7. Tselishchev, A., Loria, M., Boychenko, S., Kudryavtsev, S., Lanekij, V. (2020). Research of change in fraction composition of vehicle gasoline in the modification of its biodethanol in the cavitation field. EUREKA: Physics and Engineering, 5, 12–20. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001399>
8. Zakharov, I. I. (2012). Quantum Chemistry of Nitric Acid: Electronic Structure and Reactivity of its Decomposition Products. Advances in Chemistry Research, 16, 1–51.
9. Minaev, B. F., Zakharov, I. I., Zakharova, O. I., Tselishev, A. B., Filonchuk, A. V., Shevchenko, A. V. (2010). Photochemical Water Decomposition in the Troposphere: DFT Study with a Symmetrized Kohn–Sham Formalism. ChemPhysChem, 11 (18), 4028–4034. doi: <https://doi.org/10.1002/cphc.201000440>
10. Zaharov, I. I., Loria, M. G., Tselishchev, A. B. (2013). Struktura intermedijata NOO-N=N-OON pri aktivatsii N₂ perekis'yu vodoroda. Kvantovo-himicheskije DFT rascheti. Zhurnal strukturnoy himii, 54 (1), 17–24.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292774

СИНТЕЗ НАНОВУГЛЕЦЮ В ПРОЦЕСІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ПРОБОЮ ВУГЛЕВОДНІВ (с. 6–16)

Н. І. Кускова, А. П. Малошевська, М. С. Присташ, С. Ф. Присташ, Ю. О. Адамчук

Об'єкт дослідження – механізми синтезу нановуглецевих структур в процесі електричного високовольтного пробою вуглеводнів.

Проблема, що вирішується, – цілеспрямований синтез різних видів нановуглецю при малих втратах сировини.

Встановлено механізми утворення нановуглецю в процесі високовольтного електричного пробою вуглеводнів. Показано, що високовольтний пробій призводить до каскаду хімічних перетворень. Внаслідок перетворень утворюються нижчі газоподібні вуглеводні завдяки деструкції молекул і вищі – в результаті полімеризації, а в результаті дегідроциклізації та полімеризації за участю металевих каталізаторів – різноманітні вуглецеві наноструктури. Показано можливість цілеспрямованого синтезу фулереноподібних структур, нанотрубок діаметром від 10 до 50 нм, нановолокон та плівок. Експериментальні дослідження підтвердили, що якісний та кількісний склад нановуглецю можна варіювати в широкому діапазоні. Зі збільшенням кількості атомів карбону або кількості С–С зв'язків в молекулах сировини за інших рівних умов зростає практичний вихід твердого нановуглецю. Визначено, що синтез структурованого нановуглецю із суміші вуглеводневих газів, що утворюються в результаті високовольтного пробою рідких вуглеводнів, активно відбувається на нікель-хромовій каталітичній поверхні. Збільшення площі каталітичної поверхні осадження призводить до збільшення виходу нановуглецю. Вивчення здатності отриманих зразків нановуглецю до поглинання електромагнітного випромінювання підтвердило перспективність методу високовольтного пробою вуглеводнів для синтезу матеріалів, що ослаблюють електромагнітне випромінювання на частоті від 25 до 38 ГГц. Найбільше ослаблення спостерігається для зразків, що складаються переважно з вуглецевих нанотрубок та наночастинок нікелю.

Ключові слова: синтез нановуглецю, високовольтний пробій вуглеводнів, масовий вихід продукту, електромагнітні властивості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292182

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВОСКІВ З ОЛІЄЖИРОВИХ ВІДХОДІВ (с. 17–22)

Д. І. Савельєв, О. І. Петрова, П. А. Ковальов, О. В. Черкашин, Н. П. Шевчук, Н. В. Маркова, А. В. Зюзько, М. М. Підгородецький, А. М. Розуменко, О. А. Івашук

Об'єктом дослідження є вилучення восків з відходу олієжирової галузі – відпрацьованого перліту.

В результаті вінтеризації олій утворюється значна кількість відпрацьованих фільтрувальних порошків, утилізація яких становить небезпеку для навколишнього середовища. При цьому відходи вінтеризації містять значну кількість олій та воску, які є важливими складовими багатьох видів продукції. Вилучення олій та воску передбачає використання летких, пожежонебезпечних розчинників. Актуальним завданням є розробка нових безпечних та ефективних технологій отримання олій та восків з відходів вінтеризації.

Досліджено технологію вилучення восків з відпрацьованого перліту, отриманого в результаті вінтеризації соняшникової олії, що передбачає обробку перліту розчином натрій хлориду.

Використано перліт за СОУ 15.4-37-210:2004 (CAS Number 93763-70-3) з показниками: масова частка жиру – 20,1 %, пероксидне число – 19,5 ½ О ммоль/кг, кислотне число – 3,5 мг КОН/г. Температура відстоювання маси після обробки натрій хлоридом – 20 °С, тривалість – 10 год.

Визначено наступні раціональні умови обробки перліту з використанням натрій хлориду: концентрація сухого натрій хлориду (до маси перліту) – 35,0 %, тривалість кип'ятіння маси – 30 хв. За даних умов експериментальне значення числа омилення отриманого воску склало 120,5 мг КОН/г. Показники якості воску: температура плавлення 71,5 °С, кислотне число 1,6 мг КОН/г, масова частка вологи 0,63 %.

Отримані результати дозволяють отримувати воски високої якості з відходів олієжирової галузі з використанням безпечної та доступної речовини (натрій хлориду). Це дасть можливість уникнути необхідності утилізації відходів, підвищить рентабельність олієжирових підприємств за рахунок отримання цінних продуктів з відходів виробництва.

Ключові слова: відпрацьований перліт, відходи вінтеризації олій, число омилення воску, фільтрувальний порошок.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292527

ОДЕРЖАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ СМОЛ СУСПЕНЗІЙНОЮ ОЛІГОМЕРИЗАЦІЄЮ ФРАКЦІЇ С9 ПІРОЛІЗУ БЕНЗИНУ ІНІЦІЙОВАНОЇ АМІНОПЕРОКСИДАМИ (с. 23–30)

Roman Subtelnyy, Yevhenii Zhuravskiy, Bohdan Dzinyak

Об'єкт дослідження – одержання С9 вуглеводневих смол олігомеризацією побічних продуктів нафтопереробки.

У технологіях вуглеводневих смол шляхом вільнорадикальної олігомеризації існує недолік у використанні високих температур та значної тривалості реакції. Одержані продукти мають темний колір, що обмежує їх використання у лакофарбових матеріалах.

Вивчено технологію вуглеводневих смол, яка полягає у суспензійній олігомеризації вуглеводнів фракції С9 у водному середовищі, при низьких температурах і перемішуванні.

Як ініціатори використовували N-заміщені аміноперокси, які характеризуються низькою температурою використання. Як сировину використовували фракції С9 рідких продуктів піролізу бензину з вмістом ненасичених сполук – 54,7 %.

Встановлено оптимальні умови: температура – 364 К, тривалість – 180 хв, $Re=10120$, концентрація ініціатора 0,064 моль/л, частка фракції С9 у реакційній суміші – 25 %. За цих умов одержується світла вуглеводнева смола з показником кольору 20 мг І2/100 мл і температурою розм'якшення – 352 К. Вихід продукту становить 36,0 %.

Застосування амінопероксидних ініціаторів дозволяє проводити суспензійну олігомеризацію вуглеводневої фракції С9 за невисоких температур (303–353 К) і впродовж короткого часу реакції (180 хв). Така технологія олігомеризації дозволяє легко відводити надлишкове тепло і підтримувати ізотермічні умови у зоні реакції. Це запобігає розвитку побічних реакцій окиснення, що спричиняють потемніння продукту.

Результати досліджень дають можливість удосконалити процес олігомеризації вуглеводневої фракції з використанням нових ініціаторів та отримати вуглеводневі смоли світлого кольору. Це дозволить знизити енергетичні затрати на виробництво та покращити характеристики вуглеводневих смол.

Ключові слова: С9 вуглеводнева смола, суспензійна олігомеризація, N-заміщений амінопероксид, світлий колір.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286991

ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАБУХАЮЧОГО ГРУНТУ, СТАБІЛІЗОВАНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ЛЕТЮЧОЇ ЗОЛИ І ВІДПРАЦЬОВАНОГО ФОРМУВАЛЬНОГО ПІСКУ (с. 31–40)

Anita Setyowati Srie Gunarti, Yulvi Zaika, As'ad Munawir, Eko Andi Suryo, Harimurti

Набухаючий ґрунт викликає пошкодження дорожніх конструкцій у вигляді тріщин або деформацій через зміну вологості. Одним із способів вирішення цієї проблеми є стабілізація ґрунту з використанням присадних матеріалів. Спеціальні добавки можуть бути дорожними. Отже, для вирішення проблеми набухаючого ґрунту в якості земляного полотна при будівництві доріг необхідно використовувати присадні матеріали на основі промислових відходів, як один з методів утилізації відходів. Метою дослідження є аналіз впливу додавання двох типів промислових відходів, а саме летючої золи (ЛЗ) та відпрацьованого формувального піску (ВФП), на мікроструктуру, фізичні та механічні властивості набухаючого ґрунту. Метод стабілізації набухаючого ґрунту включає змішування ґрунту з 9 % ЛЗ та різною кількістю ВФП (0 %, 7,5 %, 10 %, 15 %) у розрахунку на суху масу ґрунту. Дослідження мікроструктури включає кількісну дифракцію рентгенівських променів та скануючу електронну мікроскопію. Вивчення фізичних властивостей включає визначення питомої ваги, меж Аттерберга та ситовий аналіз. Проведено механічні випробування, а саме випробування на ущільнення, визначення несучої здатності ґрунту каліфорнійським методом, випробування на набухання і тривісні випробування. ґрунт, стабілізований з використанням 9 % ЛЗ та 15 % ВФП, демонструє значне збільшення кута внутрішнього тертя і зчеплення, а також зменшення набухання на 67,18 % порівняно з початковим набуханням ґрунту. Додавання 9 % летючої золи та 15 % ВФП у набухаючий ґрунт знижує вміст монтморилоніту. Природні набухаючі ґрунти мають дуже низький показник СBR (каліфорнійське число несучої здатності) при замочуванні, що становить 0,94 %, в той час як стабілізовані ґрунти з вмістом 9 % ЛЗ та 15 % ВФП мають показник СBR при замочуванні, що дорівнює 6,46 %. Це означає, що СBR при замочуванні стабілізованого ґрунту відповідає мінімальному СBR, необхідному для будівництва земляного полотна дороги. Суміш 9 % ЛЗ та 15 % ВФП в набухаючому ґрунті може бути рекомендована в якості матеріалу для стабілізації набухаючого ґрунту завдяки здатності до поліпшення мікроструктури та механічних властивостей.

Ключові слова: набухаючий ґрунт, стабілізація, ВФП, ЛЗ, мікроструктура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290234

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНОГО ПОЛІПШЕННЯ ГРУНТУ НА МІКРОСТРУКТУРУ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАБУХАЮЧОГО ГРУНТУ (с. 41–50)

Lydia Darmiyanti, As'ad Munawir, Arief Rachmansyah, Yulvi Zaika, Eko Andi Suryo

Глина являє собою ґрунт з низькою проникністю. Глина вважається проблемним ґрунтом, крім торф'яного ґрунту. Основна проблема глини полягає у її мінералогії. Набухаючі глинисті ґрунти містять мінерали каолінит, ілліт і монтморилоніт. Монтморилоніт має слабкі міжшарові зв'язки. Ці слабкі зв'язки роблять ґрунт легкопроникним, зокрема для води. Вода, що потрапляє на набухаючий ґрунт, зв'язується з ним і викликає набухання.

Проведено дослідження щодо поліпшення набухаючого ґрунту. Одне з них – електрокінетичне. Набухаючий ґрунт з Караванга, Індонезія, відноситься до числа ґрунтів з високим показником набухання. Це обумовлено вмістом монтморилоніту. Виконано поліпшення набухаючого ґрунту з Караванга шляхом подачі декількох сольових розчинів з різною напругою. Прикладена напруга перемістить розчин від катода до анода і заповнить глинисті мінерали. Застосовано чотири варіанти напруги з однаковим часом електрокінетичного впливу.

Мінералогія ґрунту до та після електрокінетичного поліпшення зазнала змін. Зміни можна побачити при проведенні SEM та XRF тестування. Поліпшення ґрунту призвело до зміни його фізичних властивостей з глини з високою пластичністю на глину з низькою пластичністю. Хімічні елементи з сольового розчину затримуються в монтморилоніті, що призводить до позитивних змін в мінералогії та фізико-механічних властивостях ґрунту. Механічні властивості можна побачити у зниженні значення С та збільшенні кута тертя ґрунту після електрокінетичного поліпшення. Після електрокінетичного поліпшення з використанням хлориду кальцію найменше значення зв'язності ґрунту склало 12,356 кг/см² при напрузі 12 В. В результаті електрокінетичного поліпшення з діоксидом кальцію найменше значення зв'язності при напрузі 12 В становить 19,22 кг/см². У розчині сульфату барію найменша зв'язність ґрунту при 15 В становить 12,16 кг/см². Величина набухання ґрунту після поліпшення за допомогою хлориду кальцію знизилася до 0,008 % з 0,027 %. Результати досліджень з використанням хлориду кальцію при напрузі 12 В дають оптимізовані результати щодо поліпшення ґрунту за допомогою електрокінетики.

Ключові слова: набухаючий ґрунт, електрокінетика, сольовий розчин, набухання, міцність на зсув, монтморилоніт, поліпшення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292080**ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТА ЛАВЕЛЕ (LGA) У СУМІШІ АСБУТОНУ ГАРЯЧОГО ПРИГОТУВАННЯ ДЛЯ ХОЛОДНОГО УКЛАДАННЯ (СРНМА) З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКАТОРА З ОЛІЇ ПЛОДІВ СВІЧКОВОГО ДЕРЕВА (с. 51–61)****Lila Khamelda, Ludfi Djakfar, Wisnumurti**

Асфальтогранулат Лавеле (LGA) є асбуктонним продуктом, що виробляється на території Лавеле в провінції Центральний Сулавесі, Індонезія. Незважаючи на великий потенціал, LGA не використовується повною мірою. Однією з проблем є необхідність в модифікаторі для вилучення асфальту з мінералів, що містяться в LGA. Потенційним модифікатором, який може бути використаний з LGA у суміші асбуктона гарячого приготування для холодного укладання (СРНМА) завдяки схожій полярності, є олія плодів свічкового дерева. Таким чином, метою даного дослідження є оцінка ефективності асфальтогрануляту Лавеле (LGA) з олією плодів свічкового дерева в якості модифікатора в суміші асбуктона гарячого приготування для холодного укладання (СРНМА).

Для оцінки ефективності СРНМА з олією плодів свічкового дерева в якості модифікатора було проведено випробування Маршалла. Крім того, було вивчено кілька варіантів, включаючи кількість модифікатора, тривалість нагрівання та ущільнення, температуру нагрівання та тривалість зберігання, використовуючи сім різних сумішей та три терміни зберігання. Оптимальний склад дозволив отримати значення Маршалла 687,68 кг, що зросло при збільшенні тривалості змішування і температури нагрівання.

Результати показали, що значення Маршалла відповідає стандартам для СРНМА в Індонезії, а також для значень VIM, VMA, VFB та розливу. Низький розлив вказував на щільність покриття СРНМА, тоді як значення MQ показувало його здатність витримувати деформацію 200,13 кг/1 см. Стійкість за Маршаллом підтверджується інфрачервоними спектрами з перетворенням Фур'є (FTIR), які показали подібні групи сполук між асфальтом і результатами вилуговування LGA з олією плодів свічкового дерева, що вказує на наявність асфальту (сполучного). Після 7-денного терміну спостерігалось невелике зниження значення Маршалла, яке збільшилося після 21-денного періоду зберігання. Таким чином, олія плодів свічкового дерева є доцільним альтернативним модифікатором для LGA.

Ключові слова: значення Маршалла, асфальтогранулят Лавеле, олія плодів свічкового дерева, асбуктон, модифікатор для асбуктону.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.289054**ПОРІВНЯННЯ ВОЛОГОСТІЙКОСТІ СТАЛЕЛИВАРНОЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ МАСТИКИ, МОДИФІКОВОЇ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (с. 62–70)****Irawati, Ludfi Djakfar, Muhammad Zainul Arifin**

Асфальтобетонна мастика — це тип гарячої асфальтобетонної суміші, який вимагає великої кількості грубого заповнювача, тому заміна відходів заповнювача, наприклад сталевих шлаку, буде економічною причиною. Проблема полягає в тому, що все ще є багато речей, які не були послідовними в різних дослідженнях, пов'язаних із вологостійкістю сталевих шлаку.

Метою дослідження було порівняти вплив $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на вологостійкість сталеливарного шлаку та визначити оптимальне дозування $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для підвищення стійкості суміші. У цьому дослідженні використовується базальтовий заповнювач, сталевий шлак від Krakatau Steel Company, асфальт з проникненням 60/70, стабілізуюча речовина з бамбукового волокна та $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Техаський метод кип'ятіння та статичний метод занурення використовуються для перевірки адгезії на силючій суміші. Збережена стабільність за Маршаллом і непряма міцність на розрив використовуються для перевірки адгезії на ущільненій суміші.

Результати випробувань сталевих шлаку Кракатау показують, що сталевий шлак має багато більший вміст Fe_2O_3 , ніж сталевий шлак загалом, і має низьке водопоглинання; це призводить до поганої спорідненості з асфальтом. Результати методу техаського кип'ятіння показали зниження відсотка адгезії між сталевим шлаком і асфальтом порівняно з природними базальтовими заповнювачами та асфальтом. Коефіцієнт стабільності за Маршаллом і коефіцієнт міцності на розрив збільшилися після змішування асфальту з $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Результати тесту Маршалла показують зниження стабільності в сумішах із заміною сталевих шлаку. Додавання $\text{Ca}(\text{OH})_2$ значно підвищило стабільність і стійкість до вологи. Це вказує на те, що $\text{Ca}(\text{OH})_2$ підвищує вологостійкість асфальтобетонної мастики з модифікованим сталевим шлаком. Стабільність, коефіцієнт стабільності за Маршаллом, непрямий коефіцієнт міцності на розрив, втрати частинок і техаський тест на кипіння значно покращилися з додаванням $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Ключові слова: сталеливарний шлак, асфальтобетонна мастика, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, вологостійкість, стійкість за Маршаллом.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292252**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАСТОСУВАНOSTІ В'ЯЗКОПРУЖНИХ СИСТЕМ В КОНТЕКСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБСАДКИ СВЕРДЛОВИНИ (с. 71–79)****Arman Kابدushev, Dinara Delikesheva, Darkhan Korgasbekov, Bauyrzhan Manapbayev, Marzhan Kalmakhanova**

Об'єктом дослідження в даній роботі є в'язкопружні системи, які використовуються як розпірні системи в обсадних трубах свердловин під час буріння. Полімерна сітка-метал-іонні системи демонструють відмінні властивості, сприяючи ефективному охопленню свердловин через їхні нормальні напруги.

Основною проблемою, яка розглядалася в цьому дослідженні, була оптимізація складу в'язкопружної системи для обсадної труби свердловини. Дослідники шукали ідеальну концентрацію біхромату натрію для максимізації в'язкості прокладочних рідин на основі поліакриламідів. Ця оптимізація має вирішальне значення для підвищення якості цементування обсадної труби, особливо в складних геологічних умовах.

Використовуючи точний реометр HAAKE MARS III, для оцінки реології в'язкопружної системи було проведено різні випробування, включаючи випробування на зсув, коливання, частоту, повзучість і відновлення. Отримано результати оптимального інтервалу деформації для розчину з біхроматом натрію 40 Па та сульфатом алюмінію межа текучості дорівнювала 110 Па.

Це дослідження оптимізувало концентрацію крос-лінкера, підвищуючи в'язкість спейсерної системи. Це вдосконалення покращує ефективність цементування свердловин і дозволяє працювати в складних геологічних умовах. Точний реометр відкрив раніше не досліджені реологічні характеристики.

Оптимізована в'язкопружна спейсерна рідина є безцінною в обсадних трубах свердловин, особливо в складних геологічних умовах. Це дослідження спрямовує проектування технологічних рідин, покращуючи якість цементування обсадної труби та покращуючи ефективність і безпеку буріння. Інженери та дослідники можуть використовувати реологічні дані для прийняття обґрунтованих рішень і кращої продуктивності.

Ключові слова: цемент нафтових свердловин, цементні композиційні матеріали, базальтне волокно, міцність, деформаційні характеристики.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293873

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХОЛОДНОЇ ПЛАЗМИ ДЛЯ ОКИСЛЕННЯ АТМОСФЕРНОГО АЗОТУ В ОКСИДИ НІТРОГЕНУ ТА ВПЛИВ РЕЧОВИН-АКТИВАТОРІВ НА ПРОЦЕС (с. 80–87)

В. П. Слободянюк, А. В. Кузьменко, С. О. Кудрявцев, О. Б. Целіщев, М. Г. Лорія

Проведено дослідження процесу окиснення молекулярного азоту високоенергетичними окисниками, такими як пара нітратної кислоти, продукти термолізу нітратної кислоти та гідроген пероксид, в потоці холодної плазми. Для впровадження процесу отримання нітратної кислоти з атмосферного повітря за допомогою репродуктивної технології (метод Захарова), запропоновано конструкція реактора для отримання оксидів нітрогену шляхом прямого окиснення азоту в потоці холодної плазми. При цьому було запропоновано використання ефекту отримання оксидів азоту в повітряній суміші з парами азотної кислоти (ефект Караваєва) та при термічному розкладанні перекису водороду з азотом атмосферного повітря (ефект Нагієва). Встановлено ефективність використання холодної плазми для окиснення атмосферного азоту, що підтверджується отриманими залежностями. Показано, що кількість оксидів нітрогену, які утворюються, залежить від ефективності формування стабільного потоку ОН-радикалів в потоці плазми. Також виявлено, що кількість оксидів нітрогену залежить від параметрів плазмогенератора, складу рідини використовуваної в пальнику та обсяг подачі повітря.

Виявлено вплив нітратної кислоти, перекису водню, спиртів в якості активаторів процесу окиснення атмосферного азоту в високоенергетичному полі. Визначено, що при порівнянні трьох речовин-активаторів, які при своєму розкладанні здатні утворювати ОН-радикали, саме перекис водню є найбільш перспективною речовиною-активатором для здійснення процесу окиснення атмосферного азоту в потоці плазми.

Кількість оксидів нітрогену, що утворюється в області холодної плазми, майже не залежить від витрати реакційної суміші через реактор і залишається майже незмінною в широкому діапазоні зміни витрат від 30 до 3000 л/год.

Ключові слова: молекулярний азот, пряме окислення, холодна плазма, оксиди нітрогену, нітратна кислота, плазматрон, речовина-активатор, перекис водню.