

## ABSTRACT AND REFERENCES

## TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217009

**SUBSOLIDUS STRUCTURE OF THE ZnO–SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> SYSTEM AS A BASE FOR DESIGNING RADIO-TRANSPARENT CERAMICS (p. 6–14)****Artem Zakharov**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0120-8263>**Ruslan Kryvobok**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2334-4434>**Georgiy Lisachuk**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7157-9115>**Mariia Prytkina**

ZONE3000, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9800-3423>**Olena Fedorenko**National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0831-3485>

Designing new materials with unique properties requires scientifically substantiated approaches to problem-solving. Applying a physical-chemical analysis of oxide systems to devise the formulation for a material makes it possible to determine the conditions of phase formation and assess the manufacturability of compositions. Given the enormous number of experiments required to build the state diagrams of multi-component oxide systems, the physical-chemical modeling is the most appropriate method to study their structure. This paper substantiates the selection of the basic oxide system ZnO–SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> to design radio-transparent ceramics and reports the results of studying its subsolidus structure using modern data on splitting the system into elementary volumes. The main geometric-topological characteristics of the system's internal tetrahedra have been defined and analyzed; the minimum temperatures for melt occurrence have been calculated, as well as the eutectic compositions. To design radio-transparent ceramics with a predefined level of dielectric characteristics ( $\epsilon < 10$ ,  $\text{tg}\delta < 10^{-2}$ ), a region of the formulations has been selected within the tetrahedron SiO<sub>2</sub>–ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>–ZnSiO<sub>4</sub>–SrAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> concentrations, which ensure the synthesis of the target phases of willemite and strontium anorthite. By using the new data, heat-resistant polyphase ceramics have been obtained, whose dielectric characteristics ( $\epsilon = 5.98\text{--}8.96$ ;  $\text{tg}\delta = 0.004\text{--}0.008$ ) meet the requirements for radio transparent materials. The optimal ratio of phases (ZnSiO<sub>4</sub>:SrAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>=1:1) has been established, which makes it possible to reduce dielectric permeability ( $\epsilon = 5.98$ ) and minimize dielectric losses ( $\text{tg}\delta = 0.004$ ). Scanning electron microscopy and X-ray analysis were used to determine the structural and phase features of the new ceramic material.

**Keywords:** subsolidus structure, geometric-topological characteristics, willemite, strontium anorthite, radio transparent ceramics.

**References**

- Ivakhnenko, Y. A., Varrik, N. M., Maksimov, V. G. (2016). The high-temperature radiolucent ceramic composite materials for the radomes and other products of aviation engineering (review). Proceedings of VIAM, 5 (41), 36–43. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2016-0-5-5-5>
- Kablov, E. N., Grashchenkov, D. V., Isaeva, N. V., Solntsev, S. S., Sevast'yanov, V. G. (2012). Glass and ceramics based high-temperature composite materials for use in aviation technology. Glass and Ceramics, 69 (3-4), 109–112. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9425-1>
- Sarkisov, P. D., Orlova, L. A., Popovich, N. V. et al. (2011). Sovremennoe sostoyanie voprosa v oblasti tehnologii i proizvodstva sitallov na osnove alyumosilikatnykh sistem. Stekloobrazovanie, kristallizatsiya i fazoobrazovanie pri poluchenii strontsiy-anortitovykh i tsel'zianovykh sitallov. Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik, 8. Available at: <https://viam.ru/public/files/2011/2011-205757.pdf>
- Mihev, S. V., Stroganov, G. B., Romashin, A. G. (2002). Keramicheskie i kompozitsionnye materialy v aviatsionnoy tehnikе. Moscow: Al'teks, 276. Available at: <https://www.twirpx.com/file/824198/>
- Uvarova, N. E., Anan'eva, Yu. E., Bolokina, E. G., Orlova, L. A., Popovich, N. V. (2007). Radioprozrachnye steklokeramicheskie materialy. Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii, 7 (75), 96–99. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioprozrachnye-steklokeramicheskie-materialy>
- Shchegoleva, N. E., Chainikova, A. S., Orlova, L. A. (2018). Sintering process analysis in the manufacture of strontiumaluminosilicate glass ceramics by power-pressed method. Aviation Materials and Technologies, 4 (53), 55–62. doi: <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2018-0-4-55-62>
- Suzdal'tsev, E. I. (2015). Radio-Transparent Ceramics: Yesterday, Today, Tomorrow. Refractories and Industrial Ceramics, 55 (5), 377–390. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-015-9731-6>
- Khomenko, E. S., Zaichuk, A. V., Karasik, E. V., Kunitsa, A. A. (2018). Quartz ceramics modified by nanodispersed silica additive. Functional Materials, 25 (3), 613–618. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.03.613>
- Abyzov, A. M. (2019). Aluminum Oxide and Alumina Ceramics (Review). Part 2. Foreign Manufacturers of Alumina Ceramics. Technologies and Research in the Field of Alumina Ceramics. Refractories and Industrial Ceramics, 60 (1), 33–42. doi: <https://doi.org/10.1007/s11148-019-00305-1>
- Rumyantsev, S. L., Shur, M. S., Levinshtein, M. E. (2004). Materials properties of nitrides: summary. International Journal of High Speed Electronics and Systems, 14 (01), 1–19. doi: <https://doi.org/10.1142/s012915640400220x>
- Lisachuk, G. V., Kryvobok, R. V., Dajneko, K. B., Zakharov, A. V., Fedorenko, E. Y., Prytkina, M. S. et al. (2017). Optimization of the compositions area of radiotransparent ceramic in the SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> system. Przegląd Elektrotechniczny, 93 (3), 79–82. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2017.03.19>
- Lisachuk, G. V., Kryvobok, R. V., Fedorenko, E. Y., Zakharov, A. V. (2015). Ceramic radiotransparent materials on the basis of BaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> and SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> systems. Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials, 67 (1), 20–23. doi: <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.4>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A., Karasik, Y. V., Khomenko, Y. S., Lementareva, V. A., Saltykov, D. Yu. (2019). Radio-transparent ceramic materials of spodumene-cordierite composition. Functional Materials, 26 (1), 174–181. doi: <https://doi.org/10.15407/fm26.01.174>
- Wang, X.-C., Lei, W., Ang, R., Lu, W.-Z. (2013). ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>–TiO<sub>2</sub>–SrAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> low-permittivity microwave dielectric ceramics. Ceram-

ics International, 39 (2), 1707–1710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.08.013>

15. Ryschenko, M. I., Pitak, Y. N., Fedorenko, E. Yu., Lisyutkina, M. Yu., Shevtsov, A. V. (2016). Subsolidus conceptual design of CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> system and its significance for manufacturing advanced ceramics. *China's Refractories*, 25 (1), 44–52. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/305174725\\_Subsolidus\\_conceptual\\_design\\_of\\_CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub>\\_system\\_and\\_its\\_significance\\_for\\_manufacturing\\_advanced\\_ceramics](https://www.researchgate.net/publication/305174725_Subsolidus_conceptual_design_of_CaO-Al2O3-TiO2SiO2_system_and_its_significance_for_manufacturing_advanced_ceramics)
16. Lisachuk, G., Fedorenko, O., Pitak, O., Bilostotska, L., Trusova, Y., Pavlova, L., Dajneko, K. (2013). Theoretical background of alkaline-free tin content coatings on ceramics in the system RO-SnO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Chemistry & Chemical Technology*, 7 (3), 351–354. Available at: [http://science2016.lp.edu.ua/sites/default/files/Full\\_text\\_of\\_%20papers/full\\_text\\_556.pdf](http://science2016.lp.edu.ua/sites/default/files/Full_text_of_%20papers/full_text_556.pdf)
17. Jain, A., Ong, S. P., Hautier, G., Chen, W., Richards, W. D., Dacek, S. et. al. (2013). Commentary: The Materials Project: A materials genome approach to accelerating materials innovation. *APL Materials*, 1 (1), 011002. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4812323>
18. Wong-Ng, W., Roth, R. S., Vanderah, T. A., McMurdie, H. F. (2001). Phase equilibria and crystallography of ceramic oxides. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 106 (6), 1097–1134. doi: <https://doi.org/10.6028/jres.106.059>
19. Inorganic Material Database (AtomWork). National Institute for Materials Science (NIMS). Available at: <https://crystdb.nims.go.jp/en/>
20. Barzakovskiy, V. P., Boykova, A. I., Kurtseva, N. N., Lapin, V. V., Toropov, N. A. (1972). Diagrammy sostoyaniya silikatnyh sistem. Spravochnik. Vypusk tretiy. Troynnye silikatnye sistemy. Leningrad: Nauka, 448.
21. Berezhnoy, A. S. (1970). Mnogokomponentnye sistemy oksidov. Kyiv: Naukova dumka, 544.
22. The Materials Project. Available at: <https://materialsproject.org/#apps/phasediagram>
23. Lisachuk, G., Kryvobok, R., Zakharov, A., Tsovma, V., Lapuzina, O. (2017). Influence of complex activators of sintering on creating radiotransparent ceramics in SrO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 10–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91110>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216754**  
**PATTERNS IN THE SYNTHESIS PROCESSES,**  
**THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF**  
**STRONTIUM-ANORTHITE CERAMICS MODIFIED BY**  
**GLASS OF SPODUMENE COMPOSITION (p. 15–26)**

**Oleksandr Zaichuk**

Ukrainian State University of Chemical Technology,  
 Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5209-7498>

**Alexandra Amelina**

Ukrainian State University of Chemical Technology,  
 Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6902-9229>

**Yurii Hordieiev**

Ukrainian State University of Chemical Technology,  
 Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6425-936X>

**Yuliia Kalishenko**

Ukrainian State University of Chemical Technology,  
 Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6189-2629>

**Nataliia Sribniak**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3205-433X>

**Serhii Halushka**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8643-6937>

**Dmytro Borodai**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0771-9769>

**Artem Borodai**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4221-0332>

To create heat-resistant structural materials capable of operating at high temperatures (up to 1,400 °C), glass crystalline materials based on the SrO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> system are promising.

This paper reports the results of studying strontium-anorthite ceramics modified with boron-containing glass of the spodumene composition. It was established that in order to achieve a set of high physical and technical indicators of ceramics at reduced firing temperatures (1,200–1,300 °C), it is necessary to introduce glass in the amount of 20–30 % by weight. In this case, densely baked materials with low TCLE values were obtained (32.0–33.4)·10<sup>-7</sup> degrees<sup>-7</sup>, which predetermine their high thermal resistance (not lower than 850 °C). The principal crystalline phase of the examined ceramics is a monoclinic modification of strontium anorthite that mainly forms its microstructure. The strontium anorthite crystals measuring from 1–2 μm to 3–4 μm are tightly connected via thin layers of the residual glass phase. In the glass phase, the β-spodumene crystals the size of 0.1–0.3 μm are evenly distributed. The observed microstructure features of ceramics determine zero values of water absorption and open porosity, as well as high density values (2.40–2.50 g/cm<sup>3</sup>) and mechanical compression strength values (237–246 MPa). The dense microstructure also makes it possible to achieve high dielectric indicators (ε=4.4–4.8; tgδ=0.005–0.007) in an ultra-high-frequency electromagnetic field. Therefore, the designed materials are promising as radio-translucent materials, including structural ones. In addition, the enrichment of the residual glass phase with the refractory components of the SAS system in the process of firing the examined ceramics predetermines its increased resistance to high-temperature heating during operation.

**Keywords:** heat-resistant ceramics, Sr-anorthite, β-spodumene, glassy phase, baking, crystallization, microstructure of ceramics.

**References**

1. Sebastian, M. T., Ubic, R., Jantunen, H. (2015). Low-loss dielectric ceramic materials and their properties. *International Materials Reviews*, 60 (7), 392–412. doi: <https://doi.org/10.1179/1743280415y.00000000007>
2. Pivinskii, Yu. E. (2017). The half of a century period of the domestic ceramics technology development. Part I. *New refractories*, 3, 105–112. doi: <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2017-3-105-112>
3. Zaychuk, A. V., Amelina, A. A. (2017). Search for the ways to improve the physical and technical parameters of quartz ceramics. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 6, 63–67.
4. Khomenko, E. S., Zaichuk, A. V., Karasik, E. V., Kunitsa, A. A. (2018). Quartz ceramics modified by nanodispersed silica additive. *Functional Materials*, 25 (3), 613–618. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.03.613>
5. Zanutto, E. D. (2010). A Bright future for glass-ceramics. *American ceramic society bulletin*, 89 (8), 19–27.
6. Zaichuk, A. V., Amelina, A. A., Khomenko, Y. S., Baskevich, A. S., Kalishenko, Y. R. (2020). Heat-resistant ceramics of β-eucryptite composition: Peculiarities of production, microstructure and properties. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2, 52–59. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-129-2-52-59>
7. Hotza, D., de Oliveira, A. P. N. (2010). New Silicate Glass-Ceramic Materials and Composites. *Advances in Science and Technology*, 68, 1–12. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.68.1>

8. Shamsudin, Z., Hodzic, A., Soutis, C., Hand, R. J., Hayes, S. A., Bond, I. P. (2011). Characterisation of thermo-mechanical properties of MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> glass ceramic with different heat treatment temperatures. *Journal of Materials Science*, 46 (17), 5822–5829. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5538-0>
9. Shchegoleva, N. E., Sarkisov, P. D., Orlova, L. A., Popovich, N. V. (2012). Physical-chemical and structural processes occurring during heat-treatment of strontium-aluminosilicate glass. *Glass and Ceramics*, 69 (3-4), 117–121. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9427-z>
10. Sung, Y.-M., Kim, S. (2000). Sintering and crystallization of off-stoichiometric SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–2SiO<sub>2</sub> glasses. *Journal of materials science*, 35 (17), 4293–4299. doi: <http://doi.org/10.1023/A:1004880201847>
11. Chainikova, A. S., Vaganova, M. L., Shchegoleva, N. E., Lebedeva, Y. E. (2015). Technological aspects of fabrication of radiotransparent glass-ceramic materials based on high-temperature aluminosilicate systems (review). *Proceedings of VIAM*, 11. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2015-0-11-4-4>
12. Orlova, L. A., Popovich, N. V., Uvarova, N. E., Paleari, A., Sarkisov, P. D. (2012). High-temperature resistant glass-ceramics based on Sr-anorthite and tialite phases. *Ceramics International*, 38 (8), 6629–6634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.05.049>
13. Sung, Y.-M., Kwak, W.-C. (2002). Influence of various heating procedures on the sintered density of Sr-celsian glass-ceramic. *Journal of materials science letters*, 21 (11), 841–843. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1015710309425>
14. Ptáček, P., Šoukal, F., Opravil, T., Bartoničková, E., Wasserbauer, J. (2016). The formation of feldspar strontian (SrAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) via ceramic route: Reaction mechanism, kinetics and thermodynamics of the process. *Ceramics International*, 42 (7), 8170–8178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.02.024>
15. Lisachuk, G. V., Kryvobok, R. V., Zakharov, A. V., Chefranov, E. V., Lisachuk, L. N. (2017). Development of new compositions of ceramic masses in SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> system. *Functional Materials*, 23 (4), 162–167. doi: <https://doi.org/10.15407/fm24.01.162>
16. López-Cuevas, J., López-Badillo, C. M., Rodríguez-Galicia, J. L., Gutiérrez-Chavarría, C. A., Pech-Canul, M. I. (2013). Influence of mechanical activation on the synthesis of Sr-Celsian employing a precursor mixture containing coal fly ash. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52 (2), 98–104. doi: <https://doi.org/10.3989/cyv.132013>
17. Lisachuk, G., Kryvobok, R., Zakharov, A., Tsovma, V., Lapuzina, O. (2017). Influence of complex activators of sintering on creating radiotransparent ceramics in SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 10–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91110>
18. Chen, S., Zhu, D.-G., Cai, X.-S. (2014). Low-Temperature Densification Sintering and Properties of Monoclinic-SrAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> Ceramics. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45 (9), 3995–4001. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-014-2344-8>
19. El-Kheshen, A. A., Zawrah, M. F., Hamzawy, E. M. A. (2018). Development of low thermal expansion mono crystalline Sr-feldspar phase via Sr-cordierite ceramic/borosilicate glass composite. *Ceramics International*, 44 (12), 13720–13726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.04.213>
20. Sung, Y.-M. (2000). Monocelsian formation in the SrO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–2SiO<sub>2</sub> glass. *Journal of Materials Science Letters*, 19 (6), 453–454. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006724930508>
21. Uvarova, N. E., Orlova, L. A., Popovich, N. V. (2008). Nizkotemperaturniy sintez besschelochnoy alyumosilikatnoy steklokeramiki. *Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii*, 22 (7 (87)), 59–62.
22. Zaichuk, A. V., Amelina, A. A., Karasik, Y. V., Khomenko, Y. S., Lementareva, V. A., Saltykov, D. Yu. (2019). Radio-transparent ceramic materials of spodumene-cordierite composition. *Functional Materials*, 26 (1), 174–181. doi: <https://doi.org/10.15407/fm26.01.174>
23. Minakova, N. A., Zaichuk, A. V., Belyi, Y. I. (2008). The structure of borate glass. *Glass and Ceramics*, 65 (3-4), 70–73. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-008-9017-2>
24. Hummel, F. A. (1984). *Introduction to phase equilibria in ceramic systems*. Routledge, 400. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203749944>
25. Zaychuk, A., Tsvetan, D., Amelina, A., Vedmead, D. (2017). Low-temperature glass-ceramics based on spodumene. *Proceedings of University of Ruse*, 56, 47–50.
26. Andreev, M. V., Drobakhin, O. O., Privalov, Y. N., Saltykov, D. Y. (2014). Measurement of dielectric material properties using coupled biconical resonators. *Telecommunications and Radio Engineering*, 73 (11), 1017–1032. doi: <https://doi.org/10.1615/telecomradeng.v73i11.70>
27. Dyadenko, M. V., Gelai, A. I. (2017). Radio-Transparent Materials Based on Titanium Silicate Glass. *Glass and Ceramics*, 74 (7–8), 273–277. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-017-9978-0>
28. Yurov, V. M., Portnov, V. S., Puzeeva, M. P., Sadchikov, A. V., Orazbaeva, Zh. M. (2017). Some questions mechanical properties of nanoparticles and nanomaterials. *Fundamental research*, 12 (2), 349–353.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217002**  
**DESIGN OF SLAG CEMENT, ACTIVATED BY Na(K)**  
**SALTS OF STRONG ACIDS, FOR CONCRETE**  
**REINFORCED WITH STEEL FITTINGS (p. 26–40)**

**Pavlo Kryvenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7697-2437>

**Igor Rudenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5716-8259>

**Oleksandr Konstantynovskiy**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7936-5699>

This paper proposes a technique to prevent the corrosion of steel reinforcement in concrete based on slag cement (SC) activated by Na(K) salts of strong acids (SSA) in the composition of by-pass cement kiln dust (BP). The technique implies using additional modifiers in the form of the Portland cement CEM I 42,5 R and the calcium-aluminate admixture (CAA) C<sub>3</sub>A-6H<sub>2</sub>O.

It is shown that adding the Portland cement contributes to enhancing the intensifying influence of BP on the SC hydration, accompanied by an increase in the strength of artificial stone. This effect is predetermined by the formation of hydrosilicates in hydration products with an increased crystallization degree in the form of CSH(I) and C<sub>2</sub>SH(A).

Modifying SC with CAA ensures the intensive formation of low-soluble AFm phases in the composition of hydration products, aimed at reliable binding the SSA anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) that are aggressive to steel reinforcement.

The study result has established the possibility to produce SC, activated by SSA, when using BP, the Portland cement, and CAA. Mathematical methods to plan the experiment were applied to produce an SC composition of “granulated blast furnace slag – BP – Portland cement – CAA”, characterized by a strength class of 42.5 and a molar ratio of Cl<sup>-</sup>/OH<sup>-</sup> in a porous solution not exceeding 0.6. The resulting properties predetermine the feasibility of using SC in steel-reinforced concrete.

The relevance of this work is due to the modern trends in the development of the construction industry. The introduction of cement that contains mineral additives, in particular granulated blast furnace slag, contributes to improving the environment by reducing CO<sub>2</sub> emission. The use of such cement as a base of steel-reinforced concrete ensures the increase in their functionality and durability.

**Keywords:** slag cement, steel reinforcement, cement kiln dust, AFm phase, structure formation.

## References

- Abyzov, V. A., Pushkarova, K. K., Kochevykh, M. O., Honchar, O. A., Bazeliuk, N. L. (2020). Innovative building materials in creation an architectural environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012035. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012035>
- Anopko, D. V., Honchar, O. A., Kochevykh, M. O., Kushnierova, L. O. (2020). Radiation protective properties of fine-grained concretes and their radiation resistance. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012031. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012031>
- Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Kovalchuk, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. (2020). Enhancement of alkali-activated slag cement concretes crack resistance for mitigation of steel reinforcement corrosion. E3S Web of Conferences, 166, 06001. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016606001>
- Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Fic, S., Ivashchyshyn, H. (2020). Sustainable low-carbon binders and concretes. E3S Web of Conferences, 166, 06007. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016606007>
- Kropyvnytska, T., Rucinska, T., Ivashchyshyn, H., Kotiv, R. (2020). Development of Eco-Efficient Composite Cements with High Early Strength. Lecture Notes in Civil Engineering, 211–218. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_27)
- Markiv, T., Sobol, K., Petrovska, N., Hunyak, O. (2020). The Effect of Porous Pozzolanic Polydisperse Mineral Components on Properties of Concrete. Lecture Notes in Civil Engineering, 275–282. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_35)
- Markiv, T., Sobol, K., Franus, M., Franus, W. (2016). Mechanical and durability properties of concretes incorporating natural zeolite. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 16 (4), 554–562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2016.03.013>
- Chepurna, S., Borziak, O., Zubenko, S. (2019). Concretes, Modified by the Addition of High-Diffused Chalk, for Small Architectural Forms. Materials Science Forum, 968, 82–88. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.82>
- Moskalenko, O., Runova, R. (2016). Ice Formation as an Indicator of Frost-Resistance on the Concrete Containing Slag Cement in Conditions of Freezing and Thawing. Materials Science Forum, 865, 145–150. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.865.145>
- Krivenko, P. (2017). Why Alkaline Activation – 60 Years of the Theory and Practice of Alkali-Activated Materials. Journal of Ceramic Science and Technology, 8 (3), 323–334. doi: <https://doi.org/10.4416/JCST2017-00042>
- Berdnyk, O. Y., Lastivka, O. V., Maystrenko, A. A., Amelina, N. O. (2020). Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012036>
- Pavel, K., Oleg, P., Hryhorii, V., Serhii, L. (2017). The Development of Alkali-activated Cement Mixtures for Fast Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures. Procedia Engineering, 195, 142–146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.536>
- Panias, D., Balomenos, E., Sakkas, K. (2015). The fire resistance of alkali-activated cement-based concrete binders. Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes, 423–461. doi: <https://doi.org/10.1533/9781782422884.3.423>
- Kovalchuk, O., Grabovchak, V., Govdun, Y. (2018). Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. MATEC Web of Conferences, 230, 03007. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003007>
- Kryvenko, P., Guzii, S., Kovalchuk, O., Kyrchok, V. (2016). Sulfate Resistance of Alkali Activated Cements. Materials Science Forum, 865, 95–106. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.865.95>
- Cyr, M., Pouhet, R. (2015). The frost resistance of alkali-activated cement-based binders. Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes, 293–318. doi: <https://doi.org/10.1533/9781782422884.3.293>
- Savchuk, Y., Plugin, A., Lyuty, V., Pluhin, O., Borziak, O. (2018). Study of influence of the alkaline component on the physico-mechanical properties of the low clinker and clinkerless waterproof compositions. MATEC Web of Conferences, 230, 03018. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003018>
- Gots, V. I., Gelevera, A. G., Petropavlovsky, O. N., Rogozina, N. V., Smeshko, V. V. (2020). Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012033. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012033>
- Kryvenko, P., Hailin, C., Petropavlovskiy, O., Weng, L., Kovalchuk, O. (2016). Applicability of alkali-activated cement for immobilization of low-level radioactive waste in ion-exchange resins. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (6 (79)), 40–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59489>
- Kochetov, G., Prikhna, T., Kovalchuk, O., Samchenko, D. (2018). Research of the treatment of depleted nickelplating electrolytes by the ferritization method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (6 (93)), 52–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133797>
- Runova, R., Gots, V., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O., Lastivka, O. (2018). The efficiency of plasticizing surfactants in alkali-activated cement mortars and concretes. MATEC Web of Conferences, 230, 03016. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003016>
- Rudenko, I. I., Konstantynovskiy, O. P., Kovalchuk, A. V., Nikolainko, M. V., Obremsky, D. V. (2018). Efficiency of Redispersible Polymer Powders in Mortars for Anchoring Application Based on Alkali Activated Portland Cements. Key Engineering Materials, 761, 27–30. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.761.27>
- Krivenko, P. V., Rudenko, I. I., Petropavlovskiy, O. M., Konstantynovskiy, O. P., Kovalchuk, A. V. (2019). Alkali-activated Portland cement with adjustable proper deformations for anchoring application. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 708, 012090. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012090>
- Krivenko, P. V., Petropavlovskiy, O. M., Rudenko, I. I., Konstantynovskiy, O. P., Kovalchuk, A. V. (2020). Complex multifunctional additive for anchoring grout based on alkali-activated portland cement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907, 012055. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012055>
- Kropyvnytska, T. P., Kaminsky, A. T., Semeniv, R. M., Chekaylo, M. V. (2019). The effect of sodium aluminate on the properties of the composite cements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 708, 012091. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012091>
- Bai, Y., Collier, N. C., Milestone, N. B., Yang, C. H. (2011). The potential for using slags activated with near neutral salts as immobilisation matrices for nuclear wastes containing reactive metals. Journal of Nuclear Materials, 413 (3), 183–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2011.04.011>

27. Bernal, S. A. (2016). Advances in near-neutral salts activation of blast furnace slags. *RILEM Technical Letters*, 1, 39. doi: <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.v1.8>
28. Mobasher, N., Bernal, S. A., Hussain, O. H., Apperley, D. C., Kinoshita, H., Provis, J. L. (2014). Characterisation of  $\text{Ba}(\text{OH})_2\text{-Na}_2\text{SO}_4$ -blast furnace slag cement-like composites for the immobilisation of sulfate bearing nuclear wastes. *Cement and Concrete Research*, 66, 64–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.07.006>
29. Mobasher, N., Bernal, S. A., Provis, J. L. (2016). Structural evolution of an alkali sulfate activated slag cement. *Journal of Nuclear Materials*, 468, 97–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2015.11.016>
30. Krivenko, P., Sanytsky, M., Kropyvnytska, T. (2018). Alkali-Sulfate Activated Blended Portland Cements. *Solid State Phenomena*, 276, 9–14. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.276.9>
31. Bilek, V., Kalina, L., Simonova, H. (2019). Effect of curing environment on length changes of alkali-activated slag/cement kiln by-pass dust mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 583, 012017. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/583/1/012017>
32. Maslehuddin, M., Al-Amoudi, O. S. B., Shameem, M., Rehman, M. K., Ibrahim, M. (2008). Usage of cement kiln dust in cement products – Research review and preliminary investigations. *Construction and Building Materials*, 22 (12), 2369–2375. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.09.005>
33. Bilek Jr., V., Kalina, L., Bartoničková, E., Opravil, T. (2014). Influence of Industrial By-Products on Shrinkage of Alkali-Activated Slag. *Advanced Materials Research*, 1000, 137–140. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1000.137>
34. Krivenko, P. V., Petropavlovskiy, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. P. (2019). The Influence of Complex Additive on Strength and Proper Deformations of Alkali-Activated Slag Cements. *Materials Science Forum*, 968, 13–19. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.13>
35. Collier, N. C., Li, X., Bai, Y., Milestone, N. B. (2015). The effect of sulfate activation on the early age hydration of BFS:PC composite cement. *Journal of Nuclear Materials*, 464, 128–134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2015.04.044>
36. Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., Emam, M. A. (2019). Factors affecting the mechanical properties of alkali activated ground granulated blast furnace slag concrete. *Construction and Building Materials*, 197, 339–355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.086>
37. Bilek Jr., V., Pařízek, L., Kosár, P., Kratochvíl, J., Kalina, L. (2016). Strength and Porosity of Materials on the Basis of Blast Furnace Slag Activated by Liquid Sodium Silicate. *Materials Science Forum*, 851, 45–50. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.851.45>
38. Criado, M. (2015). The corrosion behaviour of reinforced steel embedded in alkali-activated mortar. *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*, 333–372. doi: <https://doi.org/10.1533/9781782422884.3.333>
39. Buchwald, A., Schulz, M. (2005). Alkali-activated binders by use of industrial by-products. *Cement and Concrete Research*, 35 (5), 968–973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.019>
40. Bernal, S. A., Ke, X., Provis, J. L. (2015). Activation of slags using near-neutral salts: The importance of the slag chemistry. 14th International Congress on Chemistry of Cement. Beijing.
41. Krivenko, P., Gots, V., Petropavlovskiy, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O., Kovalchuk, A. (2019). Development of solutions concerning regulation of proper deformations in alkali-activated cements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (101)), 24–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181150>
42. Rashad, A. M., Bai, Y., Basheer, P. A. M., Milestone, N. B., Collier, N. C. (2013). Hydration and properties of sodium sulfate activated slag. *Cement and Concrete Composites*, 37, 20–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.12.010>
43. Wu, P., Wang, J., Lian, M., Lyu, X. (2019). Preparation of slag based cementitious material and its application in the cementation of tailings. In *IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress*, 3122–3137.
44. Rashad, A. M., Bai, Y., Basheer, P. A. M., Collier, N. C., Milestone, N. B. (2012). Chemical and mechanical stability of sodium sulfate activated slag after exposure to elevated temperature. *Cement and Concrete Research*, 42 (2), 333–343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.007>
45. Mobasher, N., Kinoshita, H., Bernal, S. A., Sharrard, C. A. (2014).  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -blast furnace slag composite binders for encapsulation of sulphate bearing nuclear waste. *Advances in Applied Ceramics*, 113 (8), 460–465. doi: <https://doi.org/10.1179/1743676114y.0000000148>
46. Omelchuk, V., Ye, G., Runova, R., Rudenko, I. I. (2018). Shrinkage Behavior of Alkali-Activated Slag Cement Pastes. *Key Engineering Materials*, 761, 45–48. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.761.45>
47. Khan, M. S. H., Kayali, O. (2016). Chloride binding ability and the onset corrosion threat on alkali-activated GGBFS and binary blend pastes. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22 (8), 1023–1039. doi: <https://doi.org/10.1080/19648189.2016.1230522>
48. Maes, M., Gruyaert, E., De Belie, N. (2012). Resistance of concrete with blast-furnace slag against chlorides, investigated by comparing chloride profiles after migration and diffusion. *Materials and Structures*, 46 (1-2), 89–103. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9885-3>
49. De Weerd, K., Orsáková, D., Geiker, M. R. (2014). The impact of sulphate and magnesium on chloride binding in Portland cement paste. *Cement and Concrete Research*, 65, 30–40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.07.007>
50. Clark, B. A., Brown, P. W. (2000). The formation of calcium sulfoaluminate hydrate compounds: Part II. *Cement and Concrete Research*, 30 (2), 233–240. doi: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00234-3](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00234-3)
51. Runci, A., Serdar, M., Provis, J. (2019). Chloride-induced corrosion of steel embedded in alkali-activated materials: state of the art. 5th Symposium on Doctoral Studies in Civil Engineering, 175–185. doi: <https://doi.org/10.5592/co/phdsym.2019.15>
52. Ye, H., Huang, L., Chen, Z. (2019). Influence of activator composition on the chloride binding capacity of alkali-activated slag. *Cement and Concrete Composites*, 104, 103368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103368>
53. Honorio, T., Guerra, P., Bourdot, A. (2020). Molecular simulation of the structure and elastic properties of ettringite and monosulfoaluminate. *Cement and Concrete Research*, 135, 106126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106126>
54. Baquerizo, L. G., Matschei, T., Scrivener, K. L., Saeidpour, M., Wadsö, L. (2015). Hydration states of AFm cement phases. *Cement and Concrete Research*, 73, 143–157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.011>
55. Plugin, A. A., Borziak, O. S., Pluhin, O. A., Kostuk, T. A., Plugin, D. A. (2020). Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. *Proceedings of EcoComfort 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, 328–335. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_40)
56. Babae, M., Castel, A. (2018). Chloride diffusivity, chloride threshold, and corrosion initiation in reinforced alkali-activated mortars: Role of calcium, alkali, and silicate content. *Cement and Concrete Research*, 111, 56–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.009>

57. Mesbah, A., Cau-dit-Coumes, C., Frizon, F., Leroux, F., Ravoux, J., Renaudin, G. (2011). A New Investigation of the  $\text{Cl}^-$ - $\text{CO}_3^{2-}$  Substitution in AFm Phases. *Journal of the American Ceramic Society*, 94 (6), 1901–1910. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2010.04305.x>
58. Geng, J., Yang, H., Mo, L. (2015). Effect of attack of sodium sulfate solution on the stability of bounded chloride ions. *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 18 (6), 919–925. doi: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2015.06.001>
59. Park, J. W., Ann, K. Y., Cho, C.-G. (2015). Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Chloride-Induced Corrosion. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/273101>
60. Pushkareva, K. K., Gonchar, O. A., Kaverin, K. O. (2019). The role of the crystallo-chemical factor in the evaluation and improvement of the nanomodification efficiency of mortar and concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708, 012102. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012102>
61. Vollpracht, A., Lothenbach, B., Snellings, R., Haufe, J. (2015). The pore solution of blended cements: a review. *Materials and Structures*, 49 (8), 3341–3367. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0724-1>
62. Krivenko, P. V., Guzii, S. G., Bondarenko, O. P. (2019). Alkaline Aluminosilicate Binder-Based Adhesives with Increased Fire Resistance for Structural Timber Elements. *Key Engineering Materials*, 808, 172–176. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.808.172>
63. Tsapko, Y., Zavalov, D., Bondarenko, O., Marchenco, N., Mazurchuk, S., Horbachova, O. (2019). Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346>
64. Tsapko, Y., Bondarenko, O. P., Tsapko, A. (2019). Research of the Efficiency of the Fire Fighting Roof Composition for Cane. *Materials Science Forum*, 968, 61–67. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.61>
65. Plugin, A. A., Pluhin, O. A., Borziak, O. S., Kaliuzhna, O. V. (2019). The Mechanism of a Penetrative Action for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 34–41. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_5)
66. Krivenko, P., Gots, V., Runova, R., Rudenko, I., Lastivka, O. (2013). Features of Alkali-Activated Slag Portland Cement. 1st Intern. Conf. on the Chemistry of Construction Materials. Berlin, 453–456.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216733**  
**EXAMINATION OF PATTERNS IN OBTAINING**  
**POROUS STRUCTURES FROM SUBMICRON**  
**ALUMINUM OXIDE POWDER AND ITS MIXTURES**  
**(p. 41–49)**

**Edwin Gevorkyan**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0521-3577>

**Volodymyr Nerubatskyi**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4309-601X>

**Yuriy Gutsalenko**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4701-6504>

**Olga Melnik**

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7923-7566>

**Liudmyla Voloshyna**

Ukrainian State University of Railway Transport,  
 Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2039-111X>

This paper proposes an economical thermal cycle of the production of ceramic articles from submicronic powders of aluminum oxide, titanium oxide, and manganese oxide. The implementation of a given cycle involves the introduction of a special aluminophosphate bond into the charge in order to reduce the temperature of firing. The optimal composition of the material for a foam-ceramic filter with the highest physical and mechanical properties has been determined; the optimal method for preparing the original charge and the baking mode have been selected.

According to the results of tests under industrial conditions, the manufactured alumina filters became a decent alternative to known analogs used in aluminum metallurgy for the purification of liquid metal. The application and rational dosage of titanium dioxides, manganese, and aluminum aluminophosphate in porous ceramic compositions on an alumina base have made it possible to significantly reduce the time and, consequently, improve the productivity, of firing. The results obtained were evaluated by the level of maximum temperature in the cycle of heat treatment according to known technologies. Compared to those technologies, the developed technology ensures the growth of firing productivity when implementing the proposed solution by about 220 %.

It was found that the high true density of ceramic powder requires large dispersion as the relatively large powder particles are significantly worse retained in foam films and settle.

At medium (intermediate) temperatures, a large weight loss occurs at a heating rate of 10 °C/h. In this case, the decomposition progress changes in proportion to the heating speed. Changing the heating speed with temperature is the most effective technique for deparaffinization in the air. The heating time from the ambient temperature to 200 °C significantly decreases. At a certain temperature, prior to the thermal decomposition, the bond would transfer from a strongly viscous state to a liquid state.

**Keywords:** silicon carbide, ceramic filter, permeability coefficient, aluminum oxide, polymer, porous structure.

## References

1. Raychenko, A. I. (1987). Vliyanie skorosti nagreva na poroobrazovanie v ul'tradispersnykh poroshkah. *Metallurgiya*, 5, 14–18.
2. Schulz, K., Durst, M. (1994). Advantages of an integrated system for hot gas filtration using rigid ceramic elements. *Filtration & Separation*, 31 (1), 25–28. doi: [https://doi.org/10.1016/0015-1882\(94\)80227-0](https://doi.org/10.1016/0015-1882(94)80227-0)
3. Scheffler, M., Colombo, P. (Eds.) (2005). *Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications*. Wiley-VCH. doi: <https://doi.org/10.1002/3527606696>
4. Gonzenbach, U. T., Studart, A. R., Tervoort, E., Gauckler, L. J. (2006). Stabilization of Foams with Inorganic Colloidal Particles. *Langmuir*, 22 (26), 10983–10988. doi: <https://doi.org/10.1021/la061825a>
5. Pokhrel, A., Park, J. G., Zhao, W., Kim, I. J. (2020). Functional Porous Ceramics Using Amphiphilic Molecule. *J. Ceram. Proc. Res.*, 13 (4), 420–424.
6. Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Mel'nik, O. M. (2010). Goryachee pressovanie nanoporoshkov sostava  $\text{ZrO}_2$ -5 %  $\text{Y}_2\text{O}_3$ . *Zbirnyk*

- naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu, 119, 106–110.
7. Gonzenbach, U. T., Studart, A. R., Tervoort, E., Gauckler, L. J. (2007). Macroporous Ceramics from Particle-Stabilized Wet Foams. *Journal of the American Ceramic Society*, 90 (1), 16–22. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.01328.x>
  8. Pokhrel, A., Park, J. K., Park, S. M., Kim, I. J. (2012). Tailoring the Microstructure of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Wet Foams to Porous Ceramics. Submitted to *J. Ceram. Pro. Res.*
  9. Saggio-Woyansky, J., Scott, C., Minnear, W. (1992). Processing of Porous Ceramics. *American Ceramic Society Bulletin*, 71 (11), 1674–1682.
  10. Akartuna, I., Studart, A. R., Tervoort, E., Gauckler, L. J. (2008). Macroporous Ceramics from Particle-stabilized Emulsions. *Advanced Materials*, 20 (24), 4714–4718. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200801888>
  11. Latella, B. A., Henkel, L., Mehrtens, E. G. (2006). Permeability and high temperature strength of porous mullite-alumina ceramics for hot gas filtration. *Journal of Materials Science*, 41 (2), 423–430. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-005-2654-8>
  12. Taslicukur, Z., Balaban, C., Kuskonmaz, N. (2007). Production of ceramic foam filters for molten metal filtration using expanded polystyrene. *Journal of the European Ceramic Society*, 27 (2–3), 637–640. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.04.129>
  13. Gauckler, L. J., Waeber, M. M., Conti, C., Jacob-Duliere, M. (1985). Ceramic Foam For Molten metal Filtration. *JOM*, 37 (9), 47–50. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03258640>
  14. Zhou, M., Shu, D., Li, K., Zhang, W. Y., Ni, H. J., Sun, B. D., Wang, J. (2003). Deep filtration of molten aluminum using ceramic foam filters and ceramic particles with active coatings. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 34 (5), 1183–1191. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-003-0138-5>
  15. Hunter, T. N., Pugh, R. J., Franks, G. V., Jameson, G. J. (2008). The role of particles in stabilising foams and emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 137 (2), 57–81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2007.07.007>
  16. Pokhrel, A., Seo, D. N., Cho, G. H., Kim, I. J. (2013). Inorganic Phosphate Wet Foams Stabilization to Porous Ceramics by Direct Foaming. *Asian Journal of Chemistry*, 25 (15), 8281–8284. doi: <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14712>
  17. Koch, D., Schulz, K., Seville, J. P. K., Clift, R. (1993). Regeneration of Rigid Ceramic Filters. *Gas Cleaning at High Temperatures*, 244–265. doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2172-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2172-9_16)
  18. Yang, F. K., Li, C. W., Lin, Y. M., Wang, C. G. (2012). Fabrication of Porous Mullite Ceramics with High Porosity Using Foam-Gel-casting. *Key Engineering Materials*, 512-515, 580–585. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.512-515.580>
  19. Gevorkyan, E. S., Rucki, M., Kagramanyan, A. A., Nerubatskiy, V. P. (2019). Composite material for instrumental applications based on micro powder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> with additives nano-powder SiC. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 82, 336–339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2019.05.010>
  20. Powell, S. J., Evans, J. R. G. (1995). The Structure of Ceramic Foams Prepared from Polyurethane-Ceramic Suspensions. *Materials and Manufacturing Processes*, 10 (4), 757–771. doi: <https://doi.org/10.1080/10426919508935063>
  21. Schuster, P., Chiari, B. (1980). Foamed Ceramic Element and Process for Making Same. *Ceramic International*, 6, 27–36.
  22. Barone, M. R., Ulicny, J. C. (1989). Organic binder in Ceramic Powder Compact. *Ceram Powder Science*, 15 (1), 578–583.
  23. Sarkar, N. (1979). Thermal gelation properties of methyl and hydroxypropyl methylcellulose. *Journal of Applied Polymer Science*, 24 (4), 1073–1087. doi: <https://doi.org/10.1002/app.1979.070240420>
  24. Hevorkian, E. S., Nerubatskiy, V. P. (2009). Do pytannia otryman- nia tonkodypersnykh struktur z nanoporoshkiv oksydu aliuminiu. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, 111, 151–167.
  25. Hevorkian, E. S., Nerubatskiy, V. P. (2009). Modeliuvannia protsesu hariachoho presuvannia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pry priamomu propuskanni zmin- noho elektrychnoho strumu z chastotoiu 50 Hts. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, 110, 45–52.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217119

**THE KINETIC PARAMETERS OF THE SMOKE GASES PURIFICATION PROCESS FROM CARBON MONOXIDE ON A ZEOLITE-BASED MANGANESE OXIDE CATALYST (p. 50–58)**

**Olena Ivanenko**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6838-5400>

**Andrii Trypolskiy**

L. V. Pisarzhevskii Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1682-0241>

**Oleksandr Khokhotva**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2607-9242>

**Peter Strizhak**

L. V. Pisarzhevskii Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0280-8719>

**Serhii Leleka**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4372-9454>

**Ihor Mikulionok**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-7229>

A modified MnO<sub>2</sub> clinoptillolite was obtained by using the available zeolite rock from the Sokyrnytsia deposit (Khust district of the Zakarpattia region, Ukraine) using a simple technique of mixing solutions containing separately Mn<sup>2+</sup> and MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>. It was determined that the total manganese content in the air-dry modified thermally untreated clinoptillolite was 11.42 mg/g, which is 1.8 % in terms of MnO<sub>2</sub>.

Structural characteristics, namely, the pore size distribution and specific surface area as the main basic characteristics of the catalyst, were studied, which were obtained from the isotherms of low-temperature nitrogen adsorption-desorption. These studies are necessary to determine the limiting stage of CO oxidation.

It has been determined that the kinetics of the oxidation process is described by a first-order equation. Based on the obtained characteristics of the catalyst, the kinetic parameters of the process were calculated, namely, the effective and true rate constants and the activation energy, which is 31 kJ/mol. It has been proved that the oxidation reaction of carbon monoxide on an oxide-manganese catalyst proceeds in the intra-diffusion mode. This makes it possible, using the criterion dependences, namely, the Carberry criterion, which is less than 0.05, to assert that the reaction is not limited by the diffusion of CO from the gas stream to the outer surface of the

catalyst. It is shown that the transport of carbon monoxide molecules inside the catalyst granules proceeds in the Knudsen regime.

The obtained scientific result in the form of a kinetic description of the catalytic oxidation of carbon monoxide with atmospheric oxygen on a manganese oxide catalyst based on zeolite is interesting from a theoretical point of view. From a practical point of view, the calculated kinetic parameters of this process make it possible to calculate a catalytic CO oxidation reactor.

**Keywords:** carbon monoxide, oxidation kinetics, structural parameters, manganese dioxide, zeolite, clinoptilolite.

## References

- Petrov, A. Yu., Sinitsin, S. A. (2014). Flue gas catalytic detoxication in oil refining industry. *Tehnologii nefti i gaza*, 2 (91), 18–23.
- Karvatskii, A., Lazariiev, T., Leleka, S., Mikulionok, I., Ivanenko, O. (2020). Determination of parameters of the carboncontaining materials gasification process in the rotary kiln cooler drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (106)), 65–76. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210767>
- Leleka, S. V., Panov, Y. M., Karvatskii, A. Y., Vasylichemko, G. M., Mikulionok, I. O., Borshchik, S. O., Vahin, A. V. (2020). Development of energy-efficient and environmentally friendly linings and thermal insulation of electrode production furnaces. *Energy Technologies & Resource Saving*, 3, 21–34. doi: <https://doi.org/10.33070/etars.3.2020.02>
- Kursov, S. V. (2015). Monooskid ugleroda: fiziologicheskoe znachenie i toksikologiya. *Meditcina neotlozhnyh sostoyaniy*, 6 (69), 9–16.
- Parmon, V. N. (2000). Kataliticheskie tehnologii budushchego dlya vozobnovlyаемoy i netraditsionnoy energetiki. *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya*, 8 (4), 555–565.
- Vykydy zabrudniuyuchykh rehovyn i parnykovykh haziv u atmosferne povitria vid statsionarnykh dzherel zabrudnennia. Available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch\\_vzrap\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm)
- Ivanenko, O. (2020). Implementation of risk assessment for critical infrastructure protection with the use of risk matrix. *ScienceRise*, 2, 26–38. doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001340>
- Ekolohichniy pasport Zaporizkoi oblasti za 2019 rik (2020). Available at: [https://mepr.gov.ua/files/docs/eco\\_passport/2019/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/eco_passport/2019/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0.pdf)
- Patel, D. M., Kodgire, P., Dwivedi, A. H. (2020). Low temperature oxidation of carbon monoxide for heat recuperation: A green approach for energy production and a catalytic review. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118838. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118838>
- Nishihata, Y., Mizuki, J., Akao, T., Tanaka, H., Uenishi, M., Kimura, M. et. al. (2002). Self-regeneration of a Pd-perovskite catalyst for automotive emissions control. *Nature*, 418 (6894), 164–167. doi: <https://doi.org/10.1038/nature00893>
- Schubert, M. M., Hackenberg, S., van Veen, A. C., Muhler, M., Plzak, V., Behm, R. J. (2001). CO Oxidation over Supported Gold Catalysts—“Inert” and “Active” Support Materials and Their Role for the Oxygen Supply during Reaction. *Journal of Catalysis*, 197 (1), 113–122. doi: <https://doi.org/10.1006/jcat.2000.3069>
- Panov, Y., Gomelia, N., Ivanenko, O., Vahin, A., Leleka, S. (2019). Estimation of the effect of temperature, the concentration of oxygen and catalysts on the oxidation of the thermoanthracite carbon material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (98)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162474>
- Choi, K.-H., Lee, D.-H., Kim, H.-S., Yoon, Y.-C., Park, C.-S., Kim, Y. H. (2016). Reaction Characteristics of Precious-Metal-Free Ternary Mn–Cu–M (M = Ce, Co, Cr, and Fe) Oxide Catalysts for Low-Temperature CO Oxidation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55 (16), 4443–4450. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04985>
- Rakitskaya, T. L., Kiose, T. A., Vasylechko, V. O., Volkova, V. Y., Gryshchouk, G. V. (2011). Adsorption-desorption properties of clinoptilolites and the catalytic activity of surface Cu(II)–Pd(II) complexes in the reaction of carbon monoxide oxidation with oxygen. *Chemistry of Metals and Alloys*, 4 (3/4), 213–218. doi: <https://doi.org/10.30970/cma4.0186>
- Korablev, V. V., Chechevichkin, A. V., Boricheva, I. K., Samonin, V. V. (2017). Structure and morphological properties of clinoptilolite modified by manganese dioxide. *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics*, 3 (1), 63–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjppm.2017.03.001>
- Krylov, O. V. (1976). *Kataliz nemetallami*. Leningrad: Himiya, 240.
- Golodets, G. I. (1977). *Getero-genno-kataliticheskie reaktzii s uchastiem molekulyarnogo kisloroda*. Kyiv: Naukova dumka, 360.
- Ivanenko, O., Gomelya, N., Panov, Y., Overchenko, T. (2020). Technical solutions for reducing emissions of carbon monoxide with flue gases of furnaces for baking electrodes. *Bulletin of the National Technical University «KhPI»*. Series: New Solutions in Modern Technology, 3 (5), 45–52. doi: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2020.01.07>
- Zaki, M. I., Hasan, M. A., Pasupulety, L., Kumari, K. (1997). Thermochemistry of manganese oxides in reactive gas atmospheres: Probing redox compositions in the decomposition course  $MnO_2 \rightarrow MnO$ . *Thermochimica Acta*, 303 (2), 171–181. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-6031\(97\)00258-x](https://doi.org/10.1016/s0040-6031(97)00258-x)
- Han, Y.-F., Chen, F., Zhong, Z., Ramesh, K., Chen, L., Widjaja, E. (2006). Controlled Synthesis, Characterization, and Catalytic Properties of  $Mn_2O_3$  and  $Mn_3O_4$  Nanoparticles Supported on Mesoporous Silica SBA-15. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110 (48), 24450–24456. doi: <https://doi.org/10.1021/jp064941v>
- Iablokov, V., Frey, K., Geszti, O., Kruse, N. (2009). High Catalytic Activity in CO Oxidation over  $MnO_x$  Nanocrystals. *Catalysis Letters*, 134 (3-4), 210–216. doi: <https://doi.org/10.1007/s10562-009-0244-0>
- Ramesh, K., Chen, L., Chen, F., Liu, Y., Wang, Z., Han, Y.-F. (2008). Re-investigating the CO oxidation mechanism over unsupported  $MnO$ ,  $Mn_2O_3$  and  $MnO_2$  catalysts. *Catalysis Today*, 131 (1-4), 477–482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2007.10.061>
- Wang, L.-C., Liu, Q., Huang, X.-S., Liu, Y.-M., Cao, Y., Fan, K.-N. (2009). Gold nanoparticles supported on manganese oxides for low-temperature CO oxidation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 88 (1-2), 204–212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2008.09.031>
- Stobbe, E. R., de Boer, B. A., Geus, J. W. (1999). The reduction and oxidation behaviour of manganese oxides. *Catalysis Today*, 47 (1-4), 161–167. doi: [https://doi.org/10.1016/s0920-5861\(98\)00296-x](https://doi.org/10.1016/s0920-5861(98)00296-x)
- Ivanenko, O. I., Krysenko, D. A., Krysenko, T. V., Tobilko, V. Yu. (2020). Use of natural zeolite of sokrynytsa deposit for obtaining oxide-manganese catalyst for carbon monoxide oxidation. *Visnik of Kherson National Technical University*, 3 (74), 26–37. doi: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.3.3>
- Tarasevich, Y. I., Polyakov, V. E., Ivanova, Z. G., Krysenko, D. A. (2008). Obtaining and properties of clinoptilolite modified by manganese dioxide. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 30 (2), 85–91. doi: <https://doi.org/10.3103/s1063455x08020045>
- Greg, S., Sing, K. (1984). *Adsorbtsiya, udel'naya poverhnost', poristost'*. Moscow: Mir, 310.
- Kolesnikova, L. G., Lankin, S. V., Yurkov, V. V. (2007). *Ionnyy perezno v klinoptilolite*. Blagoveshchensk: Izdatel'stvo Blagoveshchenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 113.
- Lopatkin, A. A. (1983). *Teoreticheskie osnovy fizicheskoy adsorbtsii*. Moscow: Moskovskiy gosudarstvenniy universitet, 344.
- Karnauhov, A. P. (1999). *Adsorbtsiya*. Tekstura dispersnyh i poristykh materialov. Novosibirsk: Nauka, 470.



31. Merkle, A. B., Slaughter, M. (1968). Determination and refinement of the structure of heulandite. *The American mineralogist*, 53 (7), 1120–1138.
32. Sargsyan, A. O., Sargsyan, O. A., Harutyunyan, L. R., Badalyan, G. G., Petrosyan, I. A., Harutyunyan, R. S. et. al. (2016). Phase transformations of natural zeolites under acid and alkali treatments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series*, 2, 37–44.
33. Itzel-Herna'ndez, G., Herna'ndez, M. A., Portillo, R., Petranovskii, V. P., Pestryakov, A. N., Rubio, E. (2018). Hierarchical structure of nanoporosity of mexican natural zeolites of clinoptilolite type. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 329 (10), 107–117.
34. Belchinskaya, L. I., Strelnikova, O. Yu., Khodosova, N. A., Ressenner, F. (2013). Adsorption-structural, ion exchange and catalytic characteristics of natural and modified sorbent of Sokyrnytsky deposit, 4 (4), 420–426.
35. Boretkov, G. K. (1988). *Geterogeniyy kataliz*. Moscow: Nauka, 304.
36. Centi, G., Arena, G. E., Perathoner, S. (2003). Nanostructured catalysts for NO<sub>x</sub> storage–reduction and N<sub>2</sub>O decomposition. *Journal of Catalysis*, 216 (1-2), 443–454. doi: [https://doi.org/10.1016/s0021-9517\(02\)00072-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9517(02)00072-6)
37. Wang, K., Zhong, P. (2010). A kinetic study of Co oxidation over the perovskite-like oxide LaSrNiO<sub>4</sub>. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75 (2), 249–258. doi: <https://doi.org/10.2298/jsc1002249w>
38. Savel'ev, I. V. (1970). *Kurs obshchey fiziki*. Vol. 1. *Mekhanika, kolebaniya i volny, molekulyarnaya fizika*. Moscow: Izdatel'stvo «Nauka», 511.
39. Mikulonok, I. O. (2014). *Mekhanichni, hidromekhanichni i masoobminni protsesy ta obladnannia khimichnoi tekhnolohiyi*. Kyiv: NTUU «KPI», 340.
40. Ivanenko, O., Gomelya, N., Panov, Y. (2020). Evaluation of the influence of the catalysts application on the level of emissions of carbon monoxide in the manufacture of electrodes. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (3 (54)), 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.207483>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217234**  
**DEVELOPMENT OF METHODS OF GAS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL MEDIA OF THE MAIN CIRCULATION PUMPS OF A NUCLEAR POWER PLANT (p. 59–70)**

**Sergey Zaitsev**

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1166-3243>

**Victor Kyshnevsky**

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1780-2969>

**Vadim Chichenin**

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7772-7142>

**Anatolii Tykhomyrov**

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3739-9791>

During the operation of power plant equipment, technological media are used – water, turbine oils. Diagnostics of equipment by gas chromatographic determination of diagnostic components (gases H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), water, “Ionol” in these media is urgent. For this, 5 chromatographs are used. An increase

in the reliability of the main circulation pumps of a nuclear power plant can be due to an increase in the reliability of its oil system. The influence of ultrasonic vibrations on the generation of gases in the systems “oil – diagnostic gas”, “oil – water – diagnostic gas” with the use of turbine oil Tn-22s is studied. Gas concentrations increase with an increase in the duration of exposure for 1600 s at a frequency of 35–125 kHz and a power of 20 W. The dependences of the concentrations C<sub>i</sub> of dissolved gases on the irradiation time τ of technological media is expressed by the equation C<sub>i</sub>=A·τ+B. Coefficients A, B and correlation coefficients R<sub>2</sub> have specific values for each dissolved gas. So, 0.95≤R<sub>2</sub>≤0.995, which indicates the adequacy of the obtained equations to the experimental data. This makes it possible to determine turbine oil in water after irradiation and subsequent gas chromatographic determination of the generated dissolved gases. The technical requirements for a 5-channel gas chromatograph were established and its structural diagram was developed. This makes it possible to reduce the number of measurement operations and chromatographs. The thresholds for determining the diagnostic components in the corresponding technological environments have been determined: 2 ppm (H<sub>2</sub>); 1 ppm (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>); 0.5 ppm (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>); 5 ppm (CO, CO<sub>2</sub>); 1.5 ppm (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>); 0.05 wt. % (“Ionol”); 2 g/t (water in turbine oil) 0.02 mg/dm<sup>3</sup> (turbine oil in water).

The basic technological scheme of the oil system for the main circulation pumps of the NPP has been developed. It is proposed to continuously: degassing the turbine oil flow; sorption purification of cooling water, analysis of turbine oil and cooling water by gas chromatography methods. This will reduce the degradation of turbine oil and increase the reliability of the oil system of the NPP main circulation pumps.

**Keywords:** gas chromatography, turbine oil, cooling water, diagnostic component, nuclear power plant.

## References

1. HKD 34.20.507-2003. *Tekhnichna ekspluatatsiya elektrychnykh stantsiy i merezh*. Pravyla (2003). Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy. Kyiv: OEP «HRIFRE», 598.
2. SOU-N EE 20.302:2007. *Normy vyprovuvannia elektroobladnannia*. Normatyvnyi dokument Minpalyvenerho Ukrainy. Normy (2007). Kyiv: OEP «HRIFRE», 262.
3. SOU-N EE 46.302:2006. *Pidhotovka ta provedennia khromatohrafichnoho analizu vilnykh haziv, vidibranykh iz hazovoho rele, i haziv, rozchynenykh u izoliatsynomu masli maslonapovnenoho elektroobladnannia*. *Metodychni vkazivky* (2007). Kyiv: OEP «HRIFRE», 70.
4. IEC 60567:1992-07. *Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases* (2005). Geneva, 80.
5. Zaytsev, S. V., Kishnevskiy, V. A., Oborskiy, G. A., Prokopovich, I. V.; Kishnevskiy, V. A. (Ed.) (2019). *Sovremennyye metody kontrolya energeticheskikh masel i produktov ih degradatsii dlya obespecheniya nadezhnosti ekspluatatsii maslonapolnennogo elektrooborudovaniya elektricheskikh stantsiy i setey*. Odessa: Ekologiya, 304.
6. IEC 60666 Ed. 2.0 b:2010. *Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils* (2010).
7. SOU-N EE 43.101:2009. *Pryimannia, zastosuvannia ta ekspluatatsiya transformatornykh masel*. Normy otsiniuvannia yakosti (2009). K.: KVITs: Minpalyvenerho Ukrainy, 152.
8. ASTM D 4768-96. *Standard Test Method for Analysis of 2,6-Ditertiary-Butyl Para-Cresol and 2,6-Ditertiary-Butyl Phenol in Insulating Liquids by Gas Chromatography* (1996). ASTM International. doi: <http://doi.org/10.1520/D4768-96>
9. RD 34.43.107-95. *Procedural Guidelines for the Determination of Content of Water and Air in Transformer Oil* (1995). Moscow: «RAO «EES Rossii»».

10. ISO 9377-2:2000. Water quality – Determination of hydrocarbon oil index – Part 2: Method using solvent extraction and gas chromatography.
11. SOU NAEK 085:2015. Eksploatatsiia tekhnolohichnoho kompleksu. Turbinni olyvy dlia enerhetychnoho obladnannia AES. Pravyla eksploatatsiyi (2015). Kyiv: NAEK «Enerhoatom»: Standart derzhavnoho pidpriemstva «Natsionalnoi atomnoi enerhoheneruiuchoi kompaniyi «Enerhoatom», 53.
12. Halikov, R. A., Os'kin, Yu. V., Haziahmetov, M. F., Fashutdinov, A. A. (2015). O defektah teploobmennogo oborudovaniya neftepererabatyvayushchih i neftehimicheskikh predpriyatii. Ekspertiza promyshlennoy bezopasnosti i diagnostika opasnykh proizvodstvennykh obektov, 5, 42–45.
13. GND 95.1.06.02.002-01. Vodno-himicheskiiy rezhim vtorogo kontura atomnykh elektrostantsiy s reaktorami tipa VVER. Tehnicheskie trebovaniya k kachestvu rabochey sredey. Sposoby obespecheniya (2001). Kyiv: Energoatom: GNITS SKAR: Mintopenergo Ukrainy, 23.
14. SOU-N EE 46.501:2006. Diahnostyka maslonapovnenoho transformatornoho obladnannia za rezultaty khromatohrafichnoho analizu vilnykh haziv, vidibranykh iz hazovoho rele, i haziv, rozchynenykh u izoliatsynomu masli. Metodychni vkazivky (2007). Kyiv: OEP «HRIFRE», 92.
15. Lelekakis, N., Martin, D., Guo, W., Wijaya, J. (2011). Comparison of dissolved gas-in-oil analysis methods using a dissolved gas-in-oil standard. IEEE Electrical Insulation Magazine, 27 (5), 29–35. doi: <https://doi.org/10.1109/mei.2011.6025366>
16. Tang, X., Wang, W., Zhang, X., Wang, E., Li, X. (2018). On-Line Analysis of Oil-Dissolved Gas in Power Transformers Using Fourier Transform Infrared Spectrometry. Energies, 11 (11), 3192. doi: <https://doi.org/10.3390/en11113192>
17. Arora, R. K. (2013). Different DGA Techniques for Monitoring of Transformers. International Journal of Electronics and Electrical Engineering, 1 (4), 299–303. doi: <https://doi.org/10.12720/ijeee.1.4.299-303>
18. Illias, H. A., Zhao Liang, W. (2018). Identification of transformer fault based on dissolved gas analysis using hybrid support vector machine-modified evolutionary particle swarm optimisation. PLOS ONE, 13 (1), e0191366. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191366>
19. Ravichandran, N., Jayalakshmi, V. (2019). Investigations on Power Transformer Faults Based on Dissolved Gas Analysis. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 8 (6S), 296–299.
20. Zaitsev, S., Kishnevsky, V., Savich, S. (2014). Development of methods for the gas chromatographic determination of the content of dissolved components in the energy oils. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (6 (72)), 34–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29389>
21. Bryzhatiuk, O. A. (2018). Using of inhibitors in circulating cooling systems of responsible NPP consumers. Tezy dopovidei 53-oi konferentsiyi molodykh doslidnykiv ONPU-mahistrantiv «Suchasni informatsiini tekhnolohiyi ta telekomunikatsiyni merezhi». Odessa: ONPU, 53, 144–149.
22. Cortes, J. E., Suspes, A., Roa, S., González, C., Castro, H. E. (2012). Total petroleum hydrocarbons by gas chromatography in Colombian waters and soils. American Journal of Environmental Sciences, 8 (4), 396–402. doi: <https://doi.org/10.3844/ajesp.2012.396.402>
23. Allahbakhshi, M., Azirani, A. A. (2011). Novel Fusion Approaches for the Dissolved Gas Analysis of Insulating Oil. Iranian Journal of Science and Technology Transaction B: Engineering, 35 (E1), 13–24.
24. Narang, E., Sehgal, S., Singh, D. (2012). Fault Detection Techniques For Transformer Maintenance Using Dissolved Gas Analysis. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 1 (6).
25. 214.2.840.030-03D. Hromatografy gazovye «Kristall 2000M». Metodika poverki (2017). Yoshkar-Ola.
26. Zaitsev, S., Kyshnevsky, V., Shulyak, I. (2015). The method of additives in devising a gas chromatographic method to determine ionol and water in energy oils. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (6 (74)), 21–28. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.40896>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213099**

**DEVELOPMENT OF VOLTAGE GENERATION USING BAMBOO-BASED ACTIVATED CARBON WITH WATER ELECTROLYTE IN THREE TYPES OF ELECTRODES (p. 71–79)**

**Si Putu Gede Gunawan Tista**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7562-6644>

**Eko Siswanto**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1560-8073>

**Mega Nur Sasongko**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0275-6947>

**I Nyoman Gede Wardana**

Brawijaya University, Malang, Indonesia

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3146-9517>

The use of a battery as a power supply for small electronic devices, such as camera, laptop, and handphone, with a wireless sensory network, is currently being developed. Besides, climate change keeps on worsening because of the use of fossil fuel emitting carbon and increase in global warming. However, due to climate change, many have sought alternatives to reduce carbon emissions. Therefore, the use of environmentally friendly material such as bamboo is essential. The generation of electrical energy in this study used bamboo-based activated carbon as an electrode, which was put between counter electrodes. The electrical energy was generated from a system consisting of a counter electrode – electrode – counter electrode. Three types of counter electrode tested were copper, aluminum, and aluminum foil. An electrolyte was injected between the electrode and counter electrode before being heated. The electrolyte tested was distilled water. The electrostatic force was generated by water electrolyte ions toward the poles of functional groups, the electrical charge of the pores, and electron mobility in the counter electrode; so, the release of electrons occurred. The result shows that the highest thermal sensitivity of the electrical voltage ( $dV/dT$ ) was generated by aluminum 64.043 mV/°C, followed by aluminum foil 63.578 mV/°C and copper 6.136 mV/°C. This is because the electron mobility in aluminum was higher while the phosphorus content of the aluminum foil tends to attract electrons, inhibiting the release of electrons. The electrical voltage generated was effective when above the temperature of  $\Delta T=45$  °C. This is because the hydrogen bond of the water molecule was weakened, causing the ions to become easily attracted to the activated carbon surface inducing more release of electrons.

**Keywords:** bamboo activated carbon, counter electrode, water, thermal, functional group, voltage.

**Reference**

1. Shah, J., Jan, M. R., Mabood, F., Shahid, M. (2006). Conversion of Waste Tyres into Carbon Black and their Utilization as Adsorbent. Journal of the Chinese Chemical Society, 53 (5), 1085–1089. doi: <https://doi.org/10.1002/jccs.200600144>
2. Lazkano, I., Nøstbakken, L., Pelli, M. (2017). From fossil fuels to renewables: The role of electricity storage. European Economic Review, 99, 113–129. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2017.03.013>

3. Yang, C.-S., Jang, Y. S., Jeong, H. K. (2014). Bamboo-based activated carbon for supercapacitor applications. *Current Applied Physics*, 14 (12), 1616–1620. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cap.2014.09.021>
4. Ye, X., Yang, Q., Zheng, Y., Mo, W., Hu, J., Huang, W. (2014). Bio-template synthesis of carbon nanostructures using bamboo as both the template and the carbon source. *Materials Research Bulletin*, 51, 366–371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.12.032>
5. Tavakkoli, S., Lokare, O. R., Vidic, R. D., Khanna, V. (2016). Systems-Level Analysis of Waste Heat Recovery Opportunities from Natural Gas Compressor Stations in the United States. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4 (7), 3618–3626. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01685>
6. Xie, M., Dunn, S., Boulbar, E. L., Bowen, C. R. (2017). Pyroelectric energy harvesting for water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (37), 23437–23445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.02.086>
7. Macías-García, A., Torrejón-Martín, D., Díaz-Diez, M. Á., Carrasco-Amador, J. P. (2019). Study of the influence of particle size of activate carbon for the manufacture of electrodes for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 25, 100829. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100829>
8. B Xu, B., Liu, L., Lim, H., Qiao, Y., Chen, X. (2012). Harvesting energy from low-grade heat based on nanofluids. *Nano Energy*, 1 (6), 805–811. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.07.013>
9. Siddique, A. R. M., Mahmud, S., Heyst, B. V. (2017). A review of the state of the science on wearable thermoelectric power generators (TEGs) and their existing challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 730–744. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.177>
10. Du, L., Shi, G., Zhao, J. (2014). Review of Micro Magnetic Generator. *Sensors & Transducers*, 176 (8) 1–12. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/aeca/67ab520d7279c6dd7ac636e51b9492b1d5c5.pdf>
11. Lim, H., Shi, Y., Wang, M., Qiao, Y. (2015). Effects of work function on thermal sensitivity of electrode potential. *Applied Physics Letters*, 106 (22), 223901. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4921769>
12. Sun, F., Wang, L., Peng, Y., Gao, J., Pi, X., Qu, Z. et. al. (2018). Converting biomass waste into microporous carbon with simultaneously high surface area and carbon purity as advanced electrochemical energy storage materials. *Applied Surface Science*, 436, 486–494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.067>
13. Wang, Q., Yan, J., Fan, Z. (2016). Carbon materials for high volumetric performance supercapacitors: design, progress, challenges and opportunities. *Energy & Environmental Science*, 9 (3), 729–762. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ee03109e>
14. Li, L., Quinlivan, P. A., Knappe, D. R. U. (2002). Effects of activated carbon surface chemistry and pore structure on the adsorption of organic contaminants from aqueous solution. *Carbon*, 40 (12), 2085–2100. doi: [https://doi.org/10.1016/s0008-6223\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/s0008-6223(02)00069-6)
15. Wang, J., Feng, S.-P., Yang, Y., Hau, N. Y., Munro, M., Ferreira-Yang, E., Chen, G. (2015). “Thermal Charging” Phenomenon in Electrical Double Layer Capacitors. *Nano Letters*, 15 (9), 5784–5790. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.5b01761>
16. Qiao, Y., Punyamurtual, V. K., Han, A., Lim, H. (2008). Thermal-to-electric energy conversion of a nanoporous carbon. *Journal of Power Sources*, 183 (1), 403–405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.05.008>
17. Lim, H., Shi, Y., Qiao, Y. (2016). Thermally chargeable supercapacitor working in a homogeneous, changing temperature field. *Applied Physics A*, 122 (4). doi: <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9981-2>
18. Lim, H., Shi, Y., Qiao, Y. (2017). Thermally chargeable supercapacitor based on nickel-coated nanoporous carbon. *International Journal of Green Energy*, 15 (2), 53–56. doi: <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1313737>
19. Liu, K., Ding, T., Li, J., Chen, Q., Xue, G., Yang, P. et. al. (2018). Thermal-Electric Nanogenerator Based on the Electrokinetic Effect in Porous Carbon Film. *Advanced Energy Materials*, 8 (13), 1702481. doi: <https://doi.org/10.1002/aenm.201702481>
20. Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., Ngah, C. W. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218–235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051>
21. Ngafwan, N., Wardana, I. N. G., Wijayanti, W., Siswanto, E. (2018). The role of NaOH and papaya latex bio-activator during production of carbon nanoparticle from rice husks. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 9 (4), 045011. doi: <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aaf3af>
22. Zhang, X., Zhao, L.-D. (2015). Thermoelectric materials: Energy conversion between heat and electricity. *Journal of Materiomics*, 1 (2), 92–105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2015.01.001>
23. Brini, E., Fennell, C. J., Fernandez-Serra, M., Hribar-Lee, B., Lukšič, M., Dill, K. A. (2017). How Water's Properties Are Encoded in Its Molecular Structure and Energies. *Chemical Reviews*, 117 (19), 12385–12414. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00259>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213277**  
**DEVELOPMENT OF BAMBOO CHARCOAL AND FRAGARIA VESCA POWDER PHOTOCATALYSTS IN HYDROGEN PRODUCTION VIA WATER SPLITTING (p. 80–92)**

**Yepy Komaril Sofri**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1930-6101>

**Eko Siswanto**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1560-8073>

**Winarto**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7988-1132>

**I Nyoman Gede Wardana**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3146-9517>

Hydrogen has become the subject of attention as an environmentally friendly and effective source in recent years. The photocatalysis method with biomass-photocatalyst is an alternative step for hydrogen production via water splitting. In this study, bamboo charcoal (BC) and *Fragaria Vesca* Powder (FVP) are biomass materials used to develop photocatalysts in hydrogen production. The light source for photocatalysis was a halogen lamp with a wavelength of 560 nm. The hydrogen gas produced is measured using the MQ-8 sensor which is capable of measuring hydrogen gas in 100–10,000 ppm. Hydrogen production is significantly increased with the combination of the BC and FVP photocatalysts. Based on scanning electron microscope (SEM) image analysis by Image J software, BC and FVP have a negative and positive charge, respectively. The aromatic carbon ring in BC has an energy gap of 2.48 eV whereas that in FVP has a lower energy gap, 2.32 eV due to functional groups energizing electron in the FVP aromatic ring. The interaction between positive and negative charges when BC and FVP are combined generates the second lower energy gap in the combined catalyst, 1.66 eV that tends to increase electron density on the catalyst surface. The more dense electrons destabilize more hydrogen and covalent bonds in water increasing hydrogen production by 20 times from that with BC only or by 4 times from that with FVP only. When aluminum foil (AF) was added to the bottom of the reactor tube, the photocatalyst's performance was strengthened. The AF material was an 8011 aluminum alloy with a thickness of 0.02 mm and a diameter of 80 mm. AF has two important roles, that

is, accelerates reduction reaction and facilitates the breaking of the hydrogen and covalent bonds in water.

**Keywords:** bamboo charcoal, *Fragaria Vesca* powder, aluminum foil, biomass, hydrogen, photocatalysis.

## References

- Hansen, J., Kharecha, P., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Ackerman, F., Beerling, D. J. et al. (2013). Assessing "Dangerous Climate Change": Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature. *PLoS ONE*, 8 (12), e81648. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081648>
- Ren, R., Zhao, H., Sui, X., Guo, X., Huang, X., Wang, Y. et al. (2019). Exfoliated Molybdenum Disulfide Encapsulated in a Metal Organic Framework for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution. *Catalysts*, 9 (1), 89. doi: <https://doi.org/10.3390/catal9010089>
- Zhong, Y., Shao, Y., Ma, F., Wu, Y., Huang, B., Hao, X. (2017). Band-gap-matched CdSe QD/WS 2 nanosheet composite: Size-controlled photocatalyst for high-efficiency water splitting. *Nano Energy*, 31, 84–89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2016.11.011>
- Dincer, I., Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40 (34), 11094–11111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.12.035>
- Hibino, T., Kobayashi, K., Ito, M., Nagao, M., Fukui, M., Teranishi, S. (2018). Direct electrolysis of waste newspaper for sustainable hydrogen production: an oxygen-functionalized porous carbon anode. *Applied Catalysis B: Environmental*, 231, 191–199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.03.021>
- Chua, C. S., Ansovini, D., Lee, C. J. J., Teng, Y. T., Ong, L. T., Chi, D. et al. (2016). The effect of crystallinity on photocatalytic performance of Co3O4 water-splitting cocatalysts. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 18 (7), 5172–5178. doi: <https://doi.org/10.1039/c5cp07589k>
- Tahir, M., Amin, N. S. (2013). Advances in visible light responsive titanium oxide-based photocatalysts for CO2 conversion to hydrocarbon fuels. *Energy Conversion and Management*, 76, 194–214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.046>
- Chiarello, G. L., Dozzi, M. V., Scavini, M., Grunwaldt, J.-D., Selli, E. (2014). One step flame-made fluorinated Pt/TiO2 photocatalysts for hydrogen production. *Applied Catalysis B: Environmental*, 160–161, 144–151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.05.006>
- Mu, R., Zhao, Z., Dohnlek, Z., Gong, J. (2017). Structural motifs of water on metal oxide surfaces. *Chemical Society Reviews*, 46 (7), 1785–1806. doi: <https://doi.org/10.1039/c6cs00864j>
- Etacheri, V., Di Valentin, C., Schneider, J., Bahnemann, D., Pillai, S. C. (2015). Visible-light activation of TiO2 photocatalysts: Advances in theory and experiments. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 25, 1–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2015.08.003>
- Dubey, P. K., Tripathi, P., Tiwari, R. S., Sinha, A. S. K., Srivastava, O. N. (2014). Synthesis of reduced graphene oxide–TiO2 nanoparticle composite systems and its application in hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (29), 16282–16292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.03.104>
- Chiu, I., Lin, S.-X., Kao, C.-T., Wu, R.-J. (2014). Promoting hydrogen production by loading PdO and Pt on N–TiO2 under visible light. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (27), 14574–14580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.07.034>
- Wang, S., Zhu, B., Liu, M., Zhang, L., Yu, J., Zhou, M. (2019). Direct Z-scheme ZnO/CdS hierarchical photocatalyst for enhanced photocatalytic H2-production activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 243, 19–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.019>
- Wang, P., Li, H., Sheng, Y., Chen, F. (2019). Inhibited photocorrosion and improved photocatalytic H2-evolution activity of CdS photocatalyst by molybdate ions. *Applied Surface Science*, 463, 27–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.125>
- Renuka, L., Anantharaju, K. S., Vidya, Y. S., Nagaswarupa, H. P., Prashantha, S. C., Sharma, S. C. et al. (2017). A simple combustion method for the synthesis of multi-functional ZrO2/CuO nanocomposites: Excellent performance as Sunlight photocatalysts and enhanced latent fingerprint detection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 210, 97–115. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.03.055>
- Gao, N., Lu, Z., Zhao, X., Zhu, Z., Wang, Y., Wang, D. et al. (2016). Enhanced photocatalytic activity of a double conductive C/Fe3O4/Bi2O3 composite photocatalyst based on biomass. *Chemical Engineering Journal*, 304, 351–361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.063>
- Carrasco-Jaim, O. A., Torres-Martínez, L. M., Moctezuma, E. (2018). Enhanced photocatalytic hydrogen production of AgMO3 (M = Ta, Nb, V) perovskite materials using CdS and NiO as co-catalysts. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 358, 167–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.03.021>
- Ramesh Reddy, N., Bhargav, U., Mamatha Kumari, M., Cheralathan, K. K., Sakar, M. (2020). Review on the interface engineering in the carbonaceous titania for the improved photocatalytic hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (13), 7584–7615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.041>
- Roehrich, B. W., Han, R., Osterloh, F. E. (2020). Hydrogen evolution with fluorescein-sensitized Pt/SrTiO3 nanocrystal photocatalysts is limited by dye adsorption and regeneration. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 400, 112705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112705>
- Popugaeva, D., Tian, T., Ray, A. K. (2020). Hydrogen production from aqueous triethanolamine solution using Eosin Y-sensitized ZnO photocatalyst doped with platinum. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (19), 11097–11107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.055>
- Velázquez, J. J., Fernández-González, R., Díaz, L., Pulido Melián, E., Rodríguez, V. D., Núñez, P. (2017). Effect of reaction temperature and sacrificial agent on the photocatalytic H2-production of Pt-TiO2. *Journal of Alloys and Compounds*, 721, 405–410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.05.314>
- Li, Z., Qi, Y., Wang, W., Li, D., Li, Z., Xiao, Y. et al. (2019). Blocking backward reaction on hydrogen evolution cocatalyst in a photosystem II hybrid Z-scheme water splitting system. *Chinese Journal of Catalysis*, 40 (4), 486–494. doi: [https://doi.org/10.1016/s1872-2067\(19\)63311-5](https://doi.org/10.1016/s1872-2067(19)63311-5)
- Wu, F., Liu, W., Qiu, J., Li, J., Zhou, W., Fang, Y. et al. (2015). Enhanced photocatalytic degradation and adsorption of methylene blue via TiO2 nanocrystals supported on graphene-like bamboo charcoal. *Applied Surface Science*, 358, 425–435. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.161>
- De Cordoba, M. C. F., Matos, J., Montaña, R., Poon, P. S., Lanfredi, S., Praxedes, F. R. et al. (2019). Sunlight photoactivity of rice husks-derived biogenic silica. *Catalysis Today*, 328, 125–135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.12.008>
- Baharum, N. A., Nasir, H. M., Ishak, M. Y., Isa, N. M., Hassan, M. A., Aris, A. Z. (2020). Highly efficient removal of diazinon pesticide from aqueous solutions by using coconut shell-modified biochar. *Arabian Journal of Chemistry*, 13 (7), 6106–6121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.05.011>
- Li, C.-J., Zhao, R., Peng, M.-Q., Gong, X.-L., Xia, M., Li, K. et al. (2017). Mechanism study on denitration by new PMS modified bamboo charcoal bifunctional photocatalyst. *Chemical Engineering Journal*, 316, 544–552. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.095>
- Wang, J., Zhang, X., Li, Z., Ma, Y., Ma, L. (2020). Recent progress of biomass-derived carbon materials for supercapacitors. *Jour-*

- nal of Power Sources, 451, 227794. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227794>
28. Zhu, J., Jia, J., Tjong, S. C. (2014). Preparation, Structure, and Application of Carbon Nanotubes/Bamboo Charcoal Composite. *Nanocrystalline Materials*, 1–25. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407796-6.00001-4>
  29. Pattanayak, S., Loha, C., Hauchhum, L., Sailo, L. (2020). Application of MLP-ANN models for estimating the higher heating value of bamboo biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi: <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00685-2>
  30. Arend, G. D., Adorno, W. T., Rezzadori, K., Di Luccio, M., Chaves, V. C., Reginatto, F. H., Petrus, J. C. C. (2017). Concentration of phenolic compounds from strawberry (*Fragaria X ananassa* Duch) juice by nanofiltration membrane. *Journal of Food Engineering*, 201, 36–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.014>
  31. Buchweitz, M., Speth, M., Kammerer, D. R., Carle, R. (2013). Stabilisation of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) anthocyanins by different pectins. *Food Chemistry*, 141 (3), 2998–3006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.117>
  32. Zani, M., Sala, V., Irde, G., Pietralunga, S. M., Manzoni, C., Cerullo, G. et. al. (2018). Charge dynamics in aluminum oxide thin film studied by ultrafast scanning electron microscopy. *Ultramicroscopy*, 187, 93–97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2018.01.010>
  33. Tanaka, A., Hashimoto, K., Kominami, H. (2014). Visible-Light-Induced Hydrogen and Oxygen Formation over Pt/Au/WO<sub>3</sub> Photocatalyst Utilizing Two Types of Photoabsorption Due to Surface Plasmon Resonance and Band-Gap Excitation. *Journal of the American Chemical Society*, 136 (2), 586–589. doi: <https://doi.org/10.1021/ja410230u>
  34. Bao, D., Gao, P., Zhu, X., Sun, S., Wang, Y., Li, X. et. al. (2015). ZnO/ZnS Heterostructured Nanorod Arrays and Their Efficient Photocatalytic Hydrogen Evolution. *Chemistry - A European Journal*, 21 (36), 12728–12734. doi: <https://doi.org/10.1002/chem.201501595>
  35. Speltini, A., Sturini, M., Dondi, D., Annovazzi, E., Maraschi, F., Caratto, V. et. al. (2014). Sunlight-promoted photocatalytic hydrogen gas evolution from water-suspended cellulose: a systematic study. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 13 (10), 1410–1419. doi: <https://doi.org/10.1039/c4pp00128a>
  36. Jia, L., Li, J., Fang, W. (2010). Effect of H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> mixture gas treatment temperature on the activity of LaNiO<sub>3</sub> catalyst for hydrogen production from formaldehyde aqueous solution under visible light. *Journal of Alloys and Compounds*, 489 (2), L13–L16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.09.104>
  37. Speltini, A., Sturini, M., Maraschi, F., Dondi, D., Fisogni, G., Annovazzi, E. et. al. (2015). Evaluation of UV-A and solar light photocatalytic hydrogen gas evolution from olive mill wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40 (12), 4303–4310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.182>
  38. Sof'i, Y. K., Siswanto, E., Winarto, Ueda, T., Wardana, I. N. G. (2020). The role of activated carbon in boosting the activity of *Clitoria ternatea* powder photocatalyst for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (43), 22613–22628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.103>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216995

**A RESEARCH OF COLLOIDAL SILVER  
IMMOBILIZATION IN BIONANOCOMPOSITES OF  
NATURAL POLYMERS AND MONTMORILLONITE  
(p. 93–101)**

**Kuanyshbek Musabekov**

National Nanotechnology Laboratory of Open Type  
Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

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

**Zhakyp Botagoz**

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7540-0872>

**Sagdat Tazhibayeva**

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

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

**Nurlan Musabekov**

National Nanotechnology Laboratory of Open Type  
Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**Ayagoz Yergaliyeva**

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

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9570-6457>

Currently, colloidal silver particles are used in the creation of electronic, optical, and sensor devices of a new generation. Silver-containing bionanocomposites (BNCs) were synthesized by immobilization of colloidal montmorillonite particles containing colloidal silver in a composition of sodium alginate and sodium salt of carboxymethylcellulose. Silver-containing montmorillonite particles Ag-Mt were obtained by replacing Na<sup>+</sup> ions in layered silicate galleries with Ag<sup>+</sup> ions, followed by the transformation of silver ions into silver particles. The introduction of Ag<sup>+</sup> ions into the montmorillonite structure is justified by infrared spectroscopy. When studying the strength of bionanocomposite films, it was found that with an increase in the content of Ag-Mt particles in their composition, the strength increases and the deformation decreases.

It is found that the equilibrium values of the swelling constant are set in ~30 minutes. At the same time, with an increase in the Ag-Mt content in the bionanocomposite from 3 % to 10 %, the value of the equilibrium swelling coefficient ( $K_{swell}$ ) decreases by 2.8 times. The replacement of Na<sup>+</sup> ions with Ag<sup>+</sup> ions in the montmorillonite structure is accompanied by a decrease in the swelling of bionanocomposites, which is explained by the lower hydration of Ag<sup>+</sup> ions compared to Na<sup>+</sup> ions. As another reason for the decrease in the swelling of bionanocomposites with an increase in the proportion of Ag-Mt in their composition, enhancing their ability to structure formation in the presence of a clay mineral is indicated.

The kinetics of the release of Ag<sup>+</sup> ions from bionanocomposites into saline has been studied. It is shown that the release of Ag<sup>+</sup> ions increases with increasing pH of the medium.

**Keywords:** colloidal silver, bionanocomposites, montmorillonite interlayer space, alginate, carboxymethylcellulose, tensile strength.

**References**

1. Krutyakov, Y. A., Kudrinskiy, A. A., Olenin, A. Y., Lisichkin, G. V. (2008). Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects. *Russian Chemical Reviews*, 77 (3), 233–257. doi: <https://doi.org/10.1070/rc2008v077n03abeh003751>
2. Wright, G. (2005). Bacterial resistance to antibiotics: Enzymatic degradation and modification. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 57 (10), 1451–1470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.04.002>
3. Shen, L., Wang, B., Wang, J., Fu, J., Picart, C., Ji, J. (2012). Asymmetric Free-Standing Film with Multifunctional Anti-Bacterial and Self-Cleaning Properties. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4 (9), 4476–4483. doi: <https://doi.org/10.1021/am301118f>
4. Simončič, B., Klemenčič, D. (2015). Preparation and performance of silver as an antimicrobial agent for textiles: A review. *Textile Research Journal*, 86 (2), 210–223. doi: <https://doi.org/10.1177/0040517515586157>

5. De Azeredo, H. M. C. (2013). Antimicrobial nanostructures in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 30 (1), 56–69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.11.006>
6. Shamel, K., Mansor Bin Ahmad, M., Mohsen, Z., Yunis, W. Z., Ibrahim, N. A., Rustaiyan, A. (2011). Synthesis of silver nanoparticles in montmorillonite and their antibacterial behavior. *International Journal of Nanomedicine*, 6, 581–590. doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s17112>
7. An, J., Luo, Q., Yuan, X., Wang, D., Li, X. (2011). Preparation and characterization of silver-chitosan nanocomposite particles with antimicrobial activity. *Journal of Applied Polymer Science*, 120 (6), 3180–3189. doi: <https://doi.org/10.1002/app.33532>
8. Pinto, R. J. B., Fernandes, S. C. M., Freire, C. S. R., Sadocco, P., Causio, J., Neto, C. P., Trindade, T. (2012). Antibacterial activity of optically transparent nanocomposite films based on chitosan or its derivatives and silver nanoparticles. *Carbohydrate Research*, 348, 77–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2011.11.009>
9. Wang, B.-L., Liu, X.-S., Ji, Y., Ren, K.-F., Ji, J. (2012). Fast and long-acting antibacterial properties of chitosan-Ag/polyvinylpyrrolidone nanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 90 (1), 8–15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.03.080>
10. Sotiriou, G. A., Meyer, A., Knijnenburg, J. T. N., Panke, S., Pratsinis, S. E. (2012). Quantifying the Origin of Released Ag<sup>+</sup> Ions from Nanosilver. *Langmuir*, 28 (45), 15929–15936. doi: <https://doi.org/10.1021/la303370d>
11. Burkova, Y. L., Beleneva, I. A., Shchipunov, Y. A. (2015). Bactericidal sodium alginate films containing nanosized silver particles. *Colloid Journal*, 77 (6), 707–714. doi: <https://doi.org/10.1134/s1061933x15060058>
12. Lavorgna, M., Attianese, I., Buonocore, G. G., Conte, A., Del Nobile, M. A., Tescione, F., Amendola, E. (2014). MMT-supported Ag nanoparticles for chitosan nanocomposites: Structural properties and antibacterial activity. *Carbohydrate Polymers*, 102, 385–392. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.026>
13. Tazhibayeva, S., Tyussyupova, B., Yermagambetova, A., Kokanbayev, A., Musabekov, K. (2020). Preparation and regulation of structural-mechanical properties of biodegradable films based on starch and agar. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (107)), 40–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213226>
14. Tyutrina, S. V., Kuznetsova, N. S., Burnashova, N. N. (2012). Spectral characteristics of the silicates of Zabaykalsky Krai and their composites when exposed to ultrasonic vibrations. *Fundamental research*, 9 (2), 460–464.
15. Plotnikova, L. V., Uspenskaya, M. V. Ignat'eva, Yu. A. (2016). Modifikatsiya obogashchennogo bentonita ionami serebra. *Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen'*, 48–51.
16. Incoronato, A. L., Buonocore, G. G., Conte, A., Lavorgna, M., Del Nobile, M. A. (2010). Active Systems Based on Silver-Montmorillonite Nanoparticles Embedded into Bio-Based Polymer Matrices for Packaging Applications. *Journal of Food Protection*, 73 (12), 2256–2262. doi: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.12.2256>
17. Mishra, R. K., Ramasamy, K., Lim, S. M., Ismail, M. E., Majeed, A. B. A. (2014). Antimicrobial and in vitro wound healing properties of novel clay based bionanocomposite films. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 25 (8), 1925–1939. doi: <https://doi.org/10.1007/s10856-014-5228-y>
18. Kumar, P., Sandeep, K. P., Alavi, S., Truong, V. D., Gorga, R. E. (2010). Preparation and characterization of bio-nanocomposite films based on soy protein isolate and montmorillonite using melt extrusion. *Journal of Food Engineering*, 100 (3), 480–489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.035>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216835

**DESIGN OF A COMPOSITION BASED ON POLYETHYLENE AND MARBLE MICROPARTICLES THAT DECOMPOSES UNDER THE EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION (p. 102–110)**

**Arkadyi Petukhov**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8811-1802>

**Oleg Shnyruk**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7840-6201>

**Ihor Mikulionok**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-7229>

**Oleksandr Gavva**

Educational-Scientific Engineering-Technical Institute  
named after acad. I. S. Gulyiy  
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2938-0230>

**Liudmyla Kryvoplias-Volodina**

Educational-Scientific Engineering-Technical Institute  
named after acad. I. S. Gulyiy  
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9906-6381>

Among the issues related to the disposal of polymers' waste is the design of cheap biodegradable polymeric materials, which are destroyed as a result of natural microbiological and chemical processes. Since the synthesis of biodegradable polymers is characterized by high material and energy costs, the filled biodegradable polymeric materials are more promising.

This paper substantiates the feasibility of using marble microparticles as a filler for the biodegradable polymeric material based on high-pressure polyethylene whose decomposition rate increases under the conditions of ultraviolet radiation.

Samples of the biodegradable polymeric material with the different content of a filler, the microparticles of marble (from 0 to 5.1 % by weight), were made; their physical-mechanical properties were investigated. It has been experimentally proven that UV radiation destroys polyethylene macromolecules into separate fragments with the formation of >C=O bonds, making it possible to decompose appropriate waste under the influence of sunlight.

The feasibility of using the composition “high-pressure polyethylene – microparticles of marble” with a marble content of 1.78 % by weight has been confirmed for the manufacture of the sleeve and flat polymeric films for packaging and agricultural purposes, in particular, packing stretch film.

Recommendations have been given on using the proposed biodegradable polymeric material. In particular, it is proposed that the production of articles from the “high-pressure polyethylene – microparticles of marble” composition should utilize a pre-obtained granulate of the required formulation. When making articles from the composition obtained directly in the extruder that molds the products, it is possible to apply adhesive additives to improve the interaction between a polymeric matrix and the filler's particles.

**Keywords:** extrusion, polymeric film, high-pressure polyethylene, marble microparticles, ultraviolet radiation, decomposition.

## References

- Three-age system. Available at: [https://ru.qwe.wiki/wiki/Three-age\\_system](https://ru.qwe.wiki/wiki/Three-age_system)
- Plastics – the Facts 2018. Available at: [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf)
- Mikulionok, I. O. (2011). Pretreatment of recycled polymer raw material. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 84 (6), 1105–1113. doi: <https://doi.org/10.1134/s1070427211060371>
- Kirsh, I. A., Chutkina, E. P. (2010). Biorazlagaemye polimernye kompozitsii na osnove othodov agropromyshlennogo kompleksa. *Plasticheskie massy*, 5, 45–48.
- Chung, D. D. L. (2010). *Composite Materials: Science and Applications*. Springer Science & Business Media, 371.
- Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L., Fraternali, F. (2017). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409–422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>
- Scaffaro, R., Maio, A., Suter, F., Gulino, E., Morreale, M. (2019). Degradation and Recycling of Films Based on Biodegradable Polymers: A Short Review. *Polymers*, 11 (4), 651. doi: <https://doi.org/10.3390/polym11040651>
- Karaođul, E. (2019). Effects of asphodel tuber and dolomite on the properties of bio-hybrid films processed by a twin screw extruder. *BioResources*, 14 (2), 4473–4488. Available at: [https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/04/BioRes\\_14\\_2\\_4473\\_Karaogul\\_Effects\\_Asphodel\\_Tuber\\_Dolomite\\_Props\\_Biohybrid\\_Films\\_15283-1.pdf](https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/04/BioRes_14_2_4473_Karaogul_Effects_Asphodel_Tuber_Dolomite_Props_Biohybrid_Films_15283-1.pdf)
- Nayak, S. K., Satapathy, A. (2020). Development and characterization of polymer-based composites filled with micro-sized waste marble dust. *Polymers and Polymer Composites*, 096739112092606. doi: <https://doi.org/10.1177/0967391120926066>
- Choudhary, M., Singh, T., Dwivedi, M., Patnaik, A. (2019). Waste marble dust-filled glass fiber-reinforced polymer composite Part I: Physical, thermomechanical, and erosive wear properties. *Polymer Composites*, 40 (10), 4113–4124. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.25272>
- Nayak, S. K., Satapathy, A. (2019). Wear analysis of waste marble dust-filled polymer composites with an integrated approach based on design of experiments and neural computation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 234 (12), 1846–1856. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650119896170>
- Sharma, A., Choudhary, M., Agarwal, P., Kumar Patnaik, T., Kumar Biswas, S., Patnaik, A. (2020). Experimental and numerical investigation of thermal conductivity of marble dust filled needle punched nonwoven jute-epoxy hybrid composite. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.097>
- Ray, S., Rout, A. K., Sahoo, A. K. (2018). A study on erosion performance analysis of glass-epoxy composites filled with marble waste using artificial neural network. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, 80 (4), 181–196.
- Bakshi, P., Pappu, A., Patidar, R., Gupta, M. K., Thakur, V. K. (2020). Transforming Marble Waste into High-Performance, Water-Resistant, and Thermally Insulative Hybrid Polymer Composites for Environmental Sustainability. *Polymers*, 12 (8), 1781. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12081781>
- Sokolova, Yu. A., Shubanov, S. M., Kandyrin, L. B., Kalugina, E. V. (2009). Polimernye nanokompozity. *Struktura. Svoystva. Plasticheskie massy*, 3/4, 18–23.
- Rybkina, S. P., Paharenko, V. A., Shostak, T. S., Paharenko, V. V. (2008). Osnovnye napravleniya v oblasti sozdaniya biorazlagaemykh termoplastov. *Plasticheskie massy*, 10, 47–54.
- Mikulionok, I. O. (2013). Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites. *Chemical and Petroleum Engineering*, 48 (11-12), 658–661. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9676-x>
- Mikulionok, I. O. (2015). Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials. *Chemical and Petroleum Engineering*, 51 (1-2), 14–19. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-015-9990-6>
- Bombelli, P., Howe, C. J., Bertocchini, F. (2017). Polyethylene biodegradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27 (8), R292–R293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.060>
- Tadmor, Z., Gogos, C. G. (2006). *Principles of polymer processing*. John Wiley & Sons, 984.
- Mikulionok, I. O., Radchenko, L. B. (2012). Screw extrusion of thermoplastics: I. General model of the screw extrusion. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (3), 489–504. doi: <https://doi.org/10.1134/s1070427211030305>
- Mikulionok, I. O., Radchenko, L. B. (2012). Screw extrusion of thermoplastics: II. Simulation of feeding zone of the single screw extruder. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (3), 505–514. doi: <https://doi.org/10.1134/s1070427211030317>
- Rauwendaal, C. (2014). *Polymer extrusion*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 950. doi: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
- Mikulionok, I., Gavva, O., Karvatskii, A., Yakymchuk, M. (2017). Modeling and analysis of the process of polymeric film cooling on the drum with a liquid cooling agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (89)), 67–74. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110687>
- Agassant, J.-F., Avenas, P., Carreau, P. J., Vergnes, B., Vincent, M. (2017). *Polymer Processing*. Carl Hanser Verlag, 883.
- Vlachopoulos, J., Vlachopoulos, N. D. (2019). Understanding rheology and technology of polymer extrusion. Dundas: Polydynamics Inc., 337.
- Mikulionok, I. O. (2013). Screw extruder mixing and dispersing units. *Chemical and Petroleum Engineering*, 49 (1-2), 103–109. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>
- Nikolaieva, I. V., Petukhov, A. D., Shnyruk, O. M., Melnyk, L. I., Nudchenko, L. A., Musienko, O. S. (2018). UF promin – ruivnykh khimichnykh zviazkiv stretch-plivok polietyleny vysokoho tysku. XI Mizhnarodna naukovo-tekhnicna WEB-konferentsiya «Kompozitsiyni materialy» (kviten 2018 r.): zbirka materialiv. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 51–54.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216745**  
**ASSESSMENT OF PHYSICOMECHANICAL**  
**PROPERTIES OF COMPOSITE FILMS BASED ON A**  
**STYRENE-ACRYLIC POLYMER, GLYCIDYL ETHER,**  
**AND A 3-AMINOPROPYLTRIEHTOXYSILANE**  
**COMPATIBILIZER (p. 111–116)**

**Mariia Pasichnyk**

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,  
Mykolaiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3213-9720>

**Olga Semeshko**

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8309-5273>

**Elena Kucher**

V. O. Sukhomlynskyi National University of Mykolaiv,  
Mykolaiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9963-6855>

**Tatyana Asaulyuk**

Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5961-6895>

**Viktoriya Vasylenko**

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3482-2750>

**Lyudmila Hyrlya**

Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8964-4253>

The study concerns composite materials based on polymer mixtures of a styrene-acrylic polymer, glycidyl ether, and a 3-aminopropyltriethoxysilane (APTES) compatibilizer. The use of a silane-type compatibilizer improves the compatibility of the components and has been shown to significantly increase the degree of crosslinking of the composition components. In this work, the structural parameters of the polymer network of the composition components depending on the compatibilizer concentration were researched by the method of equilibrium swelling. The optimal concentration of the compatibilizer was found to maximize the degree of crosslinking with a minimal number of active chains. This fact proves that the crosslinking in the composition is complete and the molecule does not contain active sites that have not reacted with the compatibilizer. The swelling kinetics of the polymer composite films proves that with an increase in the degree of crosslinking, the swelling of the polymer films decreases. Polymer films with a low proportion of active chains practically do not swell after the crosslinking process.

The article describes a possible mechanism of compatibilization involving 3-aminopropyltriethoxysilane as well as styrene-acrylic and glycidyl ether polymers. The 3-aminopropyltriethoxysilane compatibilizer has active functional groups that are located on opposite sides of the molecule; these are three active hydroxyl groups and one active amino group. Due to the presence of various functional groups, this compatibilizer can bind the polymers and thereby form strong polymer films.

This gives grounds to assert that the control of the compatibilizer concentration and the degree of crosslinking of the composition components provide prospects for the creation of polymer films with high physical and mechanical characteristics due to the high interfacial adhesion of the components in the composition.

**Keywords:** composite polymer films, compatibilizer, 3-aminopropyltriethoxysilane, physical and mechanical characteristics, degree of crosslinking of components.

#### References

- Srinivasulu, N. S. (2012). Mechanical properties of polymer composite materials. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 01 (01), 78–81. doi: <https://doi.org/10.15623/ijret.2012.0101010>
- Debbah, I., Krache, R., Aranburu, N., Etxeberria, A., Pérez, E., Benavente, R. (2020). Influence of ABS Type and Compatibilizer on the Thermal and Mechanical Properties of PC/ABS Blends. *International Polymer Processing*, 35 (1), 83–94. doi: <https://doi.org/10.3139/217.3858>
- Dewi, I. R., Indrajati, I. N., Nurhajati, D. W. (2018). Effect of compatibilizers on the mechanical and morphological properties of polycarbonate/poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) blends. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 432, 012039. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/432/1/012039>
- Eckelt, A., Eckelt, J., Wolf, B. A. (2012). Interpolymer Complexes and Polymer Compatibility. *Macromolecular Rapid Communications*, 33 (22), 1933–1937. doi: <https://doi.org/10.1002/marc.201200431>
- Gill, Y. Q., Irfan, M. S., Saeed, F., Nadeem, M., Ehsan, H. (2018). Silanized silica compatibilization of NBR/gelatin blends for the production of green rubber products. *Journal of Elastomers & Plastics*, 51 (5), 457–472. doi: <https://doi.org/10.1177/0095244318798142>
- Hassan, A. A., Formela, K., Wang, S. (2020). Enhanced interfacial and mechanical performance of styrene-butadiene rubber/silica composites compatibilized by soybean oil derived silanized plasticization. *Composites Science and Technology*, 197, 108271. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108271>
- Pearce, E. M., Kwei, T. K., Min, B. Y. (1984). Polymer Compatibilization Through Hydrogen Bonding. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry*, 21 (8-9), 1181–1216. doi: <https://doi.org/10.1080/00222338408056598>
- Sánchez-Valdes, S., Méndez-Nonell, J., Medellín-Rodríguez, F. J., Ramírez-Vargas, E., Martínez-Colunga, J. G., Soto-Valdez, H. et. al. (2009). Effect of PEGMA/amine silane compatibilizer on clay dispersion of polyethylene-clay nanocomposites. *Polymer Bulletin*, 63 (6), 921–933. doi: <https://doi.org/10.1007/s00289-009-0170-8>
- Yang, X., Song, J., Wang, H., Lin, Q., Jin, X., Yang, X., Li, Y. (2020). Reactive Comb Polymer Compatibilized Immiscible PVDF/PLLA Blends: Effects of the Main Chain Structure of Compatibilizer. *Polymers*, 12 (3), 526. doi: <https://doi.org/10.3390/polym12030526>
- Pasichnyk, M., Kucher, E. (2016). A mathematical modeling of crosslinking between components of a polymer composition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (80)), 4. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.63759>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217000**

**DETERMINING THE INFLUENCE OF CAVITATION TREATMENT ON THE OCTANE NUMBER OF GAS-CONDENSATE GASOLINE MODIFIED WITH ISOPROPANOL (p. 116–123)**

**Sergey Kudryavtsev**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine

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

**Alexey Tselishchev**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5758-2908>

**Sergey Leonenko**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0696-5685>

**Sergii Boichenko**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2489-4980>

**Marina Loria**

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, Ukraine

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

This paper reports a study into the effect of cavitation on the octane number of gas-condensate gasoline with the addition of isopropanol in the amount of 0–12 % by volume. The papers that confirm the impact of cavitation on the intensification of oil cracking reactions have been analyzed. Cavitation also initiates reactions of interaction between free radicals and alcohols. A laboratory installation scheme has been proposed to investigate the cavitation treatment process on the characteristics of gasoline modified with alcohols. A methodology has been devised for studying the effect of cavitation treatment intensity on the octane number of gasoline. A 0.3–0.9-point increase in the octane number of gas-condensate gasoline modified with isopropanol was experimentally proven following its cavitation treatment. The effect of the number of cavitation treatment cycles on the octane number indicator has been studied; it



is shown that the stable value of an increase in the octane number is achieved over 7–8 cycles of cavitation treatment at a pressure at the outlet from the nozzle of 9.0 MPa. A reduction in the isopropanol additive, required to produce gasoline brands A-95 and A-98, when using a cavitation treatment technology was substantiated. It has been experimentally confirmed that compared to simple mechanical mixing of alcohol and hydrocarbon gasoline, the application of cavitation reduces the consumption of isopropanol by 17 % (from 3.0 % to 2.5 % by volume) in the production of gasoline brand A-95; and by 14 % (from 8.1 % to 7.0 % by volume) in the production of gasoline brand A-98. The effect of isopropanol concentration on the increase in the octane number of gasoline, measured by research method, under conditions of cavitation treatment is nonlinear in nature: with highs at concentrations of 1.0 % by volume, 3.5 % by volume, and 6.5 % by volume. Varying the initial concentration of isopropanol and the octane number of a hydrocarbon gasoline fraction can optimize the technological mode of production of gasoline brands A-95 and A-98 in terms of raw materials and energy consumption.

**Keywords:** hydrodynamic cavitation, isopropanol, octane number, bioethanol, gas-condensate gasoline, octanometer, intensification.

## References

1. Kaushik, P., Kumar, A., Bhaskar, T., Sharma, Y. K., Tandon, D., Goyal, H. B. (2012). Ultrasound cavitation technique for up-gradation of vacuum residue. *Fuel Processing Technology*, 93 (1), 73–77. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.09.005>
2. Askarian, M., Vatani, A., Edalat, M. (2016). Heavy oil upgrading in a hydrodynamic cavitation system: CFD modelling, effect of the presence of hydrogen donor and metal nanoparticles. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95 (4), 670–679. doi: <http://doi.org/10.1002/cjce.22709>
3. Wan, C., Wang, R., Zhou, W., Li, L. (2019). Experimental study on viscosity reduction of heavy oil by hydrogen donors using a cavitating jet. *RSC Advances*, 9 (5), 2509–2515. doi: <http://doi.org/10.1039/c8ra08087a>
4. Price, R. J., Blazina, D., Smith, G. C., Davies, T. J. (2015). Understanding the impact of cavitation on hydrocarbons in the middle distillate range. *Fuel*, 156, 30–39. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.026>
5. Cui, J., Zhang, Z., Liu, X., Liu, L., Peng, J. (2020). Analysis of the viscosity reduction of crude oil with nano-Ni catalyst by acoustic cavitation. *Fuel*, 275, 117976. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117976>
6. Barletta, T. (2003). Pump cavitation caused by entrained gas. *Hydrocarbon Processing*, 82 (11), 69–72. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/282720713\\_Pump\\_cavitation\\_caused\\_by\\_entrained\\_gas](https://www.researchgate.net/publication/282720713_Pump_cavitation_caused_by_entrained_gas)
7. Promtov, M. A. (2017). Change in Fractional Composition of Oil in Hydro-Pulse Cavitation Processing. *Vestnik Tambovskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta*, 23 (3), 412–419. doi: <http://doi.org/10.17277/vestnik.2017.03.pp.412-419>
8. Nesterenko, A. I., Berlizov, Y. S. (2012). Modeling of the influence of cavitation on petroleum hydrocarbon cracking. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 48 (1), 49–58. doi: <http://doi.org/10.1007/s10553-012-0336-1>
9. Sawarkar, A. N. (2019). Cavitation induced upgrading of heavy oil and bottom-of-the-barrel: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 58, 104690. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104690>
10. Avvaru, B., Venkateswaran, N., Uppara, P., Iyengar, S. B., Katti, S. S. (2018). Current knowledge and potential applications of cavitation technologies for the petroleum industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 42, 493–507. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.12.010>
11. Lavrova, I. O., Said, V. A. (2013). Study of the influence of technological factors on the efficiency of the process of cavitation processing of oil products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (66)), 43–47. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19210>
12. Kravchenko, O., Suvorova, I., Baranov, I., Goman, V. (2017). Hydrocavitational activation in the technologies of production and combustion of composite fuels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (88)), 33–42. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108805>
13. Boichenko, S. V., Lanetskyi, V. H., Cherniak, L. M., Radomska, M. M., Kondakova, O. H. (2017). Research of cavitation influence on automobile gasoline octane number. *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*, 2, 107–114. doi: <http://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2017.111693>
14. Tselishchev, A., Loriya, M., Boychenko, S., Kudryavtsev, S., Lanneckij, 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: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001399>
15. Leonenko, S., Kudryavtsev, S., Glikina, I. (2017). Study of catalytic cracking process of fuel oil to obtain components of motor fuels using aerosol nanocatalysis technology. *Adsorption Science & Technology*, 35 (9-10), 878–883. doi: <http://doi.org/10.1177/0263617417722253>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217585**

## EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF APPROACHES TO REDUCE THE SLAGGING AND CORROSIVE ACTIVITY OF SALTY COAL (p. 124–133)

**Tatiana Shendrik**

L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6629-6471>

**Nataliya Dunayevska**

Coal Energy Technology Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3271-8204>

**Anton Fateyev**

Coal Energy Technology Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4129-3703>

**Anatoly Tsaryuk**

E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5762-5584>

**Valery Ielagin**

E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4335-5130>

The problems of reducing the slagging ability and corrosiveness of coal with a high content of low-melting salts (the so-called salty coal (SC) in the processes of its combustion) are considered. Salty coal is considered to be the coal, the ash of which contains  $\text{Na}_2\text{O} > 2\%$ . The object of study is the salty coal of Donbass and ways of solving the problems of its use. The influence of low-melting salts on the formation of ash deposits and the development of corrosion of the metal surface during the combustion of salty coal from different fields was determined.

A noticeable decrease in the slagging ability and corrosiveness of the test coal was noted during the removal of salts by water extraction. The composition of corrosive compounds (oxides  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and iron sulfide  $\text{FeS}$ ) has been determined, formed during the combustion of native coal, and their absence in the case of desalinated coal.

Artificial fuel mixtures produced from more reactive salty and conventional low reactive coal have been studied. To create a mixed fuel, long-flame salty coal (low stage of metamorphism) from the Northern Donbas and unsalty lean coal (high stage of metamorphism) from Kuzbas were used. A significant deviation (to 9 %) was noted for the release of ash during the combustion of mixtures from the additivity, indicating a chemical interaction between the mineral components of the mixture. The formation of new refractory mineral phases of ash (nepheline, ultramarine, combeite) during the combustion of composite fuel from coals of different metamorphism and salinity was established.

The obtained results will be useful in the development of recommendations for the preparation of model fuel mixtures and their accident-free combustion in industrial boiler units. Experimental data on the determination of new mineral compounds in the case of composite fuels can be used to create a general theory of slagging in the combustion of salty coal of different origins.

**Keywords:** salty coal, water-soluble compounds, combustion, slagging, surface corrosion, mixture, ash minerals.

### References

- Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2035 roku. Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist. Available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
- Ivanova, A. V. (2015). Usloviya formirovaniya i problemy osvoeniya solenyh ugley Ukrainy. Geoekologicheskie problemy uglepromyshlennyh territoriy: tr. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. Rostov-na-Donu, 188–199.
- Alam, M. T., Dai, B., Wu, X., Hoadley, A., Zhang, L. (2020). A critical review of ash slagging mechanisms and viscosity measurement for low-rank coal and bio-slugs. *Frontiers in Energy*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11708-020-0807-8>
- Fateyev, A. I., Shendrik, T. G., Polishchuk, S. S., Dunayevska, N. I. (2018). The energy technological background of involving salty coals into energy balance of Ukraine. 1. Composition of water extracts and the prospects for their utilization. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 40–47. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018/8>
- Gavrilov, A. F., Malkin, B. M. (1980). *Zagryaznenie i ochildka poverhnostey nagreva kotel'nyh ustanovok*. Moscow: Energiya, 328.
- Chernyavskyy, M. V., Dunayevska, N. I., Provalov, O. Y., Miroshnychenko, Y. S. (2020). Scientific basis and technologies of anthracite replacement at thermal power plants. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 33–40. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/033>
- Biletskyi, V. S. (2014). Technological and environmental aspects of Ukrainian salty coal development. *Rozrobka rodovyschch*, 8, 527–534.
- Zhang, X., Zhang, H., Na, Y. (2015). Transformation of Sodium during the Ashing of Zhundong Coal. *Procedia Engineering*, 102, 305–314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.147>
- Wu, X., Zhang, X., Yan, K., Chen, N., Zhang, J., Xu, X. et al. (2016). Ash deposition and slagging behavior of Chinese Xinjiang high-alkali coal in 3 MWth pilot-scale combustion test. *Fuel*, 181, 1191–1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.069>
- Ershov, Yu. B., Meshcheryakov, V. G., Enyakin, Yu. P. (1992). Obrazovanie hloristogo vodoroda v pyლეugol'nom fazele pri szhiganiy uglya s vysokim sodержaniem hlora. *Teploenergetika*, 7, 61–64.
- Zhihar, G. Y. (2015). *Kotel'nye ustanovki teplovyh elektrostantsiy*. Minsk: Vysheyschaya shkola, 529.
- Song, G., Qi, X., Yang, S., Yang, Z. (2018). Investigation of ash deposition and corrosion during circulating fluidized bed combustion of high-sodium, high-chlorine Xinjiang lignite. *Fuel*, 214, 207–214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.011>
- Wang, X., Xu, Z., Wei, B., Zhang, L., Tan, H., Yang, T. et al. (2015). The ash deposition mechanism in boilers burning Zhundong coal with high contents of sodium and calcium: A study from ash evaporating to condensing. *Applied Thermal Engineering*, 80, 150–159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.01.051>
- Yu, D., Wu, J., Yu, X., Lei, Y., Xu, M. (2017). On cofiring as a strategy to mitigate ash deposition during combustion of a high-alkali Xinjiang coal. 8th International Conference on Clean Coal Technologies. Cagliari.
- Fateev, A. I., Romanova, L. O. (2014). Influence of Technological Factors on the Process of Washing Harmful Impurities from the Saline Coal of Ukraine. *Energotehnologii i resursosberezhenie*, 3, 6–10.
- Tillman, D. A., Duong, D., Miller, B. (2009). Chlorine in Solid Fuels Fired in Pulverized Fuel Boilers – Sources, Forms, Reactions, and Consequences: a Literature Review†. *Energy & Fuels*, 23 (7), 3379–3391. doi: <https://doi.org/10.1021/ef801024s>
- Niemi, J., Lindberg, D., Engblom, M., Hupa, M. (2017). Simultaneous melt and vapor induced ash deposit aging mechanisms – Mathematical model and experimental observations. *Chemical Engineering Science*, 173, 196–207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.07.041>
- Fateiev, A. I., Krut, O. A., Dunaievska, N. I., Nekhamin, M. M. (2016). Pat. No. 116778 UA. Sposib zbahachennia solonocho vuhillia. No. u201611205; declared: 07.11.2016; published: 12.06.2017, Bul. No. 11.

## АНОТАЦІЇ

## TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217009

**СУБСОЛІДНА БУДОВА СИСТЕМИ  $ZnO-SrO-Al_2O_3-SiO_2$  ЯК ОСНОВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ РАДІОПРОЗОРОЇ КЕРАМІКИ (с. 6–14)**

О. Ю. Федоренко, Г. В. Лисачук, М. С. Приткіна, Р. В. Кривобок, А. В. Захаров

Розробка нових матеріалів з унікальними властивостями вимагає науково обґрунтованих підходів до вирішення завдань. Застосування фізико-хімічного аналізу оксидних систем для проектування складу матеріалу дозволяє визначити умови фазоутворення і оцінити технологічність композицій. З огляду на колосальний обсяг експериментів, необхідних для побудови діаграм стану багатокомпонентних оксидних систем, фізико-хімічне моделювання є найбільш доцільним методом вивчення їх будови. Обґрунтовано вибір базової оксидної системи  $ZnO-SrO-Al_2O_3-SiO_2$  для розробки радіопрозорої кераміки, наведені результати досліджень її субсолідної будови з використанням сучасних даних про розбиття системи на елементарні об'єми. Визначено і проаналізовано основні геометро-топологічні характеристики внутрішніх тетраєдрів системи, розраховані мінімальні температури появи розплаву і складу евтектики. Для розробки радіопрозорої кераміки з заданим рівнем діелектричних характеристик ( $\epsilon < 10$ ,  $\text{tg}\delta < 10^{-2}$ ) в межах концентрацій тетраєдру  $SiO_2-ZnAl_2O_4-ZnSiO_4-SrAl_2Si_2O_8$  обрана область складів, що забезпечують синтез цільових фаз вилеміту і стронцієвого анортиту. З використанням нових даних отримана жаростійка поліфазна кераміка, діелектричні характеристики якої ( $\epsilon = 5,98-8,96$ ;  $\text{tg}\delta = 0,004-0,008$ ) задовольняють вимоги до радіопрозорих матеріалів. Встановлено оптимальне співвідношення фаз ( $ZnSiO_4:SrAl_2Si_2O_8=1:1$ ), що дозволяє знизити діелектричну проникність ( $\epsilon = 5,98$ ) і мінімізувати діелектричні втрати ( $\text{tg}\delta = 0,004$ ). Із застосуванням скануючої електронної мікроскопії та рентгенофазового аналізу встановлено структурно-фазові особливості нових керамічних матеріалів.

**Ключові слова:** субсолідна будова, геометро-топологічні характеристики, вилеміт, стронцієвий анортит, радіопрозора кераміка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216754

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ СИНТЕЗУ, МІКРОСТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ СТРОНЦІЙ-АНОРТИТОВОЇ КЕРАМІКИ, МОДИФІКОВАНОЇ СКЛОМ СПОДУМЕНОВОГО СКЛАДУ (с. 15–26)**

О. В. Зайчук, О. А. Амельна, Ю. С. Гордєєв, Ю. Р. Каліщенко, Н. М. Срібняк, С. А. Галушка, Д. С. Бородай, А. С. Бородай

Для створення термостійких конструкційних матеріалів, здатних працювати в умовах високих температур (до 1400 °С), перспективними є склокристалічні матеріали на основі системи  $SrO-Al_2O_3-SiO_2$ .

В статті наведені результати досліджень стронцій-анортитової кераміки, модифікованої борвмісним склом сподуменового складу. Встановлено, що для досягнення комплексу високих фізико-технічних показників кераміки при знижених температурах випалу (1200–1300 °С) необхідно вводити скло в кількості 20–30 мас. %. При цьому отримані щільно спечені матеріали з низькими значеннями ТКЛР (32,0–33,4)·10<sup>-7</sup> град<sup>-7</sup>, що обумовлює їх високу термічну стійкість (не нижче 850 °С). Основною кристалічною фазою дослідної кераміки є моноклінна модифікація стронцієвого анортиту, який переважно і формує її мікроструктуру. Кристали стронцієвого анортиту розміром від 1–2 мкм до 3–4 мкм щільно сполучені між собою за допомогою тонких прошарків залишкової склофазы. В склофазі рівномірно розподілені кристали β-сподумену розміром 0,1–0,3 мкм. Відмічені мікроструктурні особливості кераміки визначають нульові значення водопоглинання і відкритої пористості, а також високі значення щільності (2,40–2,50 г/см<sup>3</sup>) і механічної міцності на стискання (237–246 МПа). Щільна мікроструктура також дає можливість досягати високих діелектричних показників ( $\epsilon = 4,4-4,8$ ;  $\text{tg}\delta = 0,005-0,007$ ) у надвисокочастотному електромагнітному полі. Тому матеріали, які розробляються, є перспективними в якості радіопрозорих матеріалів, в тому числі і конструкційних. Крім того, збагачення залишкової склофазы тугоплавкими компонентами SAS системи в процесі випалу дослідної кераміки обумовлює підвищену її стійкість до високотемпературного нагрівання в період експлуатації.

**Ключові слова:** термостійка кераміка, Sr-анортит, β-сподумен, скловидна фаза, спікання, кристалізація, мікроструктура кераміки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217002

**РОЗРОБКА ШЛАКОВОГО ЦЕМЕНТУ, АКТИВОВАНОГО Na(K) СОЛЯМИ СИЛЬНИХ КИСЛОТ, ДЛЯ БЕТОНІВ АРМОВАНИХ СТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ (с. 26–40)**

П. В. Кривенко, І. І. Руденко, О. П. Константиновський

Запропоновано спосіб запобігання корозії сталевій арматури в бетоні на основі шлакових цементів (ШЦ), активізованих Na(K) солями сильних кислот (ССК) в складі цементного пилу байпасу (ПБ). Спосіб полягає в використанні додаткових модифікаторів у вигляді поргладцементу СЕМ І 42,5 R та кальцієво-алюмінатної добавки (КАД)  $C_3A \cdot 6H_2O$ .

Показано, що добавка поргладцементу сприяє підсиленню активізуючого впливу ПБ на гідратацію ШЦ, що супроводжується зростанням міцності штучного каменю. Зазначений ефект обумовлено формуванням в продуктах гідратації гідросилікатів з підвищеним ступенем кристалізації у вигляді CSH(I) і  $C_2SH(A)$ .

Модифікація ШЦ КАД забезпечує інтенсивне формування в складі продуктів гідратації малорозчинних AFm фаз для надійного зв'язування аніонів ССК ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ), агресивних до сталевій арматури.

В результаті досліджень встановлено можливість отримання ШЦ, активізованого ССК, при використанні ПБ, поргладцементу та КАД. За допомогою методів математичного планування експерименту отримано ШЦ складу «гранульований доменний шлак –

ПБ – портландцемент – КАД», що характеризується класом міцності 42,5 та мольним співвідношенням  $Cl^-/OH^-$  в поровому розчині не більше 0,6. Отримані властивості обумовлюють доцільність використання ШЦ в бетонах, армованих сталеву арматурою.

Актуальність виконаної роботи обумовлена сучасними тенденціями розвитку будівельної галузі. Запровадження цементів, що містять мінеральні добавки, зокрема гранульований доменний шлак, сприяє покращенню екологічної ситуації внаслідок зменшення емісії  $CO_2$ . Використання таких цементів в якості основи бетонів, армованих сталеву арматурою, забезпечує підвищення їх функціональності і довговічності.

**Ключові слова:** шлаковий цемент, сталева арматура, пил байпасу, АFm фаза, структуроутворення.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216733**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ОТРИМАННЯ ПОРИСТИХ СТРУКТУР З СУБМІКРОННОГО ПОРОШКУ ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ І ЙОГО СУМІШЕЙ (с. 41–49)**

**Е. С. Геворкян, В. П. Нерубацький, Ю. Г. Гуцаленко, О. М. Мельник, Л. В. Волошина**

Запропоновано економний термічний цикл виробництва керамічних виробів з субмікронних порошків оксиду алюмінію, оксиду титану і оксиду марганцю. Реалізація даного циклу передбачає введення в шихту спеціальної алюмофосфатної зв'язки з метою зниження температури випалу. Встановлено оптимальний склад матеріалу для пінокерамічного фільтра з найбільш високими фізико-механічними властивостями, підібрано оптимальний метод підготовки вихідної шихти і режим спікання.

За результатами випробувань в умовах виробництва виготовлені алюмооксидні фільтри склали гідну альтернативу відомим аналогам, які використовуються в металургії алюмінію для очищення рідкого металу. Завдяки застосуванню і раціональному дозуванню діоксидів титану, марганцю і алюмофосфату алюмінію в пористих керамічних композиціях на алюмооксидній основі вдалося значно скоротити час і, відповідно, підвищити продуктивність випалу. Отримані результати оцінювалися за рівнем максимальної температури в циклі термообробки відомих технологій. У порівнянні з цими технологіями розроблена технологія забезпечує зростання продуктивності випалу при реалізації запропонованого рішення приблизно на 220 %.

Встановлено, що велика справжня щільність керамічного порошку вимагає великої дисперсності, так як відносно більші частки порошку істотно гірше утримуються в плівках піни і осідають.

При середніх (проміжних) температурах велика втрата ваги відбувається при швидкості нагрівання  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$ . При цьому хід розкладання змінюється зі швидкістю нагріву. Зміна швидкості нагріву з температурою є найбільш ефективним засобом депарафінізації в повітрі. Помітно зменшується час нагріву від температури навколишнього середовища до  $200\text{ }^\circ\text{C}$ . При певній температурі перед термічним розкладанням зв'язка буде переходити з сильно в'язкого стану в досить рідкий.

**Ключові слова:** карбід кремнію, керамічний фільтр, коефіцієнт проникності, оксид алюмінію, полімер, пориста структура.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217119**

### **КІНЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ НА ОКСИДНО-МАРГАНЦЕВОМУ КАТАЛІЗАТОРІ НА ОСНОВІ ЦЕОЛІТУ (с. 50–58)**

**О. І. Іваненко, А. І. Трипольський, О. П. Хохотва, П. Є. Стрижак, С. В. Лелека, І. О. Мікульонюк**

Одержано модифікований  $MnO_2$  кліноптилоліт шляхом використання доступної цеолітової породи Сокирницького родовища (Хустський район Закарпатської області, Україна) при застосуванні простої методики змішування розчинів, що містять окремо  $Mn^{2+}$  та  $MnO_4^-$ . Визначено, що загальний вміст марганцю в повітряно-сухому модифікованому термонеобробленому кліноптилоліті склав  $11,42\text{ мг/г}$ , що в перерахунку на  $MnO_2$  становить 1,8 %.

Досліджено структурні характеристики, а саме, розподіл пор за розміром та питому поверхню як основну базову характеристику каталізатора, які були отримані з ізотерм низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту. Вказані дослідження необхідні для визначення лімітуючої стадії окислення  $CO$ .

Визначено, що кінетика процесу окислення описується рівнянням першого порядку. На основі отриманих характеристик каталізатора було розраховано кінетичні параметри процесу, а саме, ефективну та істинну константи швидкості та енергія активації, що становить  $31\text{ кДж/моль}$ . Доведено, що реакція окислення монооксиду вуглецю на оксидно-марганцевому каталізаторі перебігає у внутрішньо-дифузійному режимі. Це дозволяє, використовуючи критеріальні залежності, а саме, критерій Карберрі, що становить менше 0,05, стверджувати, що реакція не лімітується дифузією  $CO$  з газового потоку до зовнішньої поверхні каталізатора. Показано, що транспорт молекул монооксиду вуглецю всередині гранул каталізатора протікає в Кнудсенівському режимі.

Одержаний науковий результат у вигляді отримання кінетичного опису процесу каталітичного окислення монооксиду вуглецю киснем повітря на оксидно-марганцевому каталізаторі на основі цеоліту є цікавим з теоретичної точки зору. З практичної точки зору розраховані кінетичні параметри вказаного процесу дозволяють провести розрахунок каталітичного реактора окислення  $CO$ .

**Ключові слова:** монооксид вуглецю, кінетика окислення, структурні параметри, діоксид марганцю, цеоліт, кліноптилоліт.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217234**

### **РОЗРОБКА МЕТОДІВ ГАЗОХРОМАТОГРАФІЧНИХ АНАЛІЗІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ ГОЛОВНИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ НАСОСІВ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (59–70)**

**С. В. Зайцев, В. П. Кишневський, В. В. Чиченін, А. Ю. Тихомиров**

При експлуатації обладнання електростанцій застосовують технологічні середовища – воду, турбінні масла. Актуальним є діагностування обладнання за газохроматографічними визначеннями діагностичних компонентів (газів  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $CO$ ,

CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), води, «Іонолу» в цих середовищах. Для цього використовують 5 хроматографів. Підвищення надійності головних циркуляційних насосів АЕС може бути за рахунок підвищення надійності його маслосистеми. Досліджено вплив ультразвукових коливань на генерування газів в системах «масло – діагностичний газ», «масло – вода – діагностичний газ» із застосуванням турбінного масла Тп-22с. Концентрації газів збільшуються із збільшенням тривалості опромінення на протязі 1600 с при частоті 35–125 кГц і потужності 20 Вт. Залежності концентрацій  $C_i$  розчинених газів від часу опромінення  $\tau$  технологічних середовищ виражено рівнянням  $C_i = A \cdot \tau + B$ . Коефіцієнти  $A$ ,  $B$  та коефіцієнти кореляції  $R^2$  мають конкретні значення для кожного розчиненого газу. Так,  $0,95 \leq R^2 \leq 0,995$ , що вказує на адекватність отриманих рівнянь результатам експериментальних даних. Це дозволяє визначати турбінне масло у воді після її опромінення за визначенням генерованих розчинених газів. Встановлені технічні вимоги до 5-ти каналного газового хроматографа та розроблена його структурна схема. Це дозволяє зменшити кількість вимірювальних операцій та хроматографів. Визначені пороги визначення діагностичних компонентів у відповідних технологічних середовищах: 2 ppm (H<sub>2</sub>); 1 ppm (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>); 0,5 ppm (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>); 5 ppm (CO, CO<sub>2</sub>); 1,5 ppm (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>); 0,05 % мас. («Іонолу»); 2 г/т (вода у турбінному маслі); 0,02 мг/дм<sup>3</sup> (турбінне масло у воді). Розроблена принципова технологічна схема маслосистеми для головних циркуляційних насосів АЕС. Запропоновано безперервно: дегазувати потік турбінного масла; сорбційно очищати охолоджуючу воду, аналізувати турбінне масло і охолоджуючу воду методами газової хроматографії. Це дозволить знизити деградацію турбінного масла та підвищити надійність маслосистеми головних циркуляційних насосів АЕС.

**Ключові слова:** газова хроматографія, турбінне масло, охолоджуюча вода, діагностичний компонент, атомна електростанція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213099

### РОЗРОБКА ГЕНЕРАЦІЇ НАПРУГИ З ВИКОРИСТАННЯМ АКТИВОВАНОГО БАМБУКОВОГО ВУГІЛЛЯ З ВОДНИМ ЕЛЕКТРОЛІТОМ В ТРЬОХ ТИПАХ ЕЛЕКТРОДІВ (с. 71–79)

Si Putu Gede Gunawan Tista, Eko Siswanto, Mega Nur Sasongko, I.N.G. Wardana

В даний час розробляється використання батареї в якості джерела живлення для невеликих електронних пристроїв, таких як камера, ноутбук і телефон з бездротовою сенсорною мережею. Крім того, через використання викопного палива, що виділяє вуглекислий газ, і посилення глобального потепління зміна клімату продовжує погіршуватися. Однак через зміну клімату багато хто шукає альтернативи для скорочення викидів вуглекислого газу. Тому важливе значення має використання екологічно чистого матеріалу, такого як бамбук. Для отримання електричної енергії в даному дослідженні використовувалося активоване бамбукове вугілля в якості електрода, який містився між протиелектродами. Електрична енергія вироблялася системою, що складається з протиелектрода – електрода – протиелектрода. Випробовувалися три типи протиелектродів: мідь, алюміній і алюмінієва фольга. Перед нагріванням між електродом і протиелектродом вводили електроліт. В якості електроліту використовувалася дистильована вода. Електростатична сила створювалася іонами водного електроліту у напрямку до полюсів функціональних груп, електричним зарядом пір і рухливістю електронів в протиелектроді. Таким чином відбувалося вивільнення електронів. Результат показує, що найбільша температурна чутливість електричної напруги ( $dV/dT$ ) виробляється алюмінієм 64,043 мВ/°С, алюмінієвою фольгою 63,578 мВ/°С і міддю 6,136 мВ/°С. Це пов'язано з більш високою рухливістю електронів в алюмінії, в той час як вміст фосфору в алюмінієвій фользі має тенденцію притягувати електрони, перешкоджаючи вивільненню електронів. Генерована електрична напруга була ефективною при температурі вище  $\Delta T = 45$  °С. Це пов'язано з ослабленням водневого зв'язку молекули води, в результаті чого іони легко притягуються до поверхні активованого вугілля, викликаючи більше вивільнення електронів.

**Ключові слова:** бамбукове активоване вугілля, протиелектрод, вода, температурний, функціональна група, напруга.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.213277

### РОЗРОБКА ФОТОКАТАЛІЗАТОРІВ НА ОСНОВІ БАМБУКОВОГО ВУГІЛЛЯ І ПОРОШКУ ЛІСОВОЇ СУНИЦІ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ МЕТОДОМ РОЗЩЕПЛЕННЯ ВОДИ (с. 80–92)

Yepy Komaril Sofi'i, Eko Siswanto, Winarto, I Nyoman Gede Wardana

В останні роки водень став об'єктом пильної уваги як екологічно чисте і ефективне джерело енергії. Метод фотокаталізу з використанням фотокаталізатора на основі біомаси є альтернативною стадією отримання водню шляхом розщеплення води. У даному дослідженні матеріалами біомаси, що використовувались для розробки фотокаталізаторів при виробництві водню, є бамбукове вугілля (БВ) і порошок лісової суніці (ПЛС). Джерелом світла для фотокаталізу служила галогенна лампа з довжиною хвилі 560 Нм. Отриманий газоподібний водень вимірювався за допомогою датчика MQ-8, який здатний вимірювати газоподібний водень в 100–10000 млн<sup>-1</sup>. Виробництво водню значно збільшується при поєднанні фотокаталізаторів БВ і ПЛС. На основі аналізу зображень за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) при використанні програмного забезпечення Image J, БВ і ПЛС мають негативний і позитивний заряд відповідно. Ароматичне вуглецеве кільце в БВ має енергетичну щільність 2,48 еВ, тоді як в ПЛС має більш низьку енергетичну щільність 2,32 еВ завдяки функціональним групам, що збуджують електрон в ароматичному кільці ПЛС. Взаємодія між позитивним і негативним зарядами при поєднанні БВ і ПЛС створює другу нижчу енергетичну щільність в комбінованому каталізаторі 1,66 еВ, яка має тенденцію збільшувати електронну щільність на поверхні каталізатора. Більш щільні електрони дестабілізують більшу кількість водню і ковалентних зв'язків у воді, збільшуючи виробництво водню в 20 разів в порівнянні з тільки БВ або в 4 рази в порівнянні з тільки ПЛС. При додаванні в нижню частину труби реактора алюмінієвої фольги (АФ), продуктивність фотокаталізатора покращилася. Матеріалом АФ служив алюмінієвий сплав 8011 товщиною 0,02 мм і діаметром 80 мм. АФ виконує дві важливі функції, а саме прискорює реакцію відновлення і полегшує розрив водневих і ковалентних зв'язків у воді.

**Ключові слова:** бамбукове вугілля, порошок лісової суніці, алюмінієва фольга, біомаса, водень, фотокаталіз.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216995****ДОСЛІДЖЕННЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ КОЛОЇДНОГО СРІБЛА В БІОНАНОКОМПОЗИТАХ ПРИРОДНИХ ПОЛІМЕРІВ І МОНТМОРИЛОНІТУ (с. 93–101)****Kuanyshbek Musabekov, Botagoz Zhakyp, Sagdat Tazhibayeva, Nurlan Musabekov, Ayagoz Yergaliyeva**

В даній час частинки колоїдного срібла використовуються при створенні електронних, оптичних і сенсорних пристроїв нового покоління. Срібловмісні біонанокомпозити (БНК) синтезували шляхом іммобілізації колоїдних частинок монтморилоніту, що містять колоїдне срібло в складі альгінату натрію і натрієвої солі карбоксиметилцелюлози. Срібловмісні частинки монтморилоніту Ag-MT були отримані заміною іонів  $\text{Na}^+$  в шаруватих силікатних галереях іонами  $\text{Ag}^+$  з подальшим перетворенням іонів срібла в частинки срібла. Введення іонів  $\text{Ag}^+$  в структуру монтморилоніту обґрунтовано методами інфрачервоної спектроскопії. При вивченні міцності плівок біонанокомпозитів було встановлено, що при збільшенні вмісту в їх складі частинок Ag-Mt міцність зростає, а деформація зменшується.

Встановлено, що рівноважні значення постійної набухання встановлюються через ~30 хвилин. У той же час при збільшенні вмісту Ag-Mt в біонанокомпозиті з 3 % до 10 % значення рівноважного коефіцієнта набухання ( $K_{\text{набух}}$ ) зменшується в 2,8 рази. Заміна іонів  $\text{Na}^+$  іонами  $\text{Ag}^+$  в структурі монтморилоніту супроводжується зменшенням набухання біонанокомпозитів, що пояснюється більш низькою гідратацією іонів  $\text{Ag}^+$  в порівнянні з іонами  $\text{Na}^+$ . В якості додаткової причини зниження набухання біонанокомпозитів зі збільшенням частки Ag-Mt в їх складі вказується підвищення їх здатності до структуроутворення в присутності глинистого мінералу.

Вивчено кінетику вивільнення іонів  $\text{Ag}^+$  з біонанокомпозитів у фізіологічний розчин. Показано, що вивільнення іонів  $\text{Ag}^+$  збільшується зі збільшенням pH середовища.

**Ключові слова:** колоїдне срібло, біонанокомпозити, міжшаровий простір монтморилоніту, альгінат, карбоксиметилцелюлоза, межа міцності.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216835****РОЗРОБКА КОМПОЗИЦІЇ НА ОСНОВІ ПОЛІЕТИЛЕНУ І МІКРОЧАСТИНОК МАРМУРУ, РОЗКЛАДУВАНОЇ ПІД ДІЄЮ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ (с. 102–110)****А. Д. Петухов, О. М. Шнирук, І. О. Мікульонок, О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна**

Одним з напрямків утилізації полімерних відходів є створення дешевих біорозкладуваних (біодеградуваних) полімерних матеріалів, які руйнуються в результаті природних мікробіологічних і хімічних процесів. Оскільки синтез біорозкладуваних полімерів характеризується високими матеріало- і енергоємністю, то більш перспективними є наповнені біорозкладувані полімерні матеріали.

Обґрунтовано доцільність застосування мікрочастинок мармуру як наповнювача біорозкладуваного полімерного матеріалу на основі поліетилену високого тиску, швидкість розкладання якого збільшується в умовах ультрафіолетового випромінювання.

Одержано зразки біорозкладуваного полімерного матеріалу з різним вмістом наповнювача – мікрочастинок мармуру (від 0 до 5,1 мас. %) та досліджено їхні фізико-механічні властивості. Експериментально доведено, що УФ-опромінювання руйнує макромолекули поліетилену на окремі фрагменти з утворенням  $\text{>C=O}$  зв'язків, що робить можливим розкладання відповідних відходів під дією сонячного проміння.

Доведено доцільність застосування композиції «поліетилен високого тиску – мікрочастинки мармуру» із вмістом мармуру 1,78 мас. % для виготовлення рукавичок і плоских полімерних плівок пакувального та сільськогосподарського призначення, зокрема пакувальної стретч-плівки.

Розроблено рекомендації щодо застосування запропонованого біорозкладуваного полімерного матеріалу. Зокрема виготовлення продукції з композиції «поліетилен високого тиску – мікрочастинки мармуру» запропоновано здійснювати з попередньо одержаного грануляту потрібного складу. У разі ж виготовлення продукції з композиції, одержуваної безпосередньо в екструдері, що формує продукцію, для покращення взаємодії полімерної матриці з частинками наповнювача можливе використання адгезійних добавок.

**Ключові слова:** екструзія, полімерна плівка, поліетилен високого тиску, мікрочастинки мармуру, ультрафіолетове випромінювання, розкладання.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216745****ОЦІНКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ СТИРОЛ-АКРИЛОВОГО ПОЛІМЕРУ, ГЛІЦИДИЛОВОГО ЕФІРУ ТА КОМПАТИБІЛІЗАТОРА 3-АМІНОПРОПІЛТРИЕТОКСИСИЛАНУ (с. 111–116)****М. В. Пасічник, О. Я. Семешко, О. О. Кучер, Т. С. Асаулук, В. М. Василенко, Л. М. Гирля**

Проведені дослідження композиційних матеріалів на основі полімерних сумішей стирол-акрилового полімеру, гліцидилового ефіру і компатибілізатора 3-амінопропілтриетоксисилану. Використання компатибілізатора силанового типу здатне покращити сумісність компонентів і, як було доведено, значно підвищує ступінь зшивки складових композиції. У роботі методом рівноважного набухання досліджено структурні параметри полімерної сітки компонентів композиції в залежності від концентрації компатибілізатора. Встановлено оптимальну концентрацію компатибілізатора, при якій ступінь зшивки буде максимальним, а частка активних ланцюгів мінімальною. Цей факт доводить, що зшивання в композиції відбулось повністю і в молекулі не міститься активних ділянок, які не прореагували з компатибілізатором. Дослідження набухання полімерних композиційних плівок доводить, що зі збільшенням ступеня зшивання набухання полімерних плівок зменшується. Полімерні плівки з низькою часткою активних ланцюгів після процесу зшивання практично не набухають.

У роботі описано можливий механізм компатибілізації за участю 3-амінопропілтриетоксисилану й полімерів стирол-акрилового та гліцидилового ефіру. 3-амінопропілтриетоксисилан має активні функціональні груп, які знаходяться по різні сторони молекули; це три активні гідроксильні групи та одна активна аміногрупа. За рахунок наявності різних функціональних груп даний компатибілізатор може поєднувати полімери і тим самим утворювати міцні полімерні плівки. Це дає підстави стверджувати, що контроль концентрації компатибілізатора і ступеня зшивання складових суміші надає чудові перспективи для створення полімерних плівок з високими фізико-механічними характеристиками за рахунок високої міжфазової адгезії компонентів композиції.

**Ключові слова:** композиційні полімерні плівки, компатибілізатор, 3-амінопропілтриетоксисилан, фізико-механічні характеристики, ступінь зшивання компонентів.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217000**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА ОКТАНОВЕ ЧИСЛО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО БЕНЗИНУ, МОДИФІКОВАНОГО ІЗОПРОПАНОЛОМ (с. 116–123)**

**С. О. Кудрявцев, О. Б. Целіщев, С. В. Леоненко, С. В. Бойченко, М. Г. Лорія**

Досліджено вплив кавітації на октанове число для газоконденсатного бензину із добавкою ізопропанолу в кількості 0–12 % об'ємних. Проаналізовані публікації, що доказують вплив кавітації на інтенсифікацію реакції крекінгу нафтопродуктів. Кавітація також ініціює реакції взаємодії вільних радикалів із спиртами. Запропоновано лабораторну схему установки для дослідження процесу кавітаційної обробки на характеристики бензинів, модифікованих спиртами. Розроблено методологію із вивчення впливу інтенсивності кавітаційної обробки на октанове число бензинів. Експериментально доказане зростання октанового числа газоконденсатного бензину, модифікованого ізопропанолом, при його кавітаційній обробці, на 0,3–0,9 пункти. Вивчений вплив кількості циклів кавітаційної обробки на показник октанового числа та показано, що сталі значення приросту октанового числа досягається за 7–8 циклів кавітаційної обробки при тиску на виході з форсунки 9,0 МПа. Обґрунтоване зменшення добавки ізопропанолу, необхідне для виробництва бензинів марок А-95 та А-98, при використанні технології кавітаційної обробки. Експериментально підтверджено, що в порівнянні із простим механічним змішуванням спирту та вуглеводневого бензину застосування кавітації зменшує витрати ізопропанолу на 17 % (з 3,0 % об. до 2,5 % об.) при виробництві бензину марки А-95; і на 14 % (з 8,1 % об. до 7,0 % об.) при виробництві бензину марки А-98. Вплив концентрації ізопропанолу на приріст октанового числа бензину, виміряного за дослідницьким методом, в умовах кавітаційної обробки має нелінійний характер: з максимумами при концентраціях 1,0 % об. та 3,5 % об. та 6,5 % об. Варіюванням початкової концентрації ізопропанолу та октанового числа вуглеводневої бензинової фракції можна оптимізувати технологічний режим виробництва бензинів А-95 та А-98 за витратами сировини та за енерговитратами.

**Ключові слова:** гідродинамічна кавітація, ізопропанол, октанове число, біоетанол, газоконденсатний бензин, октанометр, інтенсифікація.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217585**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РОЗРОБКИ ПІДХОДІВ ДО ЗНИЖЕННЯ ШЛАКУВАЛЬНОЇ ТА КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ СОЛОНОГО ВУГІЛЛЯ (124–133)**

**Т. Г. Шендрік, Н. І. Дунаєвська, А. К. Царюк, В. В., Єлагін, А. І. Фатєєв**

Розглянуті питання зниження шлакувальної здатності та корозійної активності вугілля з високим вмістом легкоплавких солей, т. з. солоного вугілля (СВ), в процесах його спалювання. Об'єкт вивчення – солоне вугілля Донбасу та шляхи вирішення проблем його використання. Солоним вважається вугілля, у складі золи якого вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  перевищує 2 %. Визначено вплив легкоплавких солей на формування золених відкладень та розвиток корозії на поверхні металів при спалюванні СВ різних родовищ. Відзначено чуттєве зниження шлакувальної здатності та корозійної активності дослідженого вугілля при видаленні водорозчинних солей водною екстракцією. Встановлено склад корозійних сполук (оксиди  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  та сульфід заліза  $\text{FeS}$ ), що утворилися при спалюванні нативного СВ, та їх відсутність у разі знесолоного вугілля. Досліджено штучні паливні суміші з більш реакційного солоного та несолоного низькорекційного вугілля. Для створення сумішевого палива обрано довгополум'яне СВ (низька стадія метаморфізму) Донбасу та несолоне пісне вугілля (висока стадія метаморфізму) Кузбасу. Визначено відчутне відхилення (до 9 %) від аддитивності для виходу золи при спалюванні сумішей, що свідчить про хімічну взаємодію між мінеральними складовими суміші. Встановлено утворення нових тугоплавких мінеральних фаз золи (нефеліни, ультрамарин, комбіт) при спалюванні композиційного палива з вугілля різного метаморфізму і солоності. Одержані результати будуть корисними при розробці рекомендацій до складання оптимальних паливних сумішей із залученням солоного вугілля та їхнього безаварійного спалювання в промислових котлоагрегатах. Експериментальні дані щодо визначення нових мінеральних сполук у випадку композиційного палива можуть бути використані при створенні загальної теорії шлакування в процесах спалювання солоного вугілля різного походження.

**Ключові слова:** солоне вугілля, водорозчинні сполуки, спалювання, шлакування, корозія поверхонь, суміш, мінерали золи.