

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268373
IMPROVEMENT OF FATTY SYSTEMS
BIOTECHNOLOGICAL INTERESTERIFICATION
WITH IMMOBILIZED ENZYME PREPARATION
USAGE (p. 6–13)

Anna Belinska

Ukrainian Scientific Research Institute of Oils and Fats of the
National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5795-2799>

Olga Bliznjuk

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

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

Olena Shcherbak

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4265-3355>

Nataliia Masalitina

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

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

Liliia Myronenko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-6450>

Oleksandra Varankina

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6117-7091>

Serhii Samoilenko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4742-7303>

Viktoriiia Borovkova

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3422-9394>

Natalya Kibenko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9414-6881>

Valentina Timchenko

Ukrainian Scientific Research Institute of Oils and Fats of the
National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5486-7935>

This work research object was fat systems interesterification biotechnology using the Lipozyme TL IM immobilized enzyme preparation. The problem of enzyme preparation activation by moistening with sodium bicarbonate aqueous solution with 7.4 ... 7.7 (3 % wt.) pH was solved in the work. The obtained results made it possible to minimize the interesterification process duration with high-quality product obtaining. The proposed enzyme preparation processing made it possible to reduce the duration of the biointeresterification process in a model fat mixture (palm stearin, coconut and soybean oils in a ratio of 1:1:1, respectively) to 3.5...3.7 hours. The product

with high quality indicators, namely up to 0.26 mg KOH/g acid number, up to 0.60 mmol $\frac{1}{2}$ O/kg peroxide number and 1.70 c.u. anisidine number, was obtained as a result. The obtained data can be explained by a fact that effective biocatalysis with lipolytic enzymes as the protein molecules requires the existence of two phases – lipid and water. This fact was provided by the activation parameters justified in the study. The obtained results feature was possibility of enzyme preparation activation, which is not provided under industrial conditions due to the threat of raw materials and finished products hydrolytic processes, which leads to the finished product quality deterioration. The research results made it possible to minimize hydrolytic processes in fat system during interesterification with simultaneous process efficiency increase. From a practical point of view, the discovered activation mechanism made it possible to adjust the enzyme preparation processing conditions in fat systems interesterification technology. The applied aspect of scientific result using was the possibility of improving the typical technological process of fat interesterification.

Keywords: biotechnological interesterification, immobilized enzyme preparation, interesterification duration, interesterified fat quality indicators.

References

1. Belinska, A., Bochkarev, S., Varankina, O., Rudniev, V., Zviahintseva, O., Rudnieva, K. et al. (2019). Research on oxidative stability of protein-fat mixture based on sesame and flax seeds for use in halva technology. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (11 (101)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178908>
2. Kumar, A., Dhar, K., Kanwar, S. S., Arora, P. K. (2016). Lipase catalysis in organic solvents: advantages and applications. *Biological Procedures Online*, 18 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12575-016-0033-2>
3. Sytnik, N., Demidov, I., Kunitsa, E., Mazaeva, V., Chumak, O. (2016). A study of fat interesterification parameters' effect on the catalytic reaction activity of potassium glycerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (81)), 33–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71236>
4. Remonato, D., Miotti Jr., R. H., Monti, R., Bassan, J. C., de Paula, A. V. (2022). Applications of immobilized lipases in enzymatic reactors: A review. *Process Biochemistry*, 114, 1–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.01.004>
5. Xie, W., Zang, X. (2016). Immobilized lipase on core-shell structured Fe₃O₄-MCM-41 nanocomposites as a magnetically recyclable biocatalyst for interesterification of soybean oil and lard. *Food Chemistry*, 194, 1283–1292. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.009>
6. Meunier, S. M., Kariminia, H.-R., Legge, R. L. (2017). Immobilized Enzyme Technology for Biodiesel Production. *Advances in Biofeedstocks and Biofuels*, 67–106. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119117551.ch3>
7. Zhang, H., Secundo, F., Sun, J., Mao, X. (2022). Advances in enzyme biocatalysis for the preparation of functional lipids. *Biotechnology Advances*, 61, 108036. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108036>
8. Kutluk, T., Gürkaya Kutluk, B. (2022). A commercial lipase Resinase® HT (*Aspergillus oryzae*) efficiency on triglycerides

transesterification and process optimization. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100862>

9. Fernández, A., Longo, M. A., Deive, F. J., Álvarez, M. S., Rodríguez, A. (2022). Dual role of a natural deep eutectic solvent as lipase extractant and transesterification enhancer. *Journal of Cleaner Production*, 346, 131095. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131095>
10. Sharma, S., Bhatt, R. (2021). Enhanced production of Commercially Important Amylolytic Enzyme. Lambert Academic Publishing.
11. Samoylova, Y. V., Piligaev, A. V., Sorokina, K. N., Rozanov, A. S., Peltek, S. E., Novikov, A. A. et al. (2016). Application of the immobilized bacterial recombinant lipase from *Geobacillus stearothermophilus* G3 for the production of fatty acid methyl esters. *Catalysis in Industry*, 8 (2), 187–193. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070050416020082>
12. Pinheiro, B. B., Rios, N. S., Rodríguez Aguado, E., Fernandez-Lafuente, R., Freire, T. M., Fechine, P. B. A. et al. (2019). Chitosan activated with divinyl sulfone: a new heterofunctional support for enzyme immobilization. Application in the immobilization of lipase B from *Candida antarctica*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 798–809. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.145>
13. Ismail, A. R., Kashtoh, H., Baek, K.-H. (2021). Temperature-resistant and solvent-tolerant lipases as industrial biocatalysts: Biotechnological approaches and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 187, 127–142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.101>
14. Patzl-Fischerleitner, E., Eder, R. (2009). Determination of enzymatic activities of commercial enzyme preparations. *Mitteilungen Klosterneuburg*, 59 (1), 8–14. Available at: <https://www.weinobst.at/dam/jcr:89c04c6b-dc0d-427b-87bb-c23fd5708a14/8-2009.pdf>
15. Peng, B., Chen, F., Liu, X., Hu, J.-N., Zheng, L.-F., Li, J., Deng, Z.-Y. (2020). Trace water activity could improve the formation of 1,3-oleic-2-medium chain-rich triacylglycerols by promoting acyl migration in the lipase RM IM catalyzed interesterification. *Food Chemistry*, 313, 126130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126130>
16. Osorio, N. M., da Fonseca, M. R., Ferreira-Dias, S. (2006). Operational stability of *Thermomyces lanuginosa* lipase during interesterification of fat in continuous packed-bed reactor. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108 (7), 545–553. doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600029>
17. Zhang, Z., Lee, W. J., Sun, X., Wang, Y. (2022). Enzymatic interesterification of palm olein in a continuous packed bed reactor: Effect of process parameters on the properties of fats and immobilized *Thermomyces lanuginosus* lipase. *LWT*, 162, 113459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113459>
18. Nekrasov, P. O., Gudz, O. M., Nekrasov, O. P., Berezka, T. O. (2020). Optimizing the parameters of the production process of fat systems with a minimum content of trans-isomers. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 3, 128–133. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-130-3-128-133>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266931
DEVELOPMENT OF TRANSESTERIFICATION
MODEL FOR SAFE TECHNOLOGY OF CHEMICAL
MODIFICATION OF OXIDIZED FATS (p. 14–19)

Mykola Korchak

Podillia State University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8726-1881>

Oleksandr Bragin

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8104-4088>

Olena Petrova

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

Natalia Shevchuk

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

Liudmyla Strikha

Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9847-6036>

Serhii Stankevych

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8300-2591>

Yana Svishchova

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5358-8624>

Natalia Khimenko

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8811-8876>

Olesya Filenko

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
 Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0277-6633>

Olena Petukhova

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4832-1255>

The object of research is the process of chemical transesterification of palm olein with increased oxidation indicators in the presence of potassium glyceroxide catalyst.

Transesterification is an important method of fat modification. The use of fats with increased oxidation indicators leads to the deactivation of common catalysts and a decrease in the efficiency of the process. There is a need to increase the dosage of catalysts, increase the process temperature, which negatively affects the product quality.

An alternative transesterification catalyst (potassium glyceroxide) was used for the transesterification of palm olein with increased oxidation indicators.

Palm olein (CAS Number 93334-39-5) with standard indicators was used: melting point 22.4 °C, peroxide value 0.8 ½ O mmol/kg, anisidine value 0.3 c. u. Olein was subjected to heating at a temperature of 90 °C in order to increase oxidation indicators, after which it underwent transesterification. The difference in melting points of the initial and transesterified palm olein was used as a parameter of process efficiency.

The maximum limit values of the oxidation indicators at which the process is effective are: peroxide value 12.7 ½ O mmol/kg, anisidine value 10.4 c. u. The difference in melting points is 12.1 °C, which indicates the efficiency of the process. The qualitative indicators of the obtained transesterified fat indicate compliance with DSTU 4336 (CAS Number 97593-46-9): melting point 34.5 °C, peroxide value 1.2 ½ O mmol/kg, anisidine value 1.0 c. u.

The results of the research make it possible to use fat with increased oxidation indicators without pretreatment and predict the efficiency of transesterification depending on the fat indicators. This will increase profitability and reduce production waste.

Keywords: chemical modification of fats, catalytic transesterification, potassium glyceroxide, catalyst of fat transesterification.

References

1. Almazrouei, M., Elagroudy, S., Janajreh, I. (2019). Transesterification of waste cooking oil: Quality assessment via thermogravimetric

- analysis. *Energy Procedia*, 158, 2070–2076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.478>
2. Bliznjuk, O., Masalutina, N., Mezentseva, I., Novozhylova, T., Korchak, M., Haliasnyi, I. et al. (2022). Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 13–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>
 3. Sytnik, N., Kunitsia, E., Kalyna, V., Petukhova, O., Ostapov, K., Ishchuk, V. et al. (2021). Technology development of fatty acids obtaining from soapstok using saponification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (113)), 16–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241942>
 4. Levterov, A. M. (2018). Thermodynamic properties of fatty acid esters in some biodiesel fuels. *Functional Materials*, 25 (2), 308–312. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.02.308>
 5. Zhou, Y., Li, K., Sun, S. (2021). Simultaneous esterification and transesterification of waste phoenix seed oil with a high free fatty acid content using a free lipase catalyst to prepare biodiesel. *Biomass and Bioenergy*, 144, 105930. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105930>
 6. Korchak, M., Yermakov, S., Maisus, V., Oleksiyko, S., Pukas, V., Zavadskaya, I. (2020). Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences*, 154, 01009. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>
 7. Korchak, M., Yermakov, S., Hutsol, T., Burko, L., Tulej, W. (2021). Features of Weediness of the Field by Root Residues of Corn. *Environment. Technologies. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 1, 122–126. doi: <https://doi.org/10.17770/etr2021vol1.6541>
 8. Popov, O., Taraduda, D., Sobyna, V., Sokolov, D., Dement, M., Pomaza-Ponomarenko, A. (2020). Emergencies at Potentially Dangerous Objects Causing Atmosphere Pollution: Peculiarities of Chemically Hazardous Substances Migration. *Studies in Systems, Decision and Control*, 151–163. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_10
 9. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
 10. León-Reina, L., Cabeza, A., Rius, J., Maireles-Torres, P., Alba-Rubio, A. C., López Granados, M. (2013). Structural and surface study of calcium glyceroxide, an active phase for biodiesel production under heterogeneous catalysis. *Journal of Catalysis*, 300, 30–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2012.12.016>
 11. Sytnik, N., Demidov, I., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Chumak, O. (2016). A study of fat interesterification parameters' effect on the catalytic reaction activity of potassium glycerate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (81)), 33–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71236>
 12. Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., Haron, N. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, 63, S490–S495. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>
 13. Carmona-Cabello, M., Saez-Bastante, J., Pinzi, S., Dorado, M. P. (2020). Auxiliary energy-assisted biodiesel production data from solid food waste oil. *Data in Brief*, 30, 105456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105456>
 14. Maddikeri, G. L., Pandit, A. B., Gogate, P. R. (2013). Ultrasound assisted interesterification of waste cooking oil and methyl acetate for biodiesel and triacetin production. *Fuel Processing Technology*, 116, 241–249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.07.004>
 15. Falowo, O. A., Oladipo, B., Taiwo, A. E., Olaiya, A. T., Oyekola, O. O., Betiku, E. (2022). Green heterogeneous base catalyst from ripe and unripe plantain peels mixture for the transesterification of waste cooking oil. *Chemical Engineering Journal Advances*, 10, 100293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100293>
 16. Abukhadra, M. R., Soliman, S. R., Bin Jumah, M. N., Othman, S. I., AlHammadi, A. A., Alruhaimi, R. S. et al. (2022). Insight into the sulfonation conditions on the activity of sub-bituminous coal as acidic catalyst during the transesterification of spent corn oil; effect of sonication waves. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100691>
 17. Cao, Y., Dhahad, H. A., Esmaili, H., Razavi, M. (2022). MgO@CNT@K₂CO₃ as a superior catalyst for biodiesel production from waste edible oil using two-step transesterification process. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 136–146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.03.026>
 18. Mercy Nisha Pauline, J., Sivaramakrishnan, R., Pugazhendhi, A., Anbarasan, T., Achary, A. (2021). Transesterification kinetics of waste cooking oil and its diesel engine performance. *Fuel*, 285, 119108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119108>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270519

PRINCIPLES AND STAGES OF CREATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS WITH A MODEL OF COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESSES (p. 20–21)

Maryna Loriai

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5589-8351>

Oleksii Tselishchev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4154-7734>

Petro Eliseyev

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9187-9094>

Olga Porkuiian

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4046-0998>

Oleksandr Hurin

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4884-1119>

Alla Abramova

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3475-8584>

Sergii Boichenko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2489-4980>

The object of this study is an effective approach to designing automatic control systems with a model of complex technological processes, which include interrelated and complementary stages from the formulation of the task to the implementation of the control system at the facility. It includes a set of measures, starting with the analysis of the process in its hardware design with the construction of an information and logical scheme to the development of all types of security and commissioning.

The main problem in the implementation of a control system with a technological process model is the limited ranges of adequacy

of mathematical models. Therefore, when changing the load on the unit, changing external and internal perturbations, it is necessary to constantly ensure the necessary level of adequacy of the models. It is proposed to use a combined model as a mathematical model of the control object, combining the advantages of analytical and experimental-statistical models. This makes it possible to significantly expand the information base of the resulting model. A simple and effective iterative algorithm for calculating this model is also proposed. It includes sequential steps to determine the parameters of the model by basic dependences (the deterministic part of the model), followed by clarifying them according to the current data from the object (experimental statistical part of the model). The effectiveness of the approach is confirmed by the example of ASC TP of the ammonia synthesis column. By improving the accuracy of determining the control parameters and narrowing the range of their change around the optimal value, the volume of ammonia release increases by 5–8 %.

The application of the described approach on the example of the development of an automatic control system for the technological process of ammonia synthesis confirmed the economic feasibility of implementing the proposed solutions.

Keywords: control system, control with model, information-logical scheme, combined mathematical model, algorithm, optimization.

References

- Zhu, H., Li, R., Shao, H. (2004). Control for integrating processes based on new modified smith predictor. University of Bath.
- Hrabovetskyi, B. Ye. (2010). Metody ekspertnykh otsinok: teoriya, metodolohiya, napriamky vykorystannia. Vinnytsia: VNTU, 171.
- Mamat, R., Fleming, P. J. (1995). Method for on-line identification of a first order plus dead-time process model. *Electronics Letters*, 31 (15), 1297–1298. doi: <https://doi.org/10.1049/el:19950865>
- ISA-106: Using Procedural Automation to Improve Operational Efficiency. *Wastewater and Automatic Controls Symposium*. Available at: https://isawaterwastewater.com/wp-content/uploads/2013/08/WWAC2013_Tennant-Myers_procedural-automation-ISA106_slides_1up.pdf
- Verhaegen, M., Verdult, V. (2007). *Filtering and System Identification: A Least Squares Approach*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511618888>
- Soderstrom, T., Stoica, P. (2002). Instrumental variable methods for system identification. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 21 (1), 1–9. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01211647>
- Liu, T., Gao, F. (2012). *Industrial Process Identification and Control Design. Step-Test and Relay-Experiment-Based Methods*. Springer-Verlag London Limited, 474. doi: <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-977-2>
- Loriia, M. (2019). Experimental investigations of the method of determination of optimal controller settings. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 16–22. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00864>
- Ananiev, M. V., Tselishchev, O. B., Loriia, M. H., Yelisieiev, P. Y. (2012). Identyfikatsiya parametriv modeli z vykorystanniam tochok hlobalnykh ekstremumiv dynamichnykh kharakterystyk. *Voprosy himii i himicheskoy tekhnologi*, 5, 188–191.
- Abdalhamid, D., Loria, M. G., Eliseev, P. I., Tselishev, A. B. (2014). Development of combined model for optimization. *Science & Technique*, 3, 56–60. Available at: https://sat.bntu.by/jour/article/view/64?locale=ru_RU

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267232

EFFECT OF SYZYGIUM CUMINI LEAF EXTRACT AS A GREEN CORROSION INHIBITOR ON API 5L CARBON STEEL IN 1M HCL (p. 30–41)

Rini Riastuti

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3431-0413>

Giannisa Mashanafie

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8500-1237>

Vika Rizkia

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2718-8475>

Ahmad Maksam

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1800-9137>

Siska Prifiharni

Research Center for Metallurgy-National Research and Innovation Agency, Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2271-2960>

Agus Kaban

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

Gadang Priyotomo

Research Center for Metallurgy-National Research and Innovation Agency, Tangerang Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6278-3624>

Johny Soedarsono

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

Corrosion in API 5L steel under 1M HCl is a common issue; hence, creating a more effective and naturally-based inhibitor is critical. In this research, Syzygium Cumini leaf extract (SCLE) was used as a new green corrosion inhibitor under acidic conditions. The inhibition properties of the novel cumini extract were thoroughly characterized using potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and atomic force microscope (AFM). The results show that the cumini inhibitor has excellent corrosion inhibition with 93 % inhibition efficiency. The adsorption behavior of the inhibitor follows the Langmuir Adsorption Isotherm due to the nearness of R^2 to unity. The potentiodynamic and electrochemical measurements demonstrate the mixed type of corrosion inhibitor. Thermodynamic calculation of ΔG_{ads} is $-18.41 \text{ kJ mol}^{-1}$ showing the physical adsorption process between the inhibitor and metals. Further inspection of ΔH_{ads} at $-58.93 \text{ kJ mol}^{-1}$ considers releasing energy during adsorption. The FTIR results agree with the increased growth of passive layers due to the adsorption of polyphenol and flavonoids on metals. Remarkably, the adsorption peak at 3266.59 cm^{-1} corresponds to the adsorption of $-\text{OH}$. The peak at 1612.56 and 1698.4 cm^{-1} is attributed to $\text{C}=\text{C}$ and $\text{C}=\text{O}$ functional groups. The above functional groups serve as adsorption centers to reduce the corrosion effect. The surface treatment of AFM indicated a good relationship with the functional group characterization and confirmed the significant corrosion rate reduction. This work can be used as a benchmark to develop a natural plant as a corrosion inhibitor.

Keywords: green corrosion inhibitor, Syzygium cumini leaf extract, physisorption, polyphenol and flavonoids based inhibitor molecules.

References

- Neriyana, P. S., Alva, V. D. P. (2020). A Green Approach: Evaluation of *Combretum indicum* (CI) Leaf Extract as an Eco-friendly Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1M HCl. *Chemistry Africa*, 3 (4), 1087–1098. doi: <https://doi.org/10.1007/s42250-020-00190-z>
- Salmasifar, A., Edraki, M., Alibakhshi, E., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G. (2021). Combined electrochemical/surface investigations and computer modeling of the aquatic Artichoke extract molecules corrosion inhibition properties on the mild steel surface immersed in the acidic medium. *Journal of Molecular Liquids*, 327, 114856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114856>
- Prifiarni, S., Mashanafie, G., Priyotomo, G., Royani, A., Ridhova, A., Elya, B., Soedarsono, J. W. (2022). Extract sarampa wood (*Xylocarpus Moluccensis*) as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in HCl 1M. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99 (7), 100520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100520>
- Abba, B. N., Idouhli, R., Ilagouma, A. T., Abouelfida, A., Khadiri, M., Romane, A. (2021). Use of *Endostemon tereticaulis* (Pear.) M.Ashby and *Hyptis spicigera* Lam. Plant Extracts as Corrosion Green Inhibitors for Mild Steel in 1M HCl: Electrochemical and Surface Morphological Studies. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 57 (3), 619–633. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205121030035>
- Rajan, J. P., Shrivastava, R., Mishra, R. K. (2017). Corrosion Inhibition effect of *Clerodendron Colebrookianum* Walp Leaves (Phu-nam) Extract on the Acid Corrosion of Mild Steel. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 53 (6), 1161–1172. doi: <https://doi.org/10.1134/s2070205118010264>
- Sun, X., Qiang, Y., Hou, B., Zhu, H., Tian, H. (2022). Cabbage extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for X70 steel in hydrochloric acid medium. *Journal of Molecular Liquids*, 362, 119733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.119733>
- Fouda, A. S., El-Awady, G. Y., El Behairy, W. T. (2017). *Prosopis juliflora* Plant Extract as Potential Corrosion Inhibitor for Low-Carbon Steel in 1 M HCl Solution. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 4 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-017-0124-x>
- Perumal, S., Muthumanickam, S., Elangovan, A., Karthik, R., kannan, R. S., Mothilal, K. K. (2017). *Bauhinia tomentosa* Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1M HCl Medium. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 3 (2). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-017-0072-5>
- Khadom, A. A., Abd, A. N., Ahmed, N. A., Kadhim, M. M., Fadhil, A. A. (2022). Combined influence of iodide ions and Xanthium *Strumarium* leaves extract as eco-friendly corrosion inhibitor for low-carbon steel in hydrochloric acid. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100278>
- Zakaria, F. A., Hamidon, T. S., Hussin, M. H. (2022). Applicability of winged bean extracts as organic corrosion inhibitors for reinforced steel in 0.5 M HCl electrolyte. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99 (2), 100329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100329>
- Raghavendra, N. (2019). Latest Exploration on Natural Corrosion Inhibitors for Industrial Important Metals in Hostile Fluid Environments: A Comprehensive Overview. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 5 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-019-0240-x>
- Dehghani, A., Ghahremani, P., Mostafatabar, A. H., Ramezanzadeh, B. (2022). Plant extracts: Probable alternatives for traditional inhibitors for controlling alloys corrosion against acidic media – A review. *Biomass Conversion and Biorefinery*. doi: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02893-4>
- Panchal, J., Shah, D., Patel, R., Shah, S., Prajapati, M., Shah, M. (2021). Comprehensive Review and Critical Data Analysis on Corrosion and Emphasizing on Green Eco-friendly Corrosion Inhibitors for Oil and Gas Industries. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 7 (3). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00540-5>
- Chaubey, N., Savita, Qurashi, A., Chauhan, D. S., Quraishi, M. A. (2021). Frontiers and advances in green and sustainable inhibitors for corrosion applications: A critical review. *Journal of Molecular Liquids*, 321, 114385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114385>
- Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Qurashi, A. (2021). Recent trends in environmentally sustainable Sweet corrosion inhibitors. *Journal of Molecular Liquids*, 326, 115117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115117>
- Jmiai, A., El Ibrahimy, B., Tara, A., El Issami, S., Jbara, O., Bazzi, L. (2018). Alginate biopolymer as green corrosion inhibitor for copper in 1 M hydrochloric acid: Experimental and theoretical approaches. *Journal of Molecular Structure*, 1157, 408–417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.12.060>
- Kamali Ardakani, E., Kowsari, E., Ehsani, A. (2020). Imidazolium-derived polymeric ionic liquid as a green inhibitor for corrosion inhibition of mild steel in 1.0 M HCl: Experimental and computational study. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 586, 124195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.124195>
- Abaka, A. K., Ishaku, G. A., Haruna, A., Ardo, B. P. (2020). Phytochemicals Screening and Antifungal Activity of *Balanites aegyptiaca* Seed and Callus Extract against *Candida albicans*. *Asian Plant Research Journal*, 4 (4), 9–16. doi: <https://doi.org/10.9734/aprj/2020/v4i430091>
- Fang, Y., Suganthan, B., Ramasamy, R. P. (2019). Electrochemical characterization of aromatic corrosion inhibitors from plant extracts. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 840, 74–83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2019.03.052>
- Fouda, A. S., Mohamed, O. A., Elabbasy, H. M. (2021). *Ferula hermonis* Plant Extract as Safe Corrosion Inhibitor for Zinc in Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 7 (4). doi: <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00570-z>
- Lohitkarn, J., Hemwech, P., Chantiwas, R., Jariyaboon, M. (2021). The Role of Cassava Leaf Extract as Green Inhibitor for Controlling Corrosion and Scale Problems in Cooling Water Systems. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. doi: <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01121-x>
- Rustandi, A., Soedarsono, J. W., Suharno, B. (2011). The Use of Mixture of Piper Betle and Green Tea as a Green Corrosion Inhibitor for API X-52 Steel in Aerated 3.5 % NaCl Solution at Various Rotation Rates. *Advanced Materials Research*, 383–390, 5418–5425. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.383-390.5418>
- Huong Pham, T., Lee, W.-H., Kim, J.-G. (2022). *Chrysanthemum coronarium* leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for aluminum anode in aluminum-air battery. *Journal of Molecular Liquids*, 347, 118269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118269>
- Umoren, S. A., Solomon, M. M., Obot, I. B., Suleiman, R. K. (2021). Date palm leaves extract as a green and sustainable corrosion inhibitor for low carbon steel in 15 wt.% HCl solution: the role of extraction solvent on inhibition effect. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (30), 40879–40894. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13567-5>
- Pramana, R. I., Kusumastuti, R., Soedarsono, J. W., Rustandi, A. (2013). Corrosion Inhibition of Low Carbon Steel by *Pluchea In-*

- dica Less. in 3.5% NaCl Solution. *Advanced Materials Research*, 785–786, 20–24. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.785-786.20>
26. Wang, Q., Wu, X., Zheng, H., Xiao, X., Liu, L., Zhang, Q. et al. (2022). Insight into anti-corrosion behavior of *Centipeda minima* leaves extract as high-efficiency and eco-friendly inhibitor. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 640, 128458. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128458>
 27. Okeniyi, J. O., Ogbiye, A. S., Ogunlana, O. O., Okeniyi, E. T., Ogunlana, O. E. (2015). Investigating *Solanum Aethiopicum* Leaf-Extract and Sodium-Dichromate Effects on Steel-Rebar Corrosion in Saline/Marine Simulating-Environment: Implications on Sustainable Alternative for Environmentally-Hazardous Inhibitor. *Engineering Solutions for Sustainability*, 167–175. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-48138-8_16
 28. Kaban, A. P. S., Ridhova, A., Priyotomo, G., Elya, B., Maksum, A., Sadeli, Y. et al. (2021). Development of white tea extract as green corrosion inhibitor in mild steel under 1 M hydrochloric acid solution. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (110)), 6–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224435>
 29. Popoola, L. T. (2019). Organic green corrosion inhibitors (OGCIs): a critical review. *Corrosion Reviews*, 37 (2), 71–102. doi: <https://doi.org/10.1515/corrrev-2018-0058>
 30. Aslam, R., Mobin, M., Aslam, J., Lgaz, H., Chung, I.-M. (2019). Inhibitory effect of sodium carboxymethylcellulose and synergistic biodegradable gemini surfactants as effective inhibitors for MS corrosion in 1 M HCl. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (5), 4521–4533. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.065>
 31. Izadi, M., Shahrabi, T., Ramezanzadeh, B. (2017). Electrochemical investigations of the corrosion resistance of a hybrid sol-gel film containing green corrosion inhibitor-encapsulated nanocontainers. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 81, 356–372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.10.039>
 32. Farahati, R., Mousavi-Khoshdel, S. M., Ghaffarinejad, A., Behzadi, H. (2020). Experimental and computational study of penicillamine drug and cysteine as water-soluble green corrosion inhibitors of mild steel. *Progress in Organic Coatings*, 142, 105567. doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105567>
 33. Paul Setiawan Kaban, A., Mayangsari, W., Syaiful Anwar, M., Maksum, A., Riastuti, R. et al. (2022). Experimental and modelling waste rice husk ash as a novel green corrosion inhibitor under acidic environment. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4225–4234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.738>
 34. Hajipour, F., Asad, S., Amoozegar, M. A., Javidparvar, A. A., Tang, J., Zhong, H., Khajeh, K. (2021). Developing a Fluorescent Hybrid Nanobiosensor Based on Quantum Dots and Azoreductase Enzyme for Methyl Red Monitoring. *Iranian Biomedical Journal*, 25 (1), 8–20. doi: <https://doi.org/10.29252/ibj.25.1.8>
 35. Javidparvar, A. A., Naderi, R., Ramezanzadeh, B., Bahlakeh, G. (2019). Graphene oxide as a pH-sensitive carrier for targeted delivery of eco-friendly corrosion inhibitors in chloride solution: Experimental and theoretical investigations. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 72, 196–213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.019>
 36. Ravari, F. B., Dadgarenezhad, A. (2013). Synergistic influence of propargyl alcohol and zinc sulfate on inhibition of corrosion of aluminum in 0.5M H₂SO₄. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 58 (3), 1853–1857. doi: <https://doi.org/10.4067/s0717-97072013000300013>
 37. Fragoza-Mar, L., Olivares-Xometl, O., Domínguez-Aguilar, M. A., Flores, E. A., Arellanes-Lozada, P., Jiménez-Cruz, F. (2012). Corrosion inhibitor activity of 1,3-diketone malonates for mild steel in aqueous hydrochloric acid solution. *Corrosion Science*, 61, 171–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.04.031>
 38. Hamani, H., Douadi, T., Al-Noaimi, M., Issaadi, S., Daoud, D., Chafaa, S. (2014). Electrochemical and quantum chemical studies of some azomethine compounds as corrosion inhibitors for mild steel in 1M hydrochloric acid. *Corrosion Science*, 88, 234–245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.07.044>
 39. Lai, C., Xie, B., Zou, L., Zheng, X., Ma, X., Zhu, S. (2017). Adsorption and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid solution by S-allyl-O,O'-dialkyldithiophosphates. *Results in Physics*, 7, 3434–3443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.09.012>
 40. Godwin-Nwakwasi, E. U., Elachi, E. E., Ezeokonkwo, M. A., Onwuchuruba, L. E. (2017). A Study of the Corrosion Inhibition of Mild Steel in 0.5M Tetraoxosulphate (VI) acid by *Alstonia boonei* Leaves Extract as an Inhibitor at Different Temperatures. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3 (12), 1150–1157. doi: <https://doi.org/10.22161/ijaems.3.12.9>
 41. Hart, E. (Ed.) (2016). *Corrosion inhibitors: Principles, mechanisms and applications*. Nova Science Publishers, Inc.
 42. Aourabi, S., Driouch, M., Sfaira, M., Mahjoubi, F., Hammouti, B., Verma, C. et al. (2021). Phenolic fraction of *Ammi visnaga* extract as environmentally friendly antioxidant and corrosion inhibitor for mild steel in acidic medium. *Journal of Molecular Liquids*, 323, 114950. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114950>
 43. Khanari, K., Finšgar, M., Knez Hrnič, M., Maver, U., Knez, Ž., Seiti, B. (2017). Green corrosion inhibitors for aluminium and its alloys: a review. *RSC Advances*, 7 (44), 27299–27330. doi: <https://doi.org/10.1039/c7ra03944a>
 44. Li, X., Deng, S., Fu, H., Xie, X. (2014). Synergistic inhibition effects of bamboo leaf extract/major components and iodide ion on the corrosion of steel in H₃PO₄ solution. *Corrosion Science*, 78, 29–42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2013.08.025>
 45. Xu, Y. et al. (2018). Halogen-substituted pyrazolo-pyrimidine derivatives as corrosion inhibitors for copper in sulfuric acid solution. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 7 (2). doi: <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-2-9>
 46. Kim, S., Jang, Y., Sung, S., Kim, Y. (2007). Inhibitory Activity of Phenolic Glycosides from the Fruits of *Idesia polycarpa* on Lipopolysaccharide-Induced Nitric Oxide Production in BV2 Microglia. *Planta Medica*, 73 (2), 167–169. doi: <https://doi.org/10.1055/s-2006-951771>
 47. Shahzad, K., Sliem, M. H., Shakoob, R. A., Radwan, A. B., Kahraman, R., Umer, M. A. et al. (2020). Electrochemical and thermodynamic study on the corrosion performance of API X120 steel in 3.5% NaCl solution. *Scientific Reports*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61139-3>
 48. Tan, B., Zhang, S., Qiang, Y., Li, W., Li, H., Feng, L. et al. (2020). Experimental and theoretical studies on the inhibition properties of three diphenyl disulfide derivatives on copper corrosion in acid medium. *Journal of Molecular Liquids*, 298, 111975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111975>
 49. Sedik, A., Lerari, D., Salci, A., Athmani, S., Bachari, K., Gecibesler, İ. H., Solmaz, R. (2020). Dardagan Fruit extract as eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical and surface morphological studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 107, 189–200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.12.006>
 50. Miralrio, A., Espinoza Vázquez, A. (2020). Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Me-

dia: A Review. Processes, 8 (8), 942. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8080942>

51. Ricky, E. X., Mpelwa, M., Xu, X. (2021). The study of m-pentadecylphenol on the inhibition of mild steel corrosion in 1 M HCl solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 101, 359–371. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.05.047>
52. Al-Ghouti, M. A., Da'ana, D. A. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 393, 122383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122383>
53. Vashishth, P., Bairagi, H., Narang, R., Shukla, S. K., Mangla, B. (2022). Thermodynamic and electrochemical investigation of inhibition efficiency of green corrosion inhibitor and its comparison with synthetic dyes on MS in acidic medium. *Journal of Molecular Liquids*, 365, 120042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120042>
54. Noorbakhsh Nezhad, A. H., Davoodi, A., Mohammadi Zahrani, E., Arefinia, R. (2020). The effects of an inorganic corrosion inhibitor on the electrochemical behavior of superhydrophobic micro-nano structured Ni films in 3.5% NaCl solution. *Surface and Coatings Technology*, 395, 125946. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125946>
55. Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Srivastava, V., Haque, J., Ibrahim, B. E. (2021). Virgin and chemically functionalized amino acids as green corrosion inhibitors: Influence of molecular structure through experimental and in silico studies. *Journal of Molecular Structure*, 1226, 129259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129259>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268627

DETERMINING CHANGES IN THE MINERAL COMPOSITION OF CONCRETE DUE TO CHEMICAL CORROSION IN A SULFATE ENVIRONMENT (p. 42–50)

Oksana Shkromada

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

Viktoriia Ivchenko

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

Vadym Chivanov

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

Olha Shvets

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-3829>

Volodymir Moskalenko

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

Alexander Kochenko

Institute of Applied Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3189-1139>

Olena Babenko

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1416-2700>

Yuliya Kharchenko

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8960-2440>

Alina Pikhtirova

Sumy State University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-8828>

Oksana Yurchenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6498-2339>

The object of this study was the concrete structures of a chemical enterprise for the production of titanium dioxide. In this case, the ore is decomposed with sulfate acid according to the sulfate production technology. In an aggressive environment, chemical corrosion of concrete occurs, prolonged over time.

Using X-ray diffraction and X-ray fluorescence analysis methods, the mineral composition of two prototypes of concrete was determined. It was found that the sample obtained from the workshop for processing ore with sulfate acid showed an increased content of sulfur oxide (SO₂) on the surface, by 33 %, with a reduced content of carbonates (CaCO₃) on the surface, by 52.9 %, at a depth of 2 cm – by 53.65, compared to another (control) sample. At the same time, iron oxide (Fe₂O₃) was found on the surface in a sample of concrete from the ore storage room (control), the content of which decreased by 10.4 % at a depth of 2 cm, and by 12.4 % at a depth of 4 cm.

The results of electron microscopy show sulfur crystals on the surface of a concrete sample. It was also found that the microstructure of concrete was changed under the influence of sulfate corrosion, depending on the intensity of the exposure to a depth of 2 to 4 cm. By the method of thermoprogrammed mass spectrometry, it was established that when a sample of concrete exposed to sulfate acid is heated to a temperature of 400 °C, sulfur dioxide SO₂ is released mainly from the surface. From the surface of the control sample, which contains a significant amount of CaCO₃, which is easily destroyed by sulfate acid, there is probably a smaller amount of the product of thermal destruction of calcium carbonate carbon dioxide (CO₂).

The results of the experiment can be used to study the mechanism of development of sulfate corrosion of concrete prolonged over time.

Keywords: sulfate technology, X-ray diffraction, thermoprogrammed mass spectrometry, X-ray fluorescence analysis, electron microscopy.

References

1. Siryi, A. Yu. (2020). Vyrobyntstvo pihmentnoho dvookysu tytanu sulfatnym sposobom. Rozrobyty ta modernizuvaty vakuum-vyparnyi aparat dlia kontsentruvannia rozchynu tytanisulfatu. Sumy: SumDU, 76. Available at: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/82160>
2. Niu, D., Lv, Y., Liu, X., Chen, L., Chen, G., Zhang, B. (2020). Study on the Sulfuration Mechanism of Concrete: Microstructure and Product Analysis. *Materials*, 13 (15), 3386. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13153386>
3. Shkromada, O., Paliy, A., Yurchenko, O., Khobot, N., Pikhtirova, A., Vysochin, I. et al. (2020). Influence of fine additives and surfactants on the strength and permeability degree of concrete. *EU-REKA: Physics and Engineering*, 2, 19–29. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001178>
4. Landa-Sánchez, A., Bosch, J., Baltazar-Zamora, M. A., Croche, R., Landa-Ruiz, L., Santiago-Hurtado, G. et al. (2020). Corrosion Behavior of Steel-Reinforced Green Concrete Containing Recycled Coarse Aggregate Additions in Sulfate Media. *Materials*, 13 (19), 4345. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13194345>
5. Zhou, Y., Tian, H., Sui, L., Xing, F., Han, N. (2015). Strength Deterioration of Concrete in Sulfate Environment: An Experimental Study and Theoretical Modeling. *Advances in Materi-*

- als Science and Engineering, 2015, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/951209>
6. Zhao, G., Shi, M., Fan, H., Cui, J., Xie, F. (2020). The influence of multiple combined chemical attack on cast-in-situ concrete: Deformation, mechanical development and mechanisms. *Construction and Building Materials*, 251, 118988. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118988>
 7. Li, X., O'Moore, L., Song, Y., Bond, P. L., Yuan, Z., Wilkie, S. et al. (2019). The rapid chemically induced corrosion of concrete sewers at high H₂S concentration. *Water Research*, 162, 95–104. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.062>
 8. Marquez-Peñaranda, J. F., Sanchez-Silva, M., Husserl, J., Bastidas-Arteaga, E. (2015). Effects of biodeterioration on the mechanical properties of concrete. *Materials and Structures*, 49 (10), 4085–4099. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0774-4>
 9. Stawiski, B., Kania, T. (2019). Examining the Distribution of Strength across the Thickness of Reinforced Concrete Elements Subject to Sulphate Corrosion Using the Ultrasonic Method. *Materials*, 12 (16), 2519. doi: <https://doi.org/10.3390/ma12162519>
 10. Shkromada, O., Fotina, T., Petrov, R., Nagorna, L., Bordun, O., Barun, M. et al. (2021). Development of a method of protection of concrete floors of animal buildings from corrosion at the expense of using dry disinfectants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (112)), 33–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236977>
 11. Liu, D., Gong, C., Tang, Y., Jian, Y., Cao, K., Chen, H. (2022). Evaluation of Corrosion Damage in Sulfate-Attacked Concrete by CT, Ultrasonic Pulse Velocity Testing and AHP Methods. *Sensors*, 22 (8), 3037. doi: <https://doi.org/10.3390/s22083037>
 12. Ariza-Figueroa, H. A., Bosch, J., Baltazar-Zamora, M. A., Croche, R., Santiago-Hurtado, G., Landa-Ruiz, L. et al. (2020). Corrosion Behavior of AISI 304 Stainless Steel Reinforcements in SCBA-SF Ternary Ecological Concrete Exposed to MgSO₄. *Materials*, 13 (10), 2412. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13102412>
 13. Li, T., Huang, H.-H. (2021). Probabilistic quantitative analysis on the contents of sulfate corrosion products in concrete. *Construction and Building Materials*, 275, 122134. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122134>
 14. Murphy, C. J., Ardy Nugroho, F. A., Härelind, H., Hellberg, L., Langhammer, C. (2020). Plasmonic Temperature-Programmed Desorption. *Nano Letters*, 21 (1), 353–359. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.0c03733>
 15. Bozhokin, M. S., Bozhkova, S. A., Rubel, A. A., Sopova, J. V., Nashchekina, Y. A., Bilyug, N. B., Khotin, M. G. (2021). Specificities of Scanning Electron Microscopy and Histological Methods in Assessing Cell-Engineered Construct Effectiveness for the Recovery of Hyaline Cartilage. *Methods and Protocols*, 4 (4), 77. doi: <https://doi.org/10.3390/mps4040077>
 16. Calvin, J. J., Kaufman, T. M., Sedlak, A. B., Crook, M. F., Alivisatos, A. P. (2021). Observation of ordered organic capping ligands on semiconducting quantum dots via powder X-ray diffraction. *Nature Communications*, 12 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22947-x>
 17. Shkromada, O., Fotina, T., Dudnyk, Y., Petrov, R., Levytska, V., Chivanov, V. et al. (2022). Reducing the biogenic corrosion of concrete in a pigsty by using disinfectants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (118)), 57–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263310>
 18. Shkromada, O., Pikhtirova, A., Chivanov, V., Ivchenko, V., Sribniak, N., Shvets, O., Litsman, Y. (2022). Detection of the synergetic influence of chemical and microbiological factors on the properties of concrete constructions at chemical plants during the long-term service. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 114–126. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002485>
 19. Tan, Y., Yu, H., Ma, H., Zhang, Y., Wu, C. (2017). Study on the micro-crack evolution of concrete subjected to stress corrosion and magnesium sulfate. *Construction and Building Materials*, 141, 453–460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.127>
 20. Gu, Y., Martin, R.-P., Omikrine Metalsi, O., Fen-Chong, T., Dangla, P. (2019). Pore size analyses of cement paste exposed to external sulfate attack and delayed ettringite formation. *Cement and Concrete Research*, 123, 105766. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.05.011>
 21. Zhao, W., Fan, Z., Li, X., Kong, L., Zhang, L. (2022). Characterization and Comparison of Corrosion Layer Microstructure between Cement Mortar and Alkali-Activated Fly Ash/Slag Mortar Exposed to Sulfuric Acid and Acetic Acid. *Materials*, 15 (4), 1527. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15041527>
 22. Zhao, G., Shi, M., Guo, M., Fan, H. (2020). Degradation Mechanism of Concrete Subjected to External Sulfate Attack: Comparison of Different Curing Conditions. *Materials*, 13 (14), 3179. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13143179>
 23. Li, J., Zhao, G., Shi, M. (2020). Degradation and life prediction model for piles due to crystallisation attack in sulfate saline area. *Advances in Cement Research*, 32 (4), 181–195. doi: <https://doi.org/10.1680/jadcr.18.00147>
 24. Zhao, G., Li, J., Han, F., Shi, M., Fan, H. (2019). Sulfate-induced degradation of cast-in-situ concrete influenced by magnesium. *Construction and Building Materials*, 199, 194–206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.022>
 25. Shkromada, O., Ivchenko, V., Chivanov, V., Tsyhanenko, L., Tsyhanenko, H., Moskalenko, V. et al. (2021). Defining patterns in the influence exerted by the interrelated biochemical corrosion on concrete building structures under the conditions of a chemical enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (110)), 52–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226587>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268140
DETERMINING PATTERNS IN THE FORMATION OF
CORDIERITE PHASE DURING THE SYNTHESIS OF
DENSITY-SINTERED LOW-TEMPERATURE CERAMICS
BASED ON GLASSES OF THE MgO–Al₂O₃–SiO₂ SYSTEM
(p. 51–59)

Oleksandr Zaichuk

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5209-7498>

Aleksandra Amelina

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6902-9229>

Yuliia Kalishenko

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6189-2629>

Yurii Hordieiev

Ukrainian State University of Chemical Technology,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6425-936X>

The search for effective modifiers of the structure of densely baked cordierite ceramics to reduce the firing temperature is a

relevant task but typically requires a large amount of experimental research. The object of this study is the reaction of the formation of the cordierite phase with the participation of glass components of the eutectic compositions of the MgO–Al₂O₃–SiO₂ system under low-temperature firing conditions. In this case, thermodynamic analysis was used as a tool to assess the probability of chemical reactions. Thermodynamic analysis can significantly reduce the volume of the experimental sample.

This paper reports the results of theoretical and experimental studies into the features of the course of chemical reactions with the participation of glass components of eutectic compositions of the MgO–Al₂O₃–SiO₂ system. It was revealed that once the stoichiometric ratio is maintained, the resulting product of the interaction between the components of eutectic glasses of the MgO–Al₂O₃–SiO₂ system with charging components is cordierite. Changes in the mineralogical composition of cordierite compositions depending on the firing temperature have been determined. The formation of the cordierite phase is preceded by the process of transformation of meta kaolinite Al₂O₃·2SiO₂, which is a product of kaolin dehydration, into mullite 3Al₂O₃·2SiO₂. Subsequently, the formation of cordierite (in addition to crystallizing directly from eutectic glasses) occurs with the participation of the mullite phase. The formation of the cordierite phase occurs in several stages and is completed at a temperature of 1300 °C. The established features of the reactions of cordierite formation make it possible to determine the most optimal compositions for glasses of the MgO–Al₂O₃–SiO₂ system to obtain low-temperature cordierite ceramics with a high degree of sintering. At the same time, it is also possible to control the phase composition of ceramics and its properties.

Keywords: cordierite ceramics, eutectic glass, MgO–Al₂O₃–SiO₂ system, thermodynamic analysis, X-ray phase analysis.

References

- Zanotto, E. D. (2010). A Bright future for glass-ceramics. *American Ceramic Society Bulletin*, 89 (8), 19–27. Available at: https://ceramics.org/wp-content/uploads/2010/09/bulletin_oct-nov2010.pdf
- Sebastian, M. T., Ubc, 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.0000000007>
- Pivinskii, Yu. E. (2017). The half of a century period of the domestic ceramics technology development. Part I. *Novye ognepory (New Refractories)*, 3, 105–112. doi: <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2017-3-105-112>
- 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. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchem_2017_6_12
- Khomenko, E. S. (2018). Quartz ceramics modified by nanodispersed silica additive. *Functional Materials*, 25 (3), 613–618. doi: <https://doi.org/10.15407/fm25.03.613>
- Lutpi, H. A., Mohamad, H., Abdullah, T. K., Ismail, H. (2021). Effect of sintering treatment time on the sintering behaviour and thermal shock resistance of Li₂O–Al₂O₃–SiO₂ glass-ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 9 (2), 507–518. doi: <https://doi.org/10.1080/21870764.2021.1896094>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A., Khomenko, Y. S., Baskevich, A. S., Kalishenko, Y. R. (2020). Heat-resistant ceramics of b-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>
- Zaichuk, A. V., Kalishenko, Y. R., Amelina, A. A., Hordieiev, Y. S., Halushka, S. A., Savchenko, O. S., Nahorni, M. V. (2022). Features of formation of the celsian phase during firing of heat-resistant ceramics in the system BaO–Al₂O₃–SiO₂. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3, 26–32. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2022-142-3-26-32>
- Sung, Y. M., Kim, S. (2000). Sintering and crystallization of off-stoichiometric SrO–Al₂O₃·2SiO₂ glasses. *Journal of Materials Science*, 35 (17), 4293–4299. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004880201847>
- 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>
- Ptáček, P., Šoukal, F., Opravil, T., Bartoníčková, E., Wasserbauer, J. (2016). The formation of feldspar strontian (SrAl₂Si₂O₈) 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>
- López-Badillo, C. M., López-Cuevas, J., Gutiérrez-Chavarría, C. A., Rodríguez-Galicia, J. L., Pech-Canul, M. I. (2013). Synthesis and characterization of BaAl₂Si₂O₈ using mechanically activated precursor mixtures containing coal fly ash. *Journal of the European Ceramic Society*, 33 (15-16), 3287–3300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2013.05.014>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A., Hordieiev, Yu. S., Kalishenko, Y. R., Sribniak, N. N. (2020). Synthesis and characteristic of celsian ceramics with the use of glass in the system Li₂O–Al₂O₃–B₂O₃–SiO₂. *Functional Materials*, 27, 827–835. doi: <https://doi.org/10.15407/fm27.04.827>
- Zaichuk, A. V. (2019). Radio-transparent ceramic materials of spodumene-cordierite composition. *Functional Materials*, 26 (1), 174–181. doi: <https://doi.org/10.15407/fm26.01.174>
- Zaichuk, O., Amelina, A., Hordieiev, Y., Kalishenko, Y., Sribniak, N., Halushka, S. et al. (2020). Patterns in the synthesis processes, the microstructure and properties of strontium-anorthite ceramics modified by glass of spodumene composition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (108)), 15–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216754>
- Shamsudin, Z., Hodzic, A., Soutis, C., Hand, R. J., Hayes, S. A., Bond, I. P. (2011). Characterisation of thermo-mechanical properties of MgO–Al₂O₃–SiO₂ 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>
- Poteshkina, A. A., Uvarenkova, J. A., Ivanova, V. I., Ivanov, D. M. (2015). Ceramic dielectrics with low dielectric constant for microwave application. *Vestnik SPbGU*, 4 (2 (60)), 285–293.
- Aşkın, A., Tatar, İ., Kılınç, Ş., Tezel, Ö. (2017). The Utilization of Waste Magnesite in the Production of the Cordierite Ceramic. *Energy Procedia*, 107, 137–143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.151>
- Chainikova, A. S., Vaganova, M. L., Shchegoleva, N. E., Lebedeva, Yu. E. (2015). Technological aspects of fabrication of radiotransparent glass-ceramic materials based on high-temperature aluminosilicate systems (review). *Proceedings of VIAM*, 11, 4–4. doi: <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2015-0-11-4-4>
- Stoch, L., Lelatkó, J. (2008). Mechanisms of crystal structure organization in magnesium aluminosilicate glass: HREM and analytical study. *European Journal of Glass Science and Technology*, 48, 183–188.
- Guignard, M., Cormier, L., Montouillout, V., Menguy, N., Massiot, D., Hannon, A. C. (2009). Environment of titanium and aluminum in a magnesium aluminosilicate glass. *Journal of Physics: Condensed*

- Matter, 21 (37), 375107. doi: <https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/37/375107>
22. Reda, A. E., Abd-El-Raouf, F., Ahmed, S. E., Abdel Aziz, D. A., Mahani, R. (2020). Sintering and dielectric behavior for doped cordierite by xCuO within MgO (1-x)-Al₂O₃-SiO₂ ceramics. *Materials Chemistry and Physics*, 243, 122616. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122616>
 23. Torres, F. J., Rodríguez-Mendoza, U. R., Lavín, V., de Sola, E. R., Alarcón, J. (2007). Evolution of the structural and optical properties from cobalt cordierite glass to glass-ceramic based on spinel crystalline phase materials. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353 (44-46), 4093–4101. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2007.06.014>
 24. Zalapa-Garibay, M. A., Torres-Torres, D., Arizmendi-Morquecho, A. M., Reyes-López, S. Y. (2019). Effect of NiO and MoO₃ addition on the crystallinity and mechanical properties of α -cordierite and β -cordierite in the MgO-Al₂O₃-SiO₂ system. *Results in Physics*, 13, 102227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102227>
 25. Banjuraizah, J., Mohamad, H., Ahmad, Z. A. (2011). Effect of impurities content from minerals on phase transformation, densification and crystallization of α -cordierite glass-ceramic. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (28), 7645–7651. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.04.129>
 26. Obradović, N., Đorđević, N., Filipović, S., Nikolić, N., Kosanović, D., Mitrić, M. et al. (2012). Influence of mechanochemical activation on the sintering of cordierite ceramics in the presence of Bi₂O₃ as a functional additive. *Powder Technology*, 218, 157–161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.12.012>
 27. Ivanov, D. M., Luk'yanova, N. A., Ivanova, V. I., Petukhova, V. V. (2009). Sintez kordierita dlya vysokochastotnogo primeneniya. *Vestn. S.-Peterb. un-ta. Fizika, khimiya*, 4, 77–82.
 28. Zaichuk, A., Amelina, A., Kalishenko, Y., Hordieiev, Y., Saltykov, D., Sribniak, N. et al. (2021). Aspects of development and properties of densely sintered of ultra-high-frequency radio-transparent ceramics of cordierite composition. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 58 (4), 483–494. doi: <https://doi.org/10.1007/s43207-021-00125-5>
 29. Belyankin, D. S., Lapin, V. V., Toropov, N. A. (1954). *Fiziko-khimicheskie sistemy silikatnoy tekhnologii*. Moscow: Promstroyizdat, 506.
 30. Gui, H., Li, C., Lin, C., Zhang, Q., Luo, Z., Han, L. et al. (2019). Glass forming, crystallization, and physical properties of MgO-Al₂O₃-SiO₂-B₂O₃ glass-ceramics modified by ZnO replacing MgO. *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (4), 1397–1410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.10.002>
 31. Minakova, N. A., Zaichuk, A. V., Belyi, Ya. 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>
 32. Bobkova, N. M., Silich, L. M., Tereschenko, I. M. (1990). *Sbornik zadach po fizicheskoy khimii silikatov i tugoplavkikh soedineniy*. Minsk: Universitetskoe, 175.
 33. Binnewies, M., Milke, E. (2002). *Thermochemical Data of Elements and Compounds*, 2nd Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH. doi: <https://doi.org/10.1002/9783527618347>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269124
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CERAMIC BRICK USING RICE HUSK AND ASH OF THERMAL POWER PLANTS (p. 60–68)

Saken Uderbayev

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda,
 Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4492-8364>

Aizhan Dilmanova

“ORDA” Zhogary Colleges, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6729-1920>

Nargul Saktaganova

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1218-4946>

Aigul Budikova

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda,
 Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-9467>

Yerik Bessimbayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0869-3513>

The paper presents the results of the influence on shrinkage deformations of the adopted composition during the drying and firing of ceramic bricks made using rice husk and ash of the combined heat and power plant of the city of Kyzylorda of the Republic of Kazakhstan.

The optimal values of the husk additives content and ash from thermal power plants in the studied compositions were determined. Ash dumps from thermal power plants (TPP) create environmental tension and pose a great threat to both the environment and human health. It was found that the hydro-removal ash from the thermal power plant mainly consists of oxides of silica (45.45...46.37 %) and alumina (16.62...17.70 %), there are oxides of calcium (1.66...2.20 %), magnesium (0.86...1.12 %), iron (2.98...3.41 %) and alkali metals (0.80...1.04 %).

The composition of ceramic bricks based on loess-like loam, rice husks, and ash from thermal power plants was studied. The charge composition of the raw components of the “clay, TPP ash, and rice husk” brick: clay is 71...75 %, TPP ash is 18...22 %, and rice husk is 2...6 % of the total mass of the components of the raw mixture of ceramic bricks. The compressive strength of fired ceramic bricks was 11...12 MPa.

According to the results of experimental studies, it was found that the increased concentration of rice husks in natural mixtures is characterized by a stable increase in ceramic mass drying cracks. The increase in time until the appearance of drying cracks is 100 up to 160 sec.

The resulting ceramic brick in accordance with the developed composition has a low weight, good thermal properties and meets the standard requirements for ceramic bricks according to GOST 530-2012.

Keywords: ceramic brick, rice husk, ash, shrinkage deformations, technology, thermal conductivity.

References

1. Jafarnejad, S. (2017). Solid-Waste Management in the Petroleum Industry. *Petroleum Waste Treatment and Pollution Control*, 269–345. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809243-9.00007-9>
2. Ketov, A., Korotaev, V., Rudakova, L., Vaisman, I., Barbieri, L., Lancellotti, I. (2020). Amorphous silica wastes for reusing in highly porous ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 18 (2), 394–404. doi: <https://doi.org/10.1111/ijac.13654>
3. Al-Fakih, A., Mohammed, B. S., Liew, M. S., Nikbakht, E. (2019). Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review. *Journal of Building Engineering*, 21, 37–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.09.023>
4. Vamsi Krishna, B., Rakesh Reddy, E. (2018). Applications of green materials for the preparation of eco-friendly bricks and pavers. In-

- ternational Journal of Engineering & Technology, 7 (3.29), 75. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.29.18465>
5. Sutas, J., Mana, A., Pitak, L. (2012). Effect of Rice Husk and Rice Husk Ash to Properties of Bricks. *Procedia Engineering*, 32, 1061–1067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.055>
 6. Naganathan, S., Mohamed, A. Y. O., Mustapha, K. N. (2015). Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. *Construction and Building Materials*, 96, 576–580. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.068>
 7. Adylov, D. K., Bekturdiyev, G. M., Yusupov, F. M., Kim, R. N. (2011). The Method for Agricultural Waste Recycling to Obtain Modified Fibre for Use in Asbestos-Cement Production. Cooperation to solve the problem of waste: Mat. VIII Intern. Conf. Kharkiv. Available at: <https://waste.ua/cooperation/2011/Theses/adylov.html>
 8. Vinogradov, V. V., Bylkov, A. A., Vinogradov, D. V. (1999). Pat. No. 2171780 RF. Technological module for complex processing of rice husks. declared: 10.05.1999; published: 08.10.2001. Available at: <https://findpatent.ru/patent/217/2171780.html>
 9. Gameliak, I., Dmytrychenko, A., Tsybul'skyi, V., Kharchenko, A. (2022). Determining the effect of reinforcing a cement-concrete coating of bridges on the stressed-strained state of structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 21–31. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251189>
 10. Atyaksheva, A., Rozhkova, O., Sarsikheyev, Y., Atyaksheva, A., Yermekov, M., Smagulov, A., Ryykina, N. (2022). Determination of rational parameters for heat treatment of concrete mixture based on a hollow aluminosilicate microsphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (115)), 64–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251004>
 11. Suryadi, A., Qomariah, Q., Susilo, S. H. (2022). The effect of the use of recycled coarse aggregate on the performance of self-compacting concrete (SCC) and its application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (116)), 41–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255266>
 12. Uderbayev, S. S., Bissenov, K. A., Saktaganova, N. A., Mashkin, N. A., Dunaev, I. S. (2021). Microclimate in the buildings from volume blocks. *NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series of Geology and Technical Sciences*, 1 (445), 186–193. doi: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170x.26>
 13. Vurasko, A. V., Driker, B. N., Mozyreva, E. A., Zemnukhova, L. A., Galimova, A. R., Gulemina, N. N. (2006). Resource-saving technology for the production of cellulose materials in the processing of agricultural waste. *Chemistry of plant raw materials*, 4, 5–10.
 14. Vurasko, A. V., Driker, B. N., Galimova, A. R., Mertin, E. V., Chistyakova, K. N. (2010). Pat. No. 2418122 RF. Method for producing cellulose from rice straw. No. 2010118642/12; declared: 05.07.2010; published: 05.10.2011. Available at: <https://www.freepatent.ru/patents/2418122>
 15. Dobzhansky, V. G., Zemnukhova, L. A., Sergienko, V. I. (1996). Pat. No. 2106304 RF. A method for obtaining water-soluble silicates from rice husk ash. declared: 23.09.1996; published: 03.10.1998. Available at: <https://www.freepatent.ru/patents/2106304>
 16. Govindarao, V. M. H. (1980). Utilization of rice husk - A preliminary analysis. *J. Sci. & Ind. Res.*, 39 (9), 495–515. Available at: <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/6742193>

АНОТАЦІЇ

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268373**УДОСКОНАЛЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕЕТЕРИФІКАЦІЇ ЖИРОВИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІММОБІЛІЗОВАНОГО ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ (с. 6–13)****А. П. Бєлінська, О. М. Близнюк, О. В. Щербак, Н. Ю. Масалігіна, Л. С. Мироненко, О. О. Варанкіна, С. І. Самойленко, В. М. Боровкова, Н. Ю. Кібенко, В. К. Тимченко**

Об'єктом дослідження в роботі є біотехнологія переетерифікації жирових систем за допомогою іммобілізованого ферментного препарату Lipozyme TL IM. В роботі вирішено задачу активації ферментного препарату за допомогою зволоження водним розчином гідрокарбонату натрію з рН 7,4...7,7 (3 % мас.). Отримані результати дозволяють мінімізувати тривалість процесу переетерифікації з одночасним отриманням високоякісного продукту. Запропонована обробка ферментного препарату дозволяє знизити тривалість процесу біопереетерифікації в модельній жировій суміші (пальмовий стеарин, кокосова та соєва олії у співвідношенні 1 : 1 : 1 відповідно) до 3,5...3,7 год. В результаті одержано продукт з високими якісними показниками – кислотним (до 0,26 мг КОН/г), пероксидним (до 0,60 ммоль $\frac{1}{2}$ O /кг) та анізидиновим (1,70 у.о.) числами. Отримані дані пояснюються тим, що для ефективного біокаталізу ліполітичним ферментам як білковим молекулам, є необхідним існування двох фаз – ліпідної і водної, це забезпечується обгрунтованими в дослідженні параметрами активації. Особливістю отриманих результатів є можливість активації ферментного препарату, яку в промислових умовах не передбачено через загрозу гідролітичних процесів сировини і готової продукції, що призводить до погіршення якості готового продукту. Результати досліджень дозволяють мінімізувати гідролітичні процеси в жировій системі під час переетерифікації з одночасним підвищенням ефективності процесу. З практичної точки зору виявлений механізм активації дозволяє корегування умов обробки ферментного препарату в технології переетерифікації жирових систем. Прикладним аспектом використання наукового результату є можливість удосконалення типового технологічного процесу переетерифікації жирів.

Ключові слова: біотехнологічна переетерифікація, іммобілізований ферментний препарат, тривалість переетерифікації, показники якості переетерифікованого жиру.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266931**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПЕРЕЕТЕРИФІКУВАННЯ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНОЇ МОДИФІКАЦІЇ ОКИСЛЕНИХ ЖИРІВ (с. 14–19)****М. М. Корчак, О. М. Брагін, О. І. Петрова, Н. П. Шевчук, Л. О. Стріха, С. В. Станкевич, Я. О. Свіцова, Н. Л. Хименко, О. М. Філенко, О. А. Петухова**

Об'єктом дослідження є процес хімічного переетерифікування олеїну пальмового з підвищеними показниками окислення у присутності каталізатору калій гліцерату.

Переетерифікування є важливим методом модифікації жирів. Використання жирів з підвищеними показниками окислення призводить до дезактивації поширених каталізаторів та зниження ефективності процесу. Є потреба у збільшенні дозування каталізаторів, підвищенні температури процесу, що негативно впливає на якість продукту.

Застосовано альтернативний каталізатор переетерифікування (калій гліцерат) для переетерифікування олеїну пальмового з підвищеними показниками окислення.

Використано олеїн пальмовий (CAS Number 93334-39-5) із стандартними показниками: температура плавлення 22,4 °С, пероксидне число 0,8 $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг, анізидинове число 0,3 у.о. Олеїн піддавали нагріванню за температури 90 °С з метою підвищення показників окислення, після чого піддавали переетерифікуванню. Як параметр ефективності процесу використано різницю температур плавлення початкового та переетерифікованого олеїну пальмового.

Максимальні граничні значення показників окислення, за яких процес є ефективним: пероксидне число 12,7 $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг, анізидинове число 10,4 у.о. Різниця температур плавлення становить 12,1 °С, що свідчить про ефективність процесу. Якісні показники отриманого переетерифікованого жиру свідчать про відповідність ДСТУ 4336 (CAS Number 97593-46-9): температура плавлення 34,5 °С, пероксидне число 1,2 $\frac{1}{2}$ O ммоль/кг, анізидинове число 1,0 у.о.

Результати досліджень дають можливість використовувати жир з підвищеними показниками окислення без попередньої обробки та прогнозувати ефективність переетерифікування в залежності від показників жиру. Це підвищить рентабельність та знизить кількість відходів виробництва.

Ключові слова: хімічна модифікація жирів, каталітичне переетерифікування, калій гліцерат, каталізатор переетерифікування жирів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270519**ПРИНЦИПИ ТА ЕТАПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ З МОДЕЛЛЮ СКЛАДНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ (с. 20–29)****М. Г. Лорія, О. Б. Целішев, П. Й. Єлісєв, О. В. Поркунян, О. М. Гурін, А. О. Абрамова, С. В. Бойченко**

Об'єктом дослідження є ефективний підхід до розробки систем автоматичного керування з моделлю складними технологічними процесами, які включають взаємопов'язані та взаємодоповнюючі етапи від постановки завдання до впровадження системи керування на об'єкт. Він включає комплекс заходів, починаючи з аналізу процесу в його апаратному оформленні з побудовою інформаційно-логічної схеми до розробки всіх видів забезпечень і введення в експлуатацію.

Основною проблемою при реалізації системи керування з моделлю технологічним процесом є обмежені діапазони адекватності математичних моделей. Тому при зміні навантаження на агрегат, зміні зовнішніх та внутрішніх збурень необхідно постійно забезпечувати необхідний рівень адекватності моделей. Запропоновано застосувати в якості математичної моделі об'єкта керування комбіновану модель, що об'єднує переваги аналітичних та експериментально-статистичних моделей. Це дає можливість значно розширити інформаційну базу результуючої моделі. Також запропоновано простий і ефективний ітераційний алгоритм для розрахунку цієї моделі. Він включає послідовні кроки з визначення параметрів моделі по базовим залежностям (детермінована частина моделі) з наступним уточненням їх за поточними даними з об'єкта (експериментально-статистична частина моделі). Ефективність підходу підтверджено на прикладі АСК ТП колони синтезу аміаку. За рахунок підвищення точності визначення параметрів керування та звуження діапазону їх зміни навколо оптимального значення на 5–8 % збільшується об'єм випуску аміаку.

Застосування описаного підходу на прикладі розробки автоматичної системи керування технологічним процесом синтезу аміаку підтвердило економічну доцільність реалізації запропонованих рішень.

Ключові слова: система керування, керування з моделлю, інформаційно-логічна схема, комбінована математична модель, алгоритм, оптимізація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267232**ВПЛИВ ЕКСТРАКТУ ЛИСТЯ ДЖАМБОЛАНУ В ЯКОСТІ «ЗЕЛЕНОГО» ІНГІБІТОРА КОРОЗІЇ НА ВУГЛЕЦЕВУ СТАЛЬ АРІ 5L В 1M HCl (с. 30–41)****Rini Riastuti, Giannisa Mashanafie, Vika Rizkia, Ahmad Maksum, Siska Prifiharni, Agus Kaban, Gadang Priyotomo, Johny Soedarsono**

Корозія сталі АРІ 5L під дією 1M HCl є поширеною проблемою; отже, важливе значення має створення більш ефективного інгібітора природного походження. В даному дослідженні в якості нового «зеленого» інгібітора корозії в кислих умовах використовувався екстракт листя джамболана. Інгібуючі властивості екстракту джамболану були ретельно охарактеризовані за допомогою потенціодинамічної поляризації (PDP), електрохімічної імпедансної спектроскопії (EIS), інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є (FTIR) та атомно-силового мікроскопа (AFM). Результати показують, що інгібітор на основі джамболану забезпечує чудове інгібування корозії з ефективністю 93 %. Адсорбційні властивості інгібітора відповідають ізотермі адсорбції Ленгмюра завдяки близькості R^2 до одиниці. Потенціодинамічні та електрохімічні вимірювання демонструють змішаний тип інгібітора корозії. Термодинамічний розрахунок ΔG_{ads} становить $-18,41$ кДж/моль⁻¹, що відображає процес фізичної адсорбції між інгібітором і металами. При подальшому вивченні ΔH_{ads} при $-58,93$ кДж/моль⁻¹ враховується вивільнення енергії під час адсорбції. Результати FTIR узгоджуються зі збільшенням росту пасивних шарів через адсорбцію поліфенолів та флавоноїдів на металах. Примітно, що пік адсорбції при $3266,59$ см⁻¹ відповідає адсорбції –ОН. Пік при $1612,56$ та $1698,4$ см⁻¹ відноситься до функціональних груп C=C і C=O. Вищевказані функціональні групи служать адсорбційними центрами для зниження впливу корозії. Поверхнева обробка АСМ показала гарний взаємозв'язок з характеристиками функціональних груп і підтвердила значне зниження швидкості корозії. Дана робота може бути використана в якості орієнтира для розробки природної рослини як інгібітора корозії.

Ключові слова: «зелений» інгібітор корозії, екстракт листя джамболану, фізична абсорбція, молекули інгібітора на основі поліфенолів та флавоноїдів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268627**ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІН МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ БЕТОНУ, ОБУМОВЛЕНИХ ХІМІЧНОЮ КОРОЗІЄЮ В СУЛЬФАТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ (с. 42–50)****О. І. Шкромада, В. Д. Івченко, В. Д. Чіванов, О. Г. Швець, В. Б. Москаленко, О. В. Коченко, О. М. Бабенко, Ю. В. Харченко, А. В. Піхтірєва, О. В. Юрченко**

Об'єктом дослідження були бетонні конструкції хімічного підприємства з виробництва двоокису титану. При цьому руду за сульфатною технологією виробництва розкладають сульфатною кислотою. В умовах агресивного середовища виникає хімічна корозія бетону, пролонгована з часом.

За допомогою методів рентгенівської дифракції та рентгенофлуоресцентного аналізу визначений мінеральний склад двох дослідних зразків бетону. Встановлено, що у зразку отриманого з цеху для обробки руди сульфатною кислотою, збільшений вміст оксиду сірки (SO₂) на поверхні на 33 %, при цьому зменшується вміст карбонатів (CaCO₃) на поверхні на 52,9 %, на глибині 2 см – на 53,6 5,

порівняно до іншого (контрольного) зразку. При цьому у зразку бетону з приміщення для зберігання руди (контроль) виявляли оксид заліза (Fe_2O_3) на поверхні, вміст якого зменшувався на 10,4 % на глибині 2 см та на 12,4 % на глибині 4 см.

Результати використання електронної мікроскопії показують кристали сірки на поверхні зразка бетону. Також встановлено, що мікроструктура бетону змінена під впливом сульфатної корозії залежності від інтенсивності ураження на глибину від 2 до 4 см. Методом термопрограмованої маспектрометрії встановлено, що при нагріванні зразку бетону, підданого дії сульфатної кислоти до температури $400\text{ }^\circ\text{C}$ з поверхні виділяється переважно діоксид сірки SO_2 . З поверхні контрольного зразка, який містить значну кількість CaCO_3 , який легко руйнується сульфатною кислотою, вірогідно менша кількість продукту термодеструкції карбонату кальцію діоксиду вуглецю (CO_2).

Результати проведеного експерименту можна застосовувати для вивчення механізму розвитку сульфатної корозії бетону пролонговану з часом.

Ключові слова: сульфатна технологія, рентгенівська дифракція, термопрограмована мас-спектрометрія, рентгенофлуоресцентний аналіз, електронна мікроскопія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268140

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ УТВОРЕННЯ КОРДІЕРИТОВОЇ ФАЗИ ПРИ СИНТЕЗИ ЩІЛЬНОСПЕЧЕНОЇ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ СТЕКОЛ СИСТЕМИ $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (с. 51–59)

О. В. Зайчук, О. А. Амеліна, Ю. Р. Калішенко, Ю. С. Гордєєв

Пошук ефективних модифікаторів структури щільноспеченої кордієритової кераміки для зниження температури випалу є актуальним, але, як правило, потребує великого об'єму експериментальних досліджень. Об'єктом досліджень є реакції утворення кордієритової фази за участю компонентів стекол евтектичних складів системи $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ в умовах низькотемпературного випалу. При цьому як інструмент для оцінки ймовірності перебігу хімічних реакцій використовували термодинамічний аналіз. Термодинамічний аналіз дозволяє суттєво скоротити об'єм експериментальної вибірки.

В роботі наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень особливостей перебігу хімічних реакцій за участю компонентів стекол евтектичних складів системи $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Виявлено, що у випадку дотримання стехіометричного співвідношення кінцевим продуктом взаємодії компонентів евтектичних стекол системи $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ з підшихтовочними компонентами є кордієрит. Визначені зміни мінералогічного складу кордієритових композицій в залежності від температури випалу. Формуванню кордієритової фази передують процес перетворення метакаоїліну $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, який є продуктом дегідратації каоїліну, в муліт $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. В подальшому утворення кордієриту (крім того, що кристалізується безпосередньо з евтектичних стекол) відбувається за участю мулітової фази. Формування кордієритової фази відбувається в декілька етапів і повністю завершується при температурі $1300\text{ }^\circ\text{C}$. Встановлені особливості перебігу реакцій утворення кордієриту дозволяють визначити найбільш оптимальні склади стекол системи $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ для отримання низькотемпературної кордієритової кераміки з високим ступенем спікання. При цьому також можливо управляти фазовим складом кераміки та її властивостями.

Ключові слова: кордієритова кераміка, евтектичне скло, система $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, термодинамічний аналіз, рентгенофазовий аналіз.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269124

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ З ВИКОРИСТАННЯМ РИСОВОГО ЛУШПИННЯ І ЗОЛИ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ (с. 60–68)

Saken Uderbayev, Aizhan Dilmanova, Nargul Saktaganova, Aigul Budikova, Yerik Bessimbayev

У роботі представлені результати впливу на усадкові деформації прийнятого складу при сушінні та випалюванні керамічної цегли, виготовленої з використанням рисового лушпиння і золи ТЕЦ у місті Кизилорда Республіки Казахстан.

Визначено оптимальні значення вмісту добавок лушпиння та золи теплових електростанцій у досліджуваних композиціях. Золотодвали теплових електростанцій (ТЕС) створюють екологічну напруженість і становлять велику загрозу як для навколишнього середовища, так і для здоров'я людини. Встановлено, що золи гідровидалення ТЕС здебільшого складаються з оксидів кремнезему (45,45...46,37 %) та глинозему (16,62...17,70 %), присутні оксиди кальцію (1,66...2,20 %), магнію (0,86...1,12 %), заліза (2,98...3,41 %) і лужних металів (0,80...1,04 %).

Вивчено склад керамічної цегли на основі лесовидних суглинків, рисового лушпиння та золи теплових електростанцій. Склад шихти сировинних компонентів цегли «глина, зола та рисове лушпиння»: глина становить 71...75 %, зола ТЕС – 18...22 %, рисове лушпиння – 2...6 % від загальної маси компонентів сировинної суміші керамічної цегли. Міцність на стиск обпаленої керамічної цегли складала 11...12 МПа.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що підвищення концентрації рисового лушпиння в натуральних сумішах характеризується стабільним збільшенням тріщин при висиханні керамічної маси. Збільшення часу до появи тріщин внаслідок висихання становить від 100 до 160 с.

Отримана керамічна цегла відповідно до розробленого складу має невелику вагу, гарні теплотехнічні властивості і відповідає нормативним вимогам до керамічної цегли за ГОСТ 530-2012.

Ключові слова: керамічна цегла, рисове лушпиння, зола, усадкові деформації, технологія, теплопровідність.