

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247233

**DETERMINING ENERGETIC CHARACTERISTICS
AND SELECTING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY
COMPONENTS FOR SOLID ROCKET PROPELLANTS
AT THE EARLY STAGES OF DESIGN (p. 6–14)**

Olena Kositsyna

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0857-831X>

Varlan Kostiantyn

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7888-2777>

Mykola Dron

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0682-8004>

Oleksii Kulyk

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2913-4462>

This paper has investigated the possibility to theoretically calculate a value of the specific impulse for highly energetic compositions using only two parameters – the heat of the reaction and the number of moles of gaseous decomposition reaction products. Specific impulse is one of the most important energetic characteristics of rocket propellant. It demonstrates the level of achieving the value of engine thrust and propellant utilization efficiency. Determining the specific impulse experimentally is a complex task that requires meeting special conditions. For the stage of synthesis of new promising components, the comparative analysis of energetic characteristics, forecasting the value of specific impulse, especially relevant are calculation methods. Most of these methods were first developed to determine the energetic characteristics of explosives. Since explosives and rocket propellants in many cases have similar energy content and similar chemical composition, some estimation methods can be used to assess the specific impulse of solid rocket propellant.

The specific impulse has been calculated for 45 compositions based on environmentally friendly oxidizers (ammonium dinitramide, hydrazinium nitroformate, hexanitrohexaazaisowurtzitane) and polymer binders polybutadiene with terminal hydroxyl groups, glycidylazide polymer, poly-3-nitratomethyl-3-methyloxetane). It was established that the estimation data obtained correlate well with literary data. Deviation of the derived values of the specific impulse from those reported in the literature is from 0.4 % to 1.8 %. The calculation results could be used for preliminary forecasting of energetic characteristics for highly energetic compositions, selecting the most promising components, as well as their ratios.

Keywords: highly energetic compositions, environmentally friendly oxidizers, polymer binder, specific impulse.

References

- Kositsyna, O. S., Dron', M. M., Yemets, V. V. (2020). The environmental impact assessment of emission from space launches: the promising propellants components selection. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (2), 186–193. doi: <https://doi.org/10.15421/082020>
- Yemets, V., Dron', M., Yemets, T., Kostritsyn, O. (2015). The Infinite Staging Rocket – A Progress to Realization. IAC-15. Available at: <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-15/D2/7/28649/>
- Yemets, V., Harkness, P., Dron', M., Pashkov, A., Worrall, K., Middleton, M. (2018). Autophage Engines: Toward a Throttleable Solid Motor. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 55 (4), 984–992. doi: <https://doi.org/10.2514/1.34153>
- Yemets, M., Yemets, V., Dron', M., Harkness, P., Worrall, K. (2018). Caseless throttleable solid motor for small spacecraft. IAC-18. Available at: <https://iafastro.directory/iac/archive/browse/IAC-18/C4/8-B4.5A/48017/>
- Yemets, V., Dron', M., Pashkov, A. (2020). Autophage Engines: Method to Preset Gravity Load of Solid Rockets. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 57 (2), 309–318. doi: <https://doi.org/10.2514/1.34597>
- Yemets, V. V., Dron', M. M., Kositsyna, O. S. (2019). Estimation of the possibilities for using the solid hydrocarbon fuels in autophage launch vehicle. *Journal of Chemistry and Technologies*, 27 (1), 58–64. doi: <https://doi.org/10.15421/081906>
- Yemets, V., Dron, M., Pashkov, A., Dreus, A., Kositsyna, Y., Yemets, M. et. al. (2020). Method to Preset G-load Profile of Launch Vehicles. 71st International Astronautical Congress, IAC 2020. Available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85100948613&origin=inward&txGid=45e75f972f792a0effbe94b9a76e7aeb>
- Gadiot, G. M. H. J. L., Mul, J. M., Meulenbrugge, J. J., Kortling, P. A. O. G., Schnorkh, A. J., Schöyer, H. F. R. (1993). New solid propellants based on energetic binders and HNF. *Acta Astronautica*, 29 (10-11), 771–779. doi: [https://doi.org/10.1016/0094-5765\(93\)90158-s](https://doi.org/10.1016/0094-5765(93)90158-s)
- Trache, D., Klapötke, T. M., Maiz, L., Abd-Elghany, M., DeLuca, L. T. (2017). Recent advances in new oxidizers for solid rocket propulsion. *Green Chemistry*, 19 (20), 4711–4736. doi: <https://doi.org/10.1039/c7gc01928a>
- Abd-Elghany, M., Klapötke, T. M., Elbeih, A. (2018). Environmentally safe (chlorine-free): new green propellant formulation based on 2,2,2-trinitroethyl-formate and HTPB. *RSC Advances*, 8 (21), 11771–11777. doi: <https://doi.org/10.1039/c8ra01515e>
- Vellaisamy, U., Biswas, S. (2020). Effect of metal additives on neutralization and characteristics of AP/HTPB solid propellants. *Combustion and Flame*, 221, 326–337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2020.08.006>
- Muthurajan, H., Sivabalan, R., Pon Saravanan, N., Talawar, M. B. (2009). Computer code to predict the heat of explosion of high energy materials. *Journal of Hazardous Materials*, 161 (2-3), 714–717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.032>
- Jafari, M., Keshavarz, M. H., Ebadpour, R. (2020). A Simple Approach to Assess the Performance of Non-ideal Aluminum/Ammonium Perchlorate Composite Explosives as Compared to the Best Available Methods. *Zeitschrift Für Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 646 (17), 1419–1425. doi: <https://doi.org/10.1002/zaac.202000269>
- Muthurajan, H., Sivabalan, R., Talawar, M., Anniyappan, M., Venugopalan, S. (2006). Prediction of heat of formation and related parameters of high energy materials. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1-3), 30–45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.009>

15. Talawar, M. B., Sivabalan, R., Anniyappan, M., Gore, G. M., Asthana, S. N., Gandhe, B. R. (2007). Emerging trends in advanced high energy materials. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 43 (1), 62–72. doi: <https://doi.org/10.1007/s10573-007-0010-9>
16. Kumar, P. (2018). An overview on properties, thermal decomposition, and combustion behavior of ADN and ADN based solid propellants. *Defence Technology*, 14 (6), 661–673. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.03.009>
17. De Flon, J., Andreasson, S., Liljedahl, M., Oscarson, C., Wanhatalo, M., Wingborg, N. (2011). Solid Propellants based on ADN and HTPB. 47th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2011-6136>
18. Cerri, S., Bohn, M. A., Menke, K., Galfetti, L. (2013). Characterization of ADN/GAP-Based and ADN/Desmophen®-Based Propellant Formulations and Comparison with AP Analogues. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 39 (2), 192–204. doi: <https://doi.org/10.1002/prop.201300065>
19. Nagamachi, M. Y., Oliveira, J. I. S., Kawamoto, A. M., Dutra, R. de C. L. (2009). ADN - The new oxidizer around the corner for an environmentally friendly smokeless propellant. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 1 (2), 153–160. doi: <https://doi.org/10.5028/jatm.2009.0102153160>
20. Zhang, J., Feng, Y., Staples, R. J., Zhang, J., Shreeve, J. M. (2021). Taming nitroformate through encapsulation with nitrogen-rich hydrogen-bonded organic frameworks. *Nature Communications*, 12 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22475-8>
21. Deppert, T. M., Smith, D. R., Shanholtz, C. (2015). Pat. No. 9505666 US. Methods to desensitize hydrazinium nitroformate (HNF). No. 14/268,470; declared: 05.11.2015; published: 29.01.2016. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/86/e5/fa/d0a6e54e76337a/US9505666.pdf>
22. De Luca, L. T., Shimada, T., Sinditskii, V.P., Calabro, M. (Eds.) (2017). *Chemical Rocket Propulsion. A Comprehensive Survey of Energetic Materials*. Springer, 1084. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27748-6>
23. Badgujar, D. M., Talawar, M. B., Zarko, V. E., Mahulikar, P. P. (2019). Recent Advances in Safe Synthesis of Energetic Materials: An Overview. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 55 (3), 245–257. doi: <https://doi.org/10.1134/s0010508219030018>
24. Keshavarz, M. H., Ghani, K., Asgari, A. (2015). A New Method for Predicting Heats of Decomposition of Nitroaromatics. *Zeitschrift Für Anorganische Und Allgemeine Chemie*, 641 (10), 1818–1823. doi: <https://doi.org/10.1002/zaac.201500273>
25. Jafari, M., Keshavarz, M. H., Noorbala, M. R., Kamalvand, M. (2016). A Reliable Method for Prediction of the Condensed Phase Enthalpy of Formation of High Nitrogen Content Materials through their Gas Phase Information. *ChemistrySelect*, 1 (16), 5286–5296. doi: <https://doi.org/10.1002/slct.201601184>
26. Keshavarz, M. H., Abadi, Y. H., Esmailpour, K., Damiri, S., Oftadeh, M. (2017). Introducing Novel Tetrazole Derivatives as High Performance Energetic Compounds for Confined Explosion and as Oxidizer in Solid Propellants. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 42 (5), 492–498. doi: <https://doi.org/10.1002/prop.201600249>
27. Keshavarz, M. H., Jafari, M., Ebadpour, R. (2019). Simple method to calculate explosion temperature of ideal and non-ideal energetic compounds. *Journal of Energetic Materials*, 38 (2), 206–213. doi: <https://doi.org/10.1080/07370652.2019.1679284>
28. Kamlet, M. J., Jacobs, S. J. (1968). Chemistry of Detonations. I. A Simple Method for Calculating Detonation Properties of C–H–N–O Explosives. *The Journal of Chemical Physics*, 48 (1), 23–35. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1667908>
29. Frem, D. (2018). A Reliable Method for Predicting the Specific Impulse of Chemical Propellants. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 10. doi: <https://doi.org/10.5028/jatm.v10.945>
30. Politzer, P., Murray, J. S. (2014). The role of product composition in determining detonation velocity and detonation pressure. *Central European Journal of Energetic Materials*, 11 (4), 459–474. Available at: <https://ipo.lukasiewicz.gov.pl/wydawnictwa/wp-content/uploads/2021/03/Politzer-5.pdf>
31. Talin, D. D. (2007). Fiziko-himicheskie svoystva vzryvchatyh veshchestv, porohov i tverdyh raketnyh topliv. Perm': Izdatel'stvo perm-skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 274. Available at: <https://ua1lib.org/book/2083510/59c149?id=2083510&secret=59c149&dsource=recommend>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246612

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE FILM ABSORBER FOR SULFATING TWO-COMPONENT MIXTURES OF ORGANIC SUBSTANCES (p. 15–22)

Oleksandr Dzevochko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1297-1045>

Mykhaylo Podustov

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2119-1961>

Alona Dzevochko

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5988-5577>

Vladimir Panasenko

State Institution “State Research and Design Institute of Basic
Chemistry”, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0441-9063>

The processes that occur in film absorbers during the sulfation of two-component mixtures of organic substances are quite complex and require mathematical modeling. This paper reports the construction of a mathematical model that makes it possible to adequately describe the process of sulfation involving gaseous sulfur trioxide in the production of surfactants. Based on the model, it became possible to investigate this process for higher alcohols of fractions C₁₂–C₁₄ and monoethanolamides of higher fatty acids of coconut oil.

The data are given on the comparison of mathematical modeling results based on the mathematical model built with known experimental data and results of alternative mathematical modeling for different ratios of the length of the reaction pipe to its diameter (l/d). It is shown that the error in comparing the experimental data was 4.8–9.6 % at l/d=29; 1.1–8.7 % at l/d=70; 3.9–12.3 % at l/d=144. The error in comparing known results of alternative mathematical modeling was, respectively, 6.3–7.2 %, 0.1–6.5 %, 0–1.0 %. These results were obtained for the molar ratio in the range of 1.0–1.15 and the SO₃ concentration in the stream of 4.0–6.0 %.

Such findings suggest that the established dependences of the basic parameters for the sulfation process are adequate in terms of the absorber length and its radial direction. Therefore, the mathematical model built does hold within the considered ranges of input variables. Consequently, it could be used in the theoretical study of the process of sulfation of two-component mixtures of organic

substances by gaseous sulfur trioxide in a film absorber with a downward flow of phases. The results obtained could be used in practice, in particular in the manufacture of high-quality products for the cosmetic industry.

Keywords: mathematical model, process of sulfation, film absorber, surfactant, two-component mixture.

References

- Tananayko, Yu. M., Vorontsov, E. G. (1975). *Metody rascheta i issledovaniya plenochnyh protsessov*. Kyiv: Tekhnika, 312.
- Timmermans, R. C. V. (2017). Falling Film Reactor. Available at: <https://documents.pub/document/falling-film-the-main-conclusion-of-this-research-is-that-the-concept-of-the-falling.html>
- Russo, V., Milicia, A., Di Serio, M., Tesser, R. (2019). Falling film reactor modelling for sulfonation reactions. *Chemical Engineering Journal*, 377, 120464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.162>
- Sheverdyayev, O. N., Belov, P. S., Shkitov, A. M. (2001). *Osnovy tekhnologii poverhnostno-aktivnyh veshchestv i sinteticheskikh moyuschih sredstv*. Moscow: MGOU, 201.
- Dzevochko, O. M., Podustov, M. O. (2018). Research of the process of sulfating organic substances by gaseous sulfur trioxide. *Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennia*, 2, 50–55. Available at: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/41212/1/ITE_2018_2_Dzevochko_Doslidzhennia_protseesu.pdf
- Adami, I. (2004). Design Criteria, Mechanical Features, Advantages and Performances of Multitube Falling Film Sulphonation Reactor. *Tenside Surfactants Detergents*, 41 (5), 240–245. doi: <https://doi.org/10.3139/113.100230>
- Narváez, P. C., Sánchez, F. J., Godoy-Silva, R. D. (2009). Continuous Methanolysis of Palm Oil Using a Liquid–Liquid Film Reactor. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86 (4), 343–352. doi: <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1356-9>
- Xu, Z. F., Khoo, B. C., Wijesundera, N. E. (2008). Mass transfer across the falling film: Simulations and experiments. *Chemical Engineering Science*, 63 (9), 2559–2575. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2008.02.014>
- Foster, N. C. (1997). Sulfonation and Sulfation. The Chemithon Corporation, 36. Available at: <https://docplayer.net/29344190-Sulfonation-and-sulfation-processes-norman-c-foster-ph-d-p-e.html>
- Johnson, G. R., Crynes, B. L. (1974). Modeling of a Thin-Film Sulfur Trioxide Sulfonation Reactor. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 13 (1), 6–14. doi: <https://doi.org/10.1021/i260049a002>
- James Davis, E., Van Ouwerkerk, M., Venkatesh, S. (1979). An analysis of the falling film gas-liquid reactor. *Chemical Engineering Science*, 34 (4), 539–550. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(79\)85099-x](https://doi.org/10.1016/0009-2509(79)85099-x)
- Gutierrez-Gonzalez, J., Mans-Teixido, C., Costa-Lopez, J. (1988). Improved mathematical model for a falling film sulfonation reactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 27 (9), 1701–1707. doi: <https://doi.org/10.1021/ie00081a023>
- Dabir, B., Riazi, M. R., Davoudirad, H. R. (1996). Modelling of falling film reactors. *Chemical Engineering Science*, 51 (11), 2553–2558. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(96\)00113-3](https://doi.org/10.1016/0009-2509(96)00113-3)
- Talens-Alesson, F. I. (1999). The modelling of falling film chemical reactors. *Chemical Engineering Science*, 54 (12), 1871–1881. doi: [https://doi.org/10.1016/s0009-2509\(98\)00497-7](https://doi.org/10.1016/s0009-2509(98)00497-7)
- Akanksha, Pant, K. K., Srivastava, V. K. (2007). Modeling of sulfonation of tridecylbenzene in a falling film reactor. *Mathematical and Computer Modelling*, 46 (9-10), 1332–1344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.01.007>
- Torres Ortega, J. A., Morales Medina, G., Suárez Palacios, O. Y., Sánchez Castellanos, F. J. (2009). Mathematical Model of a Falling Film Reactor for Methyl Ester Sulfonation. *Chemical Product and Process Modeling*, 4 (5). doi: <https://doi.org/10.2202/1934-2659.1393>
- Torres Ortega, J. A., Díaz Aldana, L. A., Sánchez Castellanos, F. J. (2009). Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. *Ingeniería e Investigación*, 29 (3), 48–53. Available at: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/15182/15976>
- Torres Ortega, J. A. (2012). Sulfonation/Sulfation Processing Technology for Anionic Surfactant Manufacture. *Advances in Chemical Engineering*. doi: <https://doi.org/10.5772/32077>
- Podustov, M. O., Dzevochko, A. I., Lysachenko, I. H., Dzevochko, O. M. (2017). Analysis of the sulfating process in a tubular film reactor by method of mathematical modeling. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya: Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ekolohiya*, 49, 60–65. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpixx_2017_49_12

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247133

MATHEMATICAL MODELING OF THE SEDIMENTATION PROCESS FOR DETERMINING THE FRACTIONAL COMPOSITION OF SUSPENSIONS (p. 23–31)

Vitalii Chumak

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1574-2862>

Mariia Maksymiuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6953-8437>

Olena Kosenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5172-0433>

Vira Rudenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4052-6053>

Olena Spaska

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4423-2201>

Exceptional prospects for use in science, technology and industry are opened by highly dispersed powders (ultradispersed diamonds, nanoceramics, medicinal powders) and materials based on them. The properties of such materials depend on the particle size determined by sedimentation analysis.

An equation is proposed for processing sedimentation analysis data, which does not depend on the size distribution law of polydisperse system particles, and is used to describe the distribution functions of particles with radii for clay suspensions.

A program in the Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) language has been created for calculating the fractional composition of suspensions according to the proposed equation; the correctness of its operation on a model system has been checked and confirmed.

Experimental research has confirmed that the use of the developed program and the “Search for a solution” add-on for the MS Excel environment makes it possible to determine the fractional composition of suspensions.

It has been proven that the proposed method can be used to analyze polydisperse systems.

It has been found that for the suspensions under consideration, as containing 25 fractions, it is possible to determine the integral

curve of the distribution of the masses of the particles of the dispersed phase along the radii.

This allows to assert the possibility of using the proposed equation for processing sedimentation analysis data, which does not depend on the law of mass distribution of polydisperse system particles by size.

Thus, there is reason to assert about the possibility of a reasonable determination of the fractional composition of any polydisperse systems.

It is possible to obtain certain effects from the introduction of sedimentation analysis data processing according to the proposed equation in production, where the fractional composition of dispersed phases is regulated.

Keywords: dispersed system, fractional composition, particle distribution curves, linear approximation, sedimentation.

References

- Li, L., Sun, Z., Zhang, R. (2017). Numerical simulation of sedimentation processes in a novel air flotation-sedimentation tank. *Journal of Water Process Engineering*, 18, 41–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.05.006>
- Khorrani, Z., Banihashemi, M. A. (2019). Numerical simulation of sedimentation process in reservoirs and development of a non-coupled algorithm to improve long-term modeling. *International Journal of Sediment Research*, 34 (3), 279–294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.10.003>
- Szabó, Z., Broda, B., Marosfői, B., Kováts, A. (2021). Sedimentation study on modified lead dioxide particles – For screening of potentially effective additives for lead-acid batteries. *Journal of Power Sources*, 513, 230547. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230547>
- Chen, H., Liu, W., Chen, Z., Zheng, Z. (2021). A numerical study on the sedimentation of adhesive particles in viscous fluids using LBM-LES-DEM. *Powder Technology*, 391, 467–478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.031>
- Antonopoulou, E., Rohmann-Shaw, C. F., Sykes, T. C., Cayre, O. J., Hunter, T. N., Jimack, P. K. (2018). Numerical and experimental analysis of the sedimentation of spherical colloidal suspensions under centrifugal force. *Physics of Fluids*, 30 (3), 030702. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5010735>
- Kołodziejczyk, K. (2016). Numerical Simulation of Coal Suspension Sedimentation. *Archives of Mining Sciences*, 61 (1), 59–68. doi: <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0005>
- Xu, Z., Sun, Y., Niu, Z., Xu, Y., Wei, X., Chen, X. et. al. (2020). Kinetic determination of sedimentation for GMZ bentonite colloids in aqueous solution: Effect of pH, temperature and electrolyte concentration. *Applied Clay Science*, 184, 105393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105393>
- Chumak, V., Maksymiuk, M., Kosenko, O. (2010). The processing of results of the sedimentation analysis with the use of the method of Newton. *Proceedings of the National Aviation University*, 45 (4), 153–160. doi: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.45.1894>
- Chumak, V. L., Maksymiuk, M. R., Komkova, L. S. (2011). Definition of bentonitic suspensions with fractional structure the Newton method usage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (50)), 18–21. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1801/1697>
- Dey, S., Zeeshan Ali, S., Padhi, E. (2019). Terminal fall velocity: the legacy of Stokes from the perspective of fluvial hydraulics. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 475 (2228), 20190277. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0277>
- Samuels, J. (2017). A Graphical Introduction to the Derivative. *The Mathematics Teacher*, 111 (1), 48–53. doi: <https://doi.org/10.5951/mathteacher.111.1.0048>
- Frederix, E. M. A., Cox, T. L. W., Kuerten, J. G. M., Komen, E. M. J. (2019). Poly-dispersed modeling of bubbly flow using the log-normal size distribution. *Chemical Engineering Science*, 201, 237–246. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.02.013>
- Kerim, M. K., Maxanbet, A. T., Balabek, A. M., Uristemova, A. U., Ayakeshova, A. K., Turgumbaeva, Kh. Kh. (2013). Sedimentation analysis of secondary products of phosphorus industry of Zhambyl region. *European Student Scientific Journal*, 2. Available at: <https://sjes.esrae.ru/ru/article/view?id=131>
- Zyryanov, M. S., Myachina, M. A., Gavrilova, N. N., Makarov, N. A. (2020). The influence of dispersion of boemite on the properties of γ -Al₂O₃/ α -Al₂O₃ carrier. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*, 34 (5), 32–34. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-dispersnosti-bemita-na-svoystva-nositelya-al2o3-al2o3>
- Bittelli, M., Andrenelli, M. C., Simonetti, G., Pellegrini, S., Artiooli, G., Piccoli, I., Morari, F. (2019). Shall we abandon sedimentation methods for particle size analysis in soils? *Soil and Tillage Research*, 185, 36–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.018>
- Fakour, M., Rahbari, A., Moghadasi, H., Rahimipetroudi, I., Domairry-Ganji, D., Varmazyar, M. (2018). Analytical study of unsteady sedimentation analysis of spherical particle in Newtonian fluid media. *Thermal Science*, 22 (2), 847–855. doi: <https://doi.org/10.2298/tsci160602181f>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247160

THE DETERMINATION OF SYNTHESIS CONDITIONS AND COLOR PROPERTIES OF PIGMENTS BASED ON LAYERED DOUBLE HYDROXIDES WITH Co AS A GUEST CATION (p. 32–38)

Vadym Kovalenko

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8012-6732>

Valerii Kotok

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8879-7189>

Nail polish, in particular gel polish, is the most commonly used cosmetic product. A component of the gel polish, which determines the consumer color characteristics of the gel polish. Layered double hydroxides (LDH) are promising pigments. To expand the range of colors and shades of pigments, the use of LDH with colored host and guest cations is promising. The parameters of synthesis and color characteristics of samples of Zn-Co and Cu-Co hydroxide pigments were studied. To obtain LDH with Co as a guest cation in the synthesis, the conversion of cobalt to the trivalent state was carried out at a temperature of 80 °C using oxidation with atmospheric oxygen or sodium hypochlorite. The oxidation efficiency was evaluated by X-ray phase analysis by the presence or absence of cobalt-containing phases. The color characteristics of the synthesized pigment samples were studied by spectroscopic measurement and calculation in RGB, CIELab, and LCH color models.

The low efficiency of cobalt oxidation at the moment of Zn-Co LDH synthesis with atmospheric oxygen at an elevated synthesis temperature of 80 °C was shown, while cobalt was released as a separate Co₃O₄ phase. A higher efficiency of cobalt oxidation at the moment of synthesis using sodium hypochlorite with the formation of Zn-Co LDH was revealed. It is recommended to use the hypochlorite oxidation of Co²⁺ to Co³⁺ in the LDH synthesis with Co in the form

of a guest cation. The formation of a separate phase of zinc oxide was found in both types of oxidation due to the thermal decomposition of zinc hydroxide.

Comparative analysis of color characteristics showed that all samples have a brown color of different saturation. It was revealed that during the formation of Co-containing LDH, the lightness of the color decreases. Color saturation increases in the case of a colored host cation, such as Cu.

Keywords: Zn-Co layered double hydroxide, pigment, Cu-Co layered double hydroxide, oxidation, hypochlorite.

References

- Drahl, C. (2008). Nail Polish. *Chemical & Engineering News Archive*, 86 (32), 42. doi: <https://doi.org/10.1021/cen-v086n032.p042>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A. (2018). Blue-green ceramic pigments in the system CaO–MgO–Al₂O₃–SiO₂–CoO–Cr₂O₃ based on granulated blast-furnace slag. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 6, 120–124. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2018-121-6-120-124>
- Zaichuk, A. V., Belyi, Y. I. (2012). Brown ceramic pigments based on open-hearth slag. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 85 (10), 1531–1535. doi: <https://doi.org/10.1134/s1070427212100072>
- Zaichuk, A. V., Belyi, Y. I. (2012). Black ceramic pigments based on open-hearth slag. *Glass and Ceramics*, 69 (3-4), 99–103. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-012-9423-3>
- Zaychuk, A., Iovleva, J. (2013). The Study of Ceramic Pigments of Spinel Type with the Use of Slag of Aluminothermal Production of Ferrotitanium. *Chemistry & Chemical Technology*, 7 (2), 217–225. doi: <https://doi.org/10.23939/chcht07.02.217>
- Zaichuk, A. V., Belyi, Y. I. (2013). Improvement of the Compositions and Properties of Gray Ceramic Pigments. *Glass and Ceramics*, 70 (5-6), 229–233. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9550-5>
- Zaichuk, A. V., Amelina, A. A. (2017). Production of Uvarovite Ceramic Pigments Using Granulated Blast-Furnace Slag. *Glass and Ceramics*, 74 (3-4), 99–103. doi: <https://doi.org/10.1007/s10717-017-9937-9>
- Khan, A. I., Ragavan, A., Fong, B., Markland, C., O'Brien, M., Dunbar, T. G. et al. (2009). Recent Developments in the Use of Layered Double Hydroxides as Host Materials for the Storage and Triggered Release of Functional Anions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48 (23), 10196–10205. doi: <https://doi.org/10.1021/ie9012612>
- Mandal, S., Tichit, D., Lerner, D. A., Marcotte, N. (2009). Azoic Dye Hosted in Layered Double Hydroxide: Physicochemical Characterization of the Intercalated Materials. *Langmuir*, 25 (18), 10980–10986. doi: <https://doi.org/10.1021/la901201s>
- Mandal, S., Lerner, D. A., Marcotte, N., Tichit, D. (2009). Structural characterization of azoic dye hosted layered double hydroxides. *Zeitschrift Für Kristallographie*, 224 (5-6), 282–286. doi: <https://doi.org/10.1524/zkri.2009.1150>
- Wang, Q., Feng, Y., Feng, J., Li, D. (2011). Enhanced thermal- and photo-stability of acid yellow 17 by incorporation into layered double hydroxides. *Journal of Solid State Chemistry*, 184 (6), 1551–1555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2011.04.020>
- Liu, J. Q., Zhang, X. C., Hou, W. G., Dai, Y. Y., Xiao, H., Yan, S. S. (2009). Synthesis and Characterization of Methyl-Red/Layered Double Hydroxide (LDH) Nanocomposite. *Advanced Materials Research*, 79-82, 493–496. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.79-82.493>
- Tian, Y., Wang, G., Li, F., Evans, D. G. (2007). Synthesis and thermo-optical stability of o-methyl red-intercalated Ni–Fe layered double hydroxide material. *Materials Letters*, 61 (8-9), 1662–1666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.07.094>
- Hwang, S.-H., Jung, S.-C., Yoon, S.-M., Kim, D.-K. (2008). Preparation and characterization of dye-intercalated Zn–Al-layered double hydroxide and its surface modification by silica coating. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 69 (5-6), 1061–1065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2007.11.002>
- Tang, P., Deng, F., Feng, Y., Li, D. (2012). Mordant Yellow 3 Anions Intercalated Layered Double Hydroxides: Preparation, Thermal and Photostability. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51 (32), 10542–10545. doi: <https://doi.org/10.1021/ie300645b>
- Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Fabrication and properties of Acid Yellow 49 dye-intercalated layered double hydroxides film on an alumina-coated aluminum substrate. *Dyes and Pigments*, 91 (2), 120–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.03.012>
- Tang, P., Feng, Y., Li, D. (2011). Improved thermal and photostability of an anthraquinone dye by intercalation in a zinc–aluminum layered double hydroxides host. *Dyes and Pigments*, 90 (3), 253–258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2011.01.007>
- Shamim, M., Dana, K. (2017). Efficient removal of Evans blue dye by Zn–Al–NO₃ layered double hydroxide. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (6), 1275–1284. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1478-9>
- Mahjoubi, F. Z., Khalidi, A., Abdennouri, M., Barka, N. (2017). Zn–Al layered double hydroxides intercalated with carbonate, nitrate, chloride and sulphate ions: Synthesis, characterisation and dye removal properties. *Journal of Taibah University for Science*, 11 (1), 90–100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.10.007>
- Pahalagedara, M. N., Samaraweera, M., Dharmarathna, S., Kuo, C. H., Pahalagedara, L. R., Gascón, J. A., Suib, S. L. (2014). Removal of Azo Dyes: Intercalation into Sonochemically Synthesized NiAl Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (31), 17801–17809. doi: <https://doi.org/10.1021/jp505260a>
- Darmograi, G., Prelot, B., Layrac, G., Tichit, D., Martin-Gassin, G., Salles, F., Zajac, J. (2015). Study of Adsorption and Intercalation of Orange-Type Dyes into Mg–Al Layered Double Hydroxide. *The Journal of Physical Chemistry C*, 119 (41), 23388–23397. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b05510>
- Marangoni, R., Bouhent, M., Taviot-Guého, C., Wypych, F., Leroux, F. (2009). Zn₂Al layered double hydroxides intercalated and adsorbed with anionic blue dyes: A physico-chemical characterization. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333 (1), 120–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.02.001>
- El Hassani, K., Beakou, B. H., Kalnina, D., Oukani, E., Anouar, A. (2017). Effect of morphological properties of layered double hydroxides on adsorption of azo dye Methyl Orange: A comparative study. *Applied Clay Science*, 140, 124–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.010>
- Abdellaoui, K., Pavlovic, I., Bouhent, M., Benhamou, A., Barriga, C. (2017). A comparative study of the amaranth azo dye adsorption/desorption from aqueous solutions by layered double hydroxides. *Applied Clay Science*, 143, 142–150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.019>
- Santos, R. M. M. dos, Gonçalves, R. G. L., Constantino, V. R. L., Santilli, C. V., Borges, P. D., Tronto, J., Pinto, F. G. (2017). Adsorption of Acid Yellow 42 dye on calcined layered double hydroxide: Effect of time, concentration, pH and temperature. *Applied Clay Science*, 140, 132–139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.02.005>
- Bharali, D., Deka, R. C. (2017). Adsorptive removal of congo red from aqueous solution by sonochemically synthesized NiAl layered

- double hydroxide. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2), 2056–2067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.012>
27. Ahmed, M. A., brick, A. A., Mohamed, A. A. (2017). An efficient adsorption of indigo carmine dye from aqueous solution on mesoporous Mg/Fe layered double hydroxide nanoparticles prepared by controlled sol-gel route. *Chemosphere*, 174, 280–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.147>
 28. Rajamathi, M., Vishnu Kamath, P., Seshadri, R. (2000). Polymorphism in nickel hydroxide: role of interstratification. *Journal of Materials Chemistry*, 10 (2), 503–506. doi: <https://doi.org/10.1039/a905651c>
 29. Kovalenko, V., Kotok, V. (2018). Comparative investigation of electrochemically synthesized ($\alpha+\beta$) layered nickel hydroxide with mixture of α -Ni(OH)₂ and β -Ni(OH)₂. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (92)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125886>
 30. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
 31. Solovov, V., Kovalenko, V., Nikolenko, N., Kotok, V., Vlasova, E. (2017). Influence of temperature on the characteristics of Ni(II), Ti(IV) layered double hydroxides synthesised by different methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 16–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90873>
 32. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Anionic carbonate activation of layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (99)), 44–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169461>
 33. Arizaga, G. G. C., Gardolinski, J. E. F. da C., Schreiner, W. H., Wypych, F. (2009). Intercalation of an oxalatoxonioabate complex into layered double hydroxide and layered zinc hydroxide nitrate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 330 (2), 352–358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.10.025>
 34. Andrade, K. N., Pérez, A. M. P., Arizaga, G. G. C. (2019). Passive and active targeting strategies in hybrid layered double hydroxides nanoparticles for tumor bioimaging and therapy. *Applied Clay Science*, 181, 105214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105214>
 35. Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickelaluminium layereddouble hydroxide as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109814>
 36. Cursino, A. C. T., Rives, V., Arizaga, G. G. C., Trujillano, R., Wypych, F. (2015). Rare earth and zinc layered hydroxide salts intercalated with the 2-aminobenzoate anion as organic luminescent sensitizer. *Materials Research Bulletin*, 70, 336–342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.04.055>
 37. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). “Smart” anticorrosion pigment based on layered double hydroxide: construction and characterization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (100)), 23–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176690>
 38. Carbajal Arizaga, G. G., Sánchez Jiménez, C., Parra Saavedra, K. J., Macías Lamas, A. M., Puebla Pérez, A. M. (2016). Folate-intercalated layered double hydroxide as a vehicle for cyclophosphamide, a non-ionic anti-cancer drug. *Micro & Nano Letters*, 11 (7), 360–362. doi: <https://doi.org/10.1049/mnl.2016.0106>
 39. Ghotbi, M. Y., Hussein, M. Z. bin, Yahaya, A. H., Rahman, M. Z. A. (2009). LDH-intercalated d-gluconate: Generation of a new food additive-inorganic nanohybrid compound. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 70 (6), 948–954. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2009.05.007>
 40. Hong, M.-M., Oh, J.-M., Choy, J.-H. (2008). Encapsulation of Flavor Molecules, 4-Hydroxy-3-Methoxy Benzoic Acid, into Layered Inorganic Nanoparticles for Controlled Release of Flavor. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8 (10), 5018–5021. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2008.1385>
 41. Nalawade, P., Aware, B., Kadam, V. J., Hirlekar, R. S. (2009). Layered double hydroxides: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 68, 267–272.
 42. Delhoyo, C. (2007). Layered double hydroxides and human health: An overview. *Applied Clay Science*, 36 (1-3), 103–121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.06.010>
 43. Burmistr, M. V., Boiko, V. S., Lipko, E. O., Gerasimenko, K. O., Gomza, Y. P., Vesnin, R. L. et. al. (2014). Antifriction and Construction Materials Based on Modified Phenol-Formaldehyde Resins Reinforced with Mineral and Synthetic Fibrous Fillers. *Mechanics of Composite Materials*, 50 (2), 213–222. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-014-9408-0>
 44. Kovalenko, V., Kotok, V. (2017). Selective anodic treatment of W(WC)-based superalloy scrap. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 53–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91205>
 45. Hu, M., Lei, L. (2006). Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide, [Ni₄Al(OH)₁₀]NO₃. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 11 (6), 847–852. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-006-0231-y>
 46. Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A., Kondrat'ev, D. A. et. al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (24), 9652–9656. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf
 47. Kotok, V., Kovalenko, V., Vlasov, S. (2018). Investigation of NiAl hydroxide with silver addition as an active substance of alkaline batteries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (93)), 6–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133465>
 48. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Investigation of characteristics of double Ni–Co and ternary Ni–Co–Al layered hydroxides for supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (98)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164792>
 49. Xiao-yan, G., Jian-cheng, D. (2007). Preparation and electrochemical performance of nano-scale nickel hydroxide with different shapes. *Materials Letters*, 61 (3), 621–625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.05.026>
 50. Kovalenko, V., Kotok, V., Sykchin, A., Kovalenko, I., Berzenina, O., Stoliarenko, V. et. al. (2020). Investigation of characteristics of binary Ni–Co oxyhydroxides for supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (103)), 15–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194618>
 51. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et. al. (2020). Al³⁺ Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? *Journal of The Electrochemical Society*, 167 (10), 100530. doi: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
 52. Saikia, H., Ganguli, J. N. (2012). Intercalation of Azo Dyes in Ni-Al Layered Double Hydroxides. *Asian Journal of Chemistry*, 24 (12), 5909–5913. Available at: https://asianjournalofchemistry.co.in/User/ViewFreeArticle.aspx?ArticleID=24_12_134

53. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). A study of multilayered electrochromic platings based on nickel and cobalt hydroxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121679>
54. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Determination of the applicability of ZnAl layered double hydroxide, intercalated by food dye Orange Yellow S, as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (107)), 81–89. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214847>
55. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Tartrazine-intercalated Zn–Al layered double hydroxide as a pigment for gel nail polish: synthesis and characterisation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (105)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205607>
56. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarmine-intercalated NiAl layered double hydroxide: investigation of characteristics for pigment and supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (104)), 30–39. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201282>
57. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (92)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>

DOI 10.15587/1729-4061.2021.245916

COMPARISON OF INFLUENCE OF SURFACTANTS ON THERMOKINETIC CHARACTERISTICS OF ALKALI-ACTIVATED SLAG CEMENT (p. 39–48)

Pavlo Krivenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

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

Igor Rudenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

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

Oleksandr Konstantynovskiy

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

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

Increasing the durability of concrete and reinforced concrete structures according to the criterion of crack resistance is a relevant task of construction materials science. To solve this task, this paper proposes effective solutions for adjusting thermofinite characteristics of alkali-activated slag cement (ASC) by using surfactants of various chemical nature in order to control the thermally-stressed state of concrete based on it (ASC concrete).

The method of calorimetry was applied to show that the problematic issue is to adjust the structure formation of ASC by anion-active surface-active substances based on complex polyesters. This is predetermined by the instability of the molecular structure of surfactants in the hydration environment of ASC due to the destruction of complex ester bonds as a result of alkaline hydrolysis.

Thermokinetic analysis has demonstrated the effectiveness of using anion-active surfactants, which do not contain ester bonds, as regulators of crack resistance of ASC concrete. Simple polyesters and multi-atom alcohols provide the ability to adjust the duration of the induction period while ensuring the required completeness of ASC hydration within a time frame. The effectiveness of cation-active surface-active substances has been shown, which are characterized

by the stability of the molecular structure in the hydration environment of ASC and an increased level of adsorbing capacity.

The decrease in the effectiveness of surface-active substances has been shown, in terms of the effect on the heat release of ASC, in the following series: alkaline salt of carboxylic acid>salt of the quaternary ammonium compound>simple polyester> polyalcohol>complex polyester.

The reported results are important in view of the possibility of effective adjustment of ASC heat release by influencing the structure formation of surfactant with a certain molecular arrangement in order to predictably reduce crack formation in a thermally-stressed state and a corresponding increase in the durability of structures.

Keywords: alkali-activated slag cement, surfactant, crack resistance, heat release of cement slurry, thermally-stressed state.

References

1. Kropyvnytska, T., Semeniv, R., Kotiv, R., Novytskyi, Y. (2021). Effects of Nano-liquids on the Durability of Brick Constructions for External Walls. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 237–244. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_29
2. Gogol, M., Kropyvnytska, T., Galinska, T., Hajiyev, M. (2020). Ways to Improve the Combined Steel Structures of Coatings. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 53–58. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_6
3. Tsapko, Y., Vasylyshyn, R., Melnyk, O., Lomaha, V., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2021). Regularities in the washing out of water-soluble phosphorus-ammonium salts from the fire-protective coatings of timber through a polyurethane shell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 51–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229458>
4. Plugin, A. A., Borziak, O. S., Pluhin, O. A., Kostuk, T. A., Plugin, D. A. (2021). Hydration Products that Provide Water-Repellency for Portland Cement-Based Waterproofing Compositions and Their Identification by Physical and Chemical Methods. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 328–335. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_40
5. Kryvenko, P., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. (2020). Design of slag cement, activated by Na (K) salts of strong acids, for concrete reinforced with steel fittings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (108)), 26–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217002>
6. Graham, P. C., Ballim, Y., Kazirukanyo, J. B. (2011). Effectiveness of the fineness of two South African Portland cements for controlling early-age temperature development in concrete. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 53 (1), 39–45. Available at: <http://www.scielo.org.za/pdf/jsaice/v53n1/v53n1a05.pdf>
7. Utsi, S., Jonasson, J.-E. (2011). Estimation of the risk for early thermal cracking for SCC containing fly ash. *Materials and Structures*, 45 (1-2), 153–169. doi: <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9757-2>
8. 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>
9. Fernandes, F., Manari, S., Aguayo, M., Santos, K., Oey, T., Wei, Z. et al. (2014). On the feasibility of using phase change materials (PCMs) to mitigate thermal cracking in cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 51, 14–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.003>
10. Krivenko, P. (2017). Why Alkaline Activation – 60 Years of the Theory and Practice of Alkali-Activated Materials. *Journal of Ce-*

- ramic Science and Technology, 8 (3), 323–334. doi: <https://doi.org/10.4416/JCST2017-00042>
11. 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>
 12. Zhu, H., Liang, G., Li, H., Wu, Q., Zhang, C., Yin, Z., Hua, S. (2021). Insights to the sulfate resistance and microstructures of alkali-activated metakaolin/slag pastes. Applied Clay Science, 202, 105968. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105968>
 13. 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>
 14. Shanahan, N., Tran, V., Zayed, A. (2016). Heat of hydration prediction for blended cements. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 128 (3), 1279–1291. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-016-6059-5>
 15. Kostyuk, T., Vinnichenko, V., Plugin, A., Borziak, O., Iefimenko, A. (2021). Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1021 (1), 012016. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1021/1/012016>
 16. Jones, S., Hughes, D., Werner, O. R. (2018). Design considerations for raising the Hinze Dam mass concrete spillway. American Concrete Institute, ACI Special Publication, 4.1-4.30.
 17. Khalifah, H. A., Rahman, M. K., Al-Helal, Z., Al-Ghamdi, S. (2016). Stress generation in mass concrete blocks with fly ASH and silica fume – An experimental and numerical study. Sustainable Construction Materials and Technologies. doi: <https://doi.org/10.18552/2016/scmt4s267>
 18. Sanytsky, M., Ushero-Marshak, A., Kropyvnytska, T., Heviuk, I. (2020). Performance of multicomponent portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite, and limestone. Cement, Wapno, Beton, 25 (5), 416–427. doi: <https://doi.org/10.32047/CWB.2020.25.5.7>
 19. 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>
 20. 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 (1), 012090. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012090>
 21. 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 (1), 012055. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/907/1/012055>
 22. Plank, J. (2012). Superplasticizers – chemistry, applications and perspectives. 18th Intern. Baustofftagung. FA. Finger-Institute für Baustoffkunde. Bauhaus Unversitat. Weimar, 1, 91–102.
 23. Safi, B., Benmounah, A., Saidi, M. (2011). Reología y potencial zeta de pastas de cemento con lodos de embalse calcinados y escorias granuladas de horno alto. Materiales de Construcción, 61 (303), 353–370. doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2011.61110>
 24. Mikhailova, O., Rovnanik, P. (2018). Effect of polyethylene glycol on the rheological properties and heat of hydration of alkali activated slag pastes. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 385, 012037. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/385/1/012037>
 25. Bílek, V., Kalina, L., Novotný, R., Tkacz, J., Pařízek, L. (2016). Some Issues of Shrinkage-Reducing Admixtures Application in Alkali-Activated Slag Systems. Materials, 9 (6), 462. doi: <https://doi.org/10.3390/ma9060462>
 26. Bílek, V., Kalina, L., Novotný, R. (2018). Polyethylene glycol molecular weight as an important parameter affecting drying shrinkage and hydration of alkali-activated slag mortars and pastes. Construction and Building Materials, 166, 564–571. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.176>
 27. Yamada, K. (2011). Basics of analytical methods used for the investigation of interaction mechanism between cements and superplasticizers. Cement and Concrete Research, 41 (7), 793–798. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.007>
 28. Rosen, M. J., Kunjappu, J. T. (2012). Surfactants and Interfacial Phenomena. John Wiley & Sons, Inc. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118228920>
 29. Kryvenko, P., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O., Boiko, O. (2021). Restriction of Cl⁻ and SO₄²⁻ Ions Transport in Alkali Activated Slag Cement Concrete in Seawater. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1164 (1), 012066. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1164/1/012066>
 30. Kryvenko, P., Runova, R., Rudenko, I., Skorik, V., Omelchuk, V. (2017). Analysis of plasticizer effectiveness during alkaline cement structure formation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (6 (88)), 35–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.106803>
 31. Tong, S., Yuqi, Z., Qiang, W. (2021). Recent advances in chemical admixtures for improving the workability of alkali-activated slag-based material systems. Construction and Building Materials, 272, 121647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121647>
 32. Krivenko, P., Gots, V. I., Petropavlovskiy, O., Rudenko, I., Konstantynovskiy, O. (2021). Complex Shrinkage-Reducing Additives for Alkali Activated Slag Cement Fine Concrete. Solid State Phenomena, 321, 165–170. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.321.165>
 33. Pushkar, V. I. (2011). Efektyvnist suchasnykh plastyfikativ v shlakoluzhnykh tsementakh ta betonakh. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika, 39, 69–73.
 34. 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>
 35. Chipakwe, V., Semsari, P., Karlkvist, T., Rosenkranz, J., Chelgani, S. C. (2020). A critical review on the mechanisms of chemical additives used in grinding and their effects on the downstream processes. Journal of Materials Research and Technology, 9 (4), 8148–8162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.080>
 36. Gots, V., Lastivka, O., Volunska, E., Tomin, O. (2016). Recycling of auriferous ore flotation tailings in slag-alkaline cement. EU-REKA: Physics and Engineering, 4, 11–16. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2016.000123>
 37. Ushero-Marshak, A. V. (2011). Phenomenological approach to building materials development based on physicochemical analysis. Inorganic Materials, 47 (8), 926–929. doi: <https://doi.org/10.1134/s0020168511080218>
 38. Ushero-Marshak, A., Vaičiukynienė, D., Krivenko, P., Bumanis, G. (2021). Calorimetric Studies of Alkali-Activated Blast-Furnace Slag Cements at Early Hydration Processes in the Temperature Range of

20–80 °C. *Materials*, 14 (19), 5872. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14195872>

39. DSTU B EN 196-9:2015 (EN 196-9:2010, IDT). *Methods of testing cement. Part 9: Heat of hydration - Semi-adiabatic method* (2016). Kyiv. Available at: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63733
40. Usherov-Marshak, A. V., Kabus', A. V. (2013). Calorimetric monitoring of early hardening of cement in the presence of admixtures. *Inorganic Materials*, 49 (4), 430–433. doi: <https://doi.org/10.1134/s0020168513040183>
41. Usherov-Marshak, A. V., Kabus', A. V. (2016). Functional kinetic analysis of the effect of admixtures on cement hardening. *Inorganic Materials*, 52 (4), 435–439. doi: <https://doi.org/10.1134/s0020168516040129>
42. Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Rudenko, I., Lakusta, S. (2017). Control of early age cracking in early-strength concrete based on alkali-activated slag cement. Conference: 2nd International RILEM/COST Conference on Early Age Cracking and Serviceability in Cement-based Materials and Structures (EAC2). Vol. 2. Brussels. Available at: https://www.researchgate.net/publication/320306250_CONTROL_OF_EARLY_AGE_CRACKING_IN_EARLY-STRENGTH_CONCRETE_BASED_ON_ALKALI-ACTIVATED_SLAG_CEMENT
43. Suraneni, P., Palacios, M., Flatt, R. J. (2016). New insights into the hydration of slag in alkaline media using a micro-reactor approach. *Cement and Concrete Research*, 79, 209–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.09.015>
44. Rashad, A. M. (2013). A comprehensive overview about the influence of different additives on the properties of alkali-activated slag – A guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*, 47, 29–55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246379
LUMINESCENCE EFFICIENCY OF CERIUM-DOPED YTTTRIUM ALUMINUM GARNET CERAMICS FORMED BY RADIATION ASSISTED SYNTHESIS (p. 49–57)

Gulnur Alpysova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7164-2188>

Victor Lisitsyn

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2075-4796>

Mikhail Golkovski

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4399-444X>

Dossymkhan Mussakhanov

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1823-2526>

Zhakyp Karipbayev

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4066-1826>

Tatyana Grechkina

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1323-9208>

Dana Karabekova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8776-4414>

Artem Kozlovskiy

Institute of Nuclear Physics, National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8832-7443>

The variety of applications of yttrium-aluminum garnet (YAG)-based luminescent materials and the morphology necessary for these purposes required the development of many technologies for their synthesis. All synthesis technologies used are complex. The structural phase of yttrium-aluminum garnet is formed with any technology, at temperatures exceeding 1,500 °C. The starting materials for the synthesis are metal oxides of aluminum, yttrium and other oxides for activation and modification. It seems possible to use hard radiation to form a new phase. Radiation synthesis of ceramics is realized in less than 1 s, without the use of any additives and influences.

The synthesis was carried out at the electron accelerator of the Institute of Nuclear Physics (Novosibirsk). In this work, we studied the spectral-kinetic and quantitative characteristics of luminescence for the first time obtained by the method of radiation synthesis of ceramic samples of yttrium-aluminum garnet doped with cerium with statistical processing of their values. The dependences of the reproducibility of the spectral characteristics of the luminescence of the samples on the preliminary preparation of the charge for synthesis have been investigated. Several cycles of luminophore brightness studies have been performed.

It is shown that the obtained ceramics based on yttrium-aluminum garnet doped with cerium possesses the required spectral-kinetic properties, and the efficiency of conversion of the chip radiation into luminescence is achieved, which is comparable to that available in commercial phosphors. The maximum measured values of the position of the bands are from 553.5 to 559.6 nm. Brightness values range from 4,720 to 1,960 cd/m².

It was found that the main reason for the scatter in the characteristics of the luminescent properties of ceramics of yttrium-aluminum garnet, activated by cerium obtained by radiation assisted synthesis is the high rate of synthesis and, especially, the high rate of cooling of the samples.

Keywords: white LEDs (light-emitting diode), yttrium-aluminum garnet, phosphors, luminescence, synthesis in the radiation field.

References

- Osipov, V. V., Ishchenko, A. V., Shitov, V. A., Maksimov, R. N., Lukyashin, K. E., Platonov, V. V. et. al. (2017). Fabrication, optical and scintillation properties of transparent YAG:Ce ceramics. *Optical Materials*, 71, 98–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.05.016>
- Kenyon, A. (2002). Recent developments in rare-earth doped materials for optoelectronics. *Progress in Quantum Electronics*, 26 (4-5), 225–284. doi: [https://doi.org/10.1016/s0079-6727\(02\)00014-9](https://doi.org/10.1016/s0079-6727(02)00014-9)
- Sai, Q., Zhao, Z., Xia, C., Xu, X., Wu, F., Di, J., Wang, L. (2013). Ce-doped Al₂O₃-YAG eutectic and its application for white LEDs. *Optical Materials*, 35 (12), 2155–2159. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2013.05.035>
- Sils, J., Hausfeld, S., Clauß, W., Pahl, U., Lindner, R., Reichling, M. (2009). Impurities in synthetic fluorite for deep ultraviolet optical applications. *Journal of Applied Physics*, 106 (6), 063109. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3224879>
- Gorbenko, V., Krasnikov, A., Nikl, M., Zazubovich, S., Zorenko, Y. (2009). Luminescence characteristics of LuAG:Pr and YAG:Pr single crystalline films. *Optical Materials*, 31 (12), 1805–1807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2008.11.030>

6. Pan, Y., Wu, M., Su, Q. (2004). Comparative investigation on synthesis and photoluminescence of YAG:Ce phosphor. *Materials Science and Engineering: B*, 106 (3), 251–256. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2003.09.031>
7. Ye, S., Xiao, F., Pan, Y. X., Ma, Y. Y., Zhang, Q. Y. (2010). Phosphors in phosphor-converted white light-emitting diodes: Recent advances in materials, techniques and properties. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 71(1), 1–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2010.07.001>
8. Lin, C. C., Liu, R.-S. (2011). Advances in Phosphors for Light-emitting Diodes. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2 (11), 1268–1277. doi: <https://doi.org/10.1021/jz2002452>
9. Kareiva, A. (2011). Aqueous Sol-Gel Synthesis Methods for the Preparation of Garnet Crystal Structure Compounds. *Materials Science*, 17 (4). doi: <https://doi.org/10.5755/j01.ms.17.4.782>
10. Yadav, P., Gupta, K. V. K., Muley, A., Joshi, C. P., Moharil, S. V., Predeep, P. et. al. (2011). One Step Combustion Synthesis Of YAG:Ce Phosphor For Solid State Lighting. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3646823>
11. Lee, Y.-W., Wu, S.-H. (2018). Fabrication and performance assessment of coprecipitation-based YAG:Ce nanopowders for white LEDs. *Microelectronic Engineering*, 199, 24–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mee.2018.07.011>
12. Chen, Y.-C., Nien, Y.-T. (2017). Microstructure and photoluminescence properties of laser sintered YAG:Ce phosphor ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 37 (1), 223–227. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2016.07.032>
13. Lisitsyn, V. M., Golkovskii, M. G., Lisitsyna, L. A., Dauletbekova, A. K., Musakhanov, D. A., Vaganov, V. A. et. al. (2019). MgF₂-Based Luminescing Ceramics. *Russian Physics Journal*, 61 (10), 1908–1913. doi: <https://doi.org/10.1007/s11182-019-01617-y>
14. Lisitsyn, V., Lisitsyna, L., Karipbayev, Z., Akilbekov, A., Mussakhanov, D., Dauletbekova, A. et. al. (2018). Kinetics of cathodoluminescence of LiF crystals doped with uranium. *Journal of Physics: Conference Series*, 1115, 052008. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1115/5/052008>
15. Lisitsyn, V., Lisitsyna, L., Dauletbekova, A., Golkovskii, M., Karipbayev, Z., Musakhanov, D. et. al. (2018). Luminescence of the tungsten-activated MgF₂ ceramics synthesized under the electron beam. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 435, 263–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2017.11.012>
16. Lisitsyn, V. M., Golkovsky, M. G., Musakhanov, D. A., Tulegenova, A. T., Abdullin, K. A., Aitzhanov, M. B. (2018). YAG based phosphors, synthesized in a field of radiation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1115, 052007. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1115/5/052007>
17. Karipbayev, Z. T., Lisitsyn, V. M., Mussakhanov, D. A., Alpyssova, G. K., Popov, A. I., Polissadova, E. F. et. al. (2020). Time-resolved luminescence of YAG:Ce and YAGG:Ce ceramics prepared by electron beam assisted synthesis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 479, 222–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.06.046>
18. Mussakhanov, D. A., Tulegenova, A. T., Lisitsyn, V. M., Golkovskii, M. G., Karipbayev, Z. T., Kupchishin, A. I., Stepanov, S. A. (2020). Effect of Annealing on the Luminescence of YAG:Ce and YAGG:Ce Ceramics Synthesized in a Radiation Field. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 84 (7), 799–802. doi: <https://doi.org/10.3103/s1062873820070205>
19. Țucureanu, V., Munteanu, D. (2019). Enhanced optical properties of YAG:Ce yellow phosphor by modification with gold nanoparticles. *Ceramics International*, 45 (6), 7641–7648. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.061>
20. Song, L., Dong, Y., Shao, Q., Jiang, J. (2018). Preparation of Y3Al5O12:Ce nanophosphors using salt microemulsion method and their luminescent properties. *Journal of Materials Science*, 53 (21), 15196–15203. doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2623-7>
21. Bucevac, D., Krstic, V. (2018). The effect of SiC addition on photoluminescence of YAG:Ce phosphor for white LED. *Journal of the European Ceramic Society*, 38 (16), 5519–5524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.08.018>
22. Peng, Y., Mou, Y., Guo, X., Xu, X., Li, H., Chen, M., Luo, X. (2018). Flexible fabrication of a patterned red phosphor layer on a YAG:Ce³⁺ phosphor-in-glass for high-power WLEDs. *Optical Materials Express*, 8 (3), 605. doi: <https://doi.org/10.1364/ome.8.000605>
23. Wang, Z., Zheng, R., Yu, K., Liu, C., Wei, W. (2019). The establishment and YAG:Ce-based WLED application of simulation data generation platform of light sources' color characteristics. *Optics Communications*, 434, 230–238. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2018.10.048>
24. Karipbaeyev, Z., Lisitsyn, V., Alpyssova, G., Grechkina, T., Kukekova, A., Mussakhanov, D., Shenarsheev, V. (2020). The Reproducibility of YAG:Ce Ceramics Formed by Electron Beam Assisted Synthesis. *2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/efre47760.2020.9242139>
25. Chao, A. W., Mess, K. H., Tigner, M., Zimmermann, F. (Eds.) (2013). *Handbook of Accelerator Physics and Engineering*. World Scientific, 848. doi: <https://doi.org/10.1142/8543>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245533
ANALYSIS OF SOIL CHARACTERISTICS ON
EXPANSIVE CLAY STABILIZATION USING SHELL
ASH (p. 58–64)

Agus Tugas Sudjianto

University of Widyagama Malang, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-7004>

Aji Suraji

University of Widyagama Malang, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2636-2603>

Sugeng Hadi Susilo

State Polytechnic of Malang, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-2039>

Expansive clay is one of the problems in construction work. The soil has the characteristics of being easy to expand when exposed to water, causing a decrease in the strength value of the soil. The can be overcome by stabilizing the soil. The soil is formed from weathering and contains the mineral montmorillonite. The soil is very sensitive to moisture content, has a high shrinkage rate, thus interfering in construction work. Therefore, additional materials are needed to overcome the problem, one of which is soil stabilization. The study aimed to stabilize the expansive clay soil. This is done by analyzing the physical and mechanical properties of expansive clay with a shell ash mixture. Expansive clay is taken directly (undisturbed) or disturbed. Undisturbed soil is taken using a tube, so that the soil is not disturbed by outside air, while disturbed soil is taken using a shovel and then put into a sack container. Expansive clay stabiliza-

tion method lies in adding the percentage of shell ash mixture (5 %, 10 %, 15 %, and 20 %). The soil, the initial moisture content (γ_d) of which has been determined, is mixed, then molded into a cylindrical shape. The mold was stored in a desiccator, then watered with 5 % water every day until the soil became saturated. Then, using a Proctor test, chemical tests (soil chemical test, soil mineral test), physical tests (soil moisture, Atterberg limit), and mechanical tests (unconfined compression test, compaction test, swelling test) were carried out. The results showed that the addition of an oyster shell ash stabilizing agent to expansive clay affected the physical and mechanical properties of the soil. The addition of shell ash can reduce soil moisture with various plasticity indexes. While the soil stress value decreased, the swelling of the soil increased significantly above the original soil.

Keywords: expansive clay, shell ash, soil stabilization, swelling 3D, disturbed soil, undisturbed soil.

References

- Afrin, H. (2017). A Review on Different Types Soil Stabilization Techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 3 (2), 19. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijtet.20170302.12>
- Hussain, S. (2017). Effect of Compaction Energy on Engineering Properties of Expansive Soil. *Civil Engineering Journal*, 3 (8), 610. doi: <https://doi.org/10.28991/cej-030988>
- Zumrawi, M. M. E., Babikir, A. A.-A. A. (2017). Laboratory Study of Steel Slag Used in Stabilizing Expansive Soil. *Asian Engineering Review*, 4 (1), 1–6. doi: <https://doi.org/10.20448/journal.508.2017.41.1.6>
- Phanikumar, B. R., Ramanjaneya Raju, E. (2020). Compaction and strength characteristics of an expansive clay stabilised with lime sludge and cement. *Soils and Foundations*, 60 (1), 129–138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.01.007>
- Onyelowe, K. C., Onyia, M. E., Nguyen-Thi, D., Bui Van, D., Onukwugha, E., Baykara, H. et. al. (2021). Swelling Potential of Clayey Soil Modified with Rice Husk Ash Activated by Calcination for Pavement Underlay by Plasticity Index Method (PIM). *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/6688519>
- Akula, P., Naik, S. R., Little, D. N. (2021). Evaluating the Durability of Lime-Stabilized Soil Mixtures using Soil Mineralogy and Computational Geochemistry. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675 (9), 1469–1481. doi: <https://doi.org/10.1177/03611981211007848>
- Prasetyo, Y. E., Zaika, Y., Rachmansyah, A. (2018). Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu dan Kapur Terhadap Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus: Tanah di Bojonegoro). *Rekayasa Sipil*, 12 (2), 118–125. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2018.012.02.7>
- Seco, A., del Castillo, J. M., Espuelas, S., Marcelino-Sadaba, S., Garcia, B. (2021). Stabilization of a Clay Soil Using Cementing Material from Spent Refractories and Ground-Granulated Blast Furnace Slag. *Sustainability*, 13 (6), 3015. doi: <https://doi.org/10.3390/su13063015>
- Sofwan, Nurdin, S. (2020). Bearing Capacity Improvement of Expansive Soil: Stabilization with Cement and Iron Oxide Additive. *MATEC Web of Conferences*, 331, 02005. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202033102005>
- Noorzad, R., Ta'negonbadi, B. (2020). Volume change behavior of stabilized expansive clay with lignosulfonate. *Scientia Iranica*, 27 (4), 1762–1775. doi: <https://doi.org/10.24200/sci.2018.50210.1575>
- Lakshman Teja, S., Shraavan Kumar, S., Needhidasan, S. (2018). A Review and Study on Stabilization of Expansive Soil Using Brick Dust. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119 (17), 1999–2005. Available at: <https://www.acadpubl.eu/hub/2018-119-17/2/166.pdf>
- Firoozi, A. A., Guney Olgun, C., Firoozi, A. A., Baghini, M. S. (2017). Fundamentals of soil stabilization. *International Journal of Geo-Engineering*, 8 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9>
- Kojima, T. (2007). Soil Stabilization with Lime. *Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan*, 14 (329), 255–260. doi: <https://doi.org/10.11451/mukimate2000.14.255>
- Han, S., Wang, B., Gutierrez, M., Shan, Y., Zhang, Y. (2021). Laboratory Study on Improvement of Expansive Soil by Chemically Induced Calcium Carbonate Precipitation. *Materials*, 14 (12), 3372. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123372>
- Blayi, R. A., Sherwani, A. F. H., Ibrahim, H. H., Faraj, R. H., Daraei, A. (2020). Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass powder. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00427>
- Alqaisi, R. O. (2020). Using eggshell powder as a supplementary additive to lime stabilization in expansive soil. *University of Technology Sydney*, 138. Available at: <http://hdl.handle.net/10453/143865>
- Driss, A. A.-E., Harichane, K., Ghrici, M., Gadouri, H. (2021). Assessing the effect of moulding water content on the behaviour of lime-stabilised an expansive soil. *Geomechanics and Geoengineering*, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1080/17486025.2021.1903092>
- Manzanal, D., Orlandi, S., Fernandez, M., Laskowski, C., Barria, J. C., Codevila, M., Piqué, T. (2021). Soil-water retention of highly expansive clay stabilized with a bio-polymer. *MATEC Web of Conferences*, 337, 01006. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133701006>
- Suresh Reddy, T., Prasad, D. S. V. (2017). Stabilization of Soil Using Sugarcane Straw Ash and Polypropylene Fibres. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4 (6), 5–8. Available at: <https://www.neliti.com/id/publications/257450/stabilization-of-soil-using-sugarcane-straw-ash-and-polypropylene-fibres>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247233**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИБІР ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ТВЕРДИХ РАКЕТНИХ ПАЛИВ НА РАННІХ ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ (с. 6–14)****О. С. Косіцина, К. Є. Варлан, М. М. Дронець, О. В. Кулик**

Перевірена можливість теоретичного розрахунку величини питомого імпульсу тяги для енергонасичених композицій з використанням лише двох параметрів – теплоти реакції та кількості молів газоподібних продуктів реакції розкладу. Питомий імпульс тяги є однією з найважливіших енергетичних характеристик ракетного палива. Він демонструє рівень можливості в досягненні величини тяги двигуна та ефективності застосування палива. Експериментальне визначення питомого імпульсу тяги є складним завданням, що потребує виконання спеціальних умов. На стадії синтезу нових перспективних компонентів, порівняльного аналізу енергетичних характеристик, прогнозування величини питомого імпульсу тяги особливо актуальними є розрахункові методи. Більшість подібних методів вперше були розроблені для визначення енергетичних характеристик вибухових речовин. Так як вибухові речовини та ракетні палива в багатьох випадках мають аналогічний енергетичний вміст та подібний хімічний склад, деякі розрахункові методи можуть бути використані і для оцінки питомого імпульсу тяги твердих ракетних палив.

Було розраховано питомий імпульс тяги для 45 композицій на основі екологічно безпечних окисників (динітраміду амонію, нітроформіату гідразину, гексанітрогексаазоізоворцитану) та полімерних зв'язувальних (полібутадієну з кінцевими гідроксильними групами, гліцидилазидного полімеру, полі-3-нітратометил-3-метилоксетану). Встановлено, що одержані розрахункові дані добре співвідносяться з літературними даними. Відхилення одержаних значень питомого імпульсу тяги від літературних становить від 0,4 % до 1,8 %. Результати розрахунків можуть бути використані для попереднього прогнозування енергетичних характеристик енергонасичених композицій, вибору найбільш перспективних компонентів та їх співвідношення.

Ключові слова: енергонасичені композиції, екологічно безпечні окисники, полімерне зв'язувальне, питомий імпульс тяги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246612**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛІВКОВОГО АБСОРБЕРА ДЛЯ СУЛЬФАТУВАННЯ ДВОХКОМПОНЕНТНИХ СУМІШЕЙ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН (с. 15–22)****О. М. Дзевочко, М. О. Подустов, А. І. Дзевочко, В. О. Панасенко**

Процеси, що протікають в плівкових абсорберах при сульфатуванні двохкомпонентних сумішей органічних речовин, є достатньо складними і потребують математичного моделювання. В дослідженні розроблено математичну модель, що дозволяє адекватно описати процес сульфатування газоподібним триоксидом сірки у виробництві поверхнево-активних речовин. На основі моделі стало можливим дослідити даний процес для вищих спиртів фракції С12–С14 та моноетаноламідів вищих жирних кислот кокосової олії.

Наведено дані щодо зіставлення результатів математичного моделювання за розробленою математичною моделлю з відомими експериментальними даними та результатами альтернативного математичного моделювання за різного відношення довжини реакційної труби до її діаметру (l/d). Показано, що похибка зіставлення з експериментальними даними складала: 4,8–9,6 % при $l/d=29$, 1,1–8,7 % при $l/d=70$, 3,9–12,3 % при $l/d=144$. Похибка зіставлення з відомими результатами альтернативного математичного моделювання складала, відповідно, 6,3–7,2 %, 0,1–6,5 %, 0–1,0 %. Ці результати отримані для мольного співвідношення в діапазоні 1,0–1,15 та концентрації SO_3 в потоці 4,0–6,0 %.

Такі результати дозволяють стверджувати, що визначені залежності основних параметрів процесу сульфатування за довжиною абсорбера та в його радіальному напрямі, є адекватними. Тому розроблена математична модель є працездатною за розглянутих діапазонів вхідних змінних. Отже, вона може бути використана при теоретичному дослідженні процесу сульфатування двокомпонентних сумішей органічних речовин газоподібним триоксидом сірки у плівковому абсорбері з низхідним потоком фаз. Отримувані при цьому результати можуть бути використані в практиці, зокрема при виготовленні високоякісних продуктів для косметичної промисловості.

Ключові слова: математична модель, процес сульфатування, плівковий абсорбер, поверхнево-активна речовина, двокомпонентна суміш.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247133**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕДИМЕНТАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ СУСПЕНЗІЙ (с. 23–31)****В. Л. Чумак, М. Р. Максимок, О. І. Косенко, В. М. Руденко, О. А. Спаська**

Вияткові перспективи застосування в науці, техніці та промисловості відкривають високодисперсні порошки (ультрадисперсні алмази, нанокераміка, лікарські порошки) та матеріали на їх основі. Властивості таких матеріалів залежать від розмірів частинок, які можна визначати методом седиментаційного аналізу.

Запропоновано рівняння для обробки даних седиментаційного аналізу, яке не залежить від закону розподілу частинок полідисперсної системи за розмірами, та використано його для опису функцій розподілу частинок радіусами для суспензій глин.

Створено програму мовою Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) для розрахунку фракційного складу суспензій за запропонованим рівнянням, перевірено та підтверджено коректність її роботи на модельній системі.

Експериментальним дослідженням підтверджено, що використання розробленої програми та надбудови «Пошук рішення» для середовища MS Excel надає можливість визначити фракційний склад суспензій.

Доведено, що запропонований метод можна використовувати для аналізу будь-яких полідисперсних систем.

Встановлено, що для суспензій, які розглядаються як такі, що містять 25 фракцій, можна визначити інтегральну криву розподілу мас частинок дисперсної фази за радіусами.

Це дозволяє стверджувати про можливість використання запропонованого рівняння для обробки даних седиментаційного аналізу, яке не залежить від закону розподілу мас частинок полідисперсної системи за розмірами.

Таким чином, є підстави стверджувати про можливість обґрунтованого визначення фракційного складу будь-яких полідисперсних систем.

Можливо отримання певних ефектів від впровадження обробки даних седиментаційного аналізу за запропонованим рівнянням у виробництві, де регламентується фракційний склад дисперсних фаз.

Ключові слова: дисперсна система, фракційний склад, криві розподілу частинок, лінійна апроксимація, седиментація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247160

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ СИНТЕЗА ТА ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЬОРУ ПІГМЕНТІВ НА ОСНОВІ ПОДВІЙНО-ШАРОВИХ ГІДРОКСИДІВ З Co В ЯКОСТІ КАТІОНА-«ГОСТЯ» (с. 32–38)

В. Л. Коваленко, В. А. Коток

Лак для нігтів, зокрема гель-лак, є найбільш використовуваним косметичним засобом. Компонентами гелю-лаку, який визначає споживчі кольорні властивості, є пігменти. Перспективними пігментами є подвійно-шарові гідроксиди (ПШГ). Для розширення інтервалу кольорів та відтінків пігментів перспективним є застосування ПШГ із забарвленими катіонами «господаря» і «гостя». Вивчено параметри синтезу і характеристики кольору зразків Zn-Co і Cu-Co гідроксидних пігментів. З метою одержання ПШГ із Co в якості катіона-«гостя» при синтезі переведення кобальту в тривалентний стан проводилося при температурі 80 °C методами окиснення киснем повітря або гіпохлоритом натрію. Ефективність окислювання оцінювалася методом рентгенофазового аналізу по наявності або відсутності кобальт-вмісних фаз. Характеристики кольору синтезованих зразків пігментів вивчали методом спектроскопічного вимірювання та розрахунку в кольорних моделях RGB, CIE Lab і LCH.

Показано низьку ефективність окиснення кобальту в момент синтезу Zn-Co ПШГ киснем повітря при підвищеній температурі синтезу 80 °C, кобальт виділяється у вигляді окремої фази Co₃O₄. Виявлено більш висока ефективність окиснення кобальту в момент синтезу за допомогою гіпохлорита натрію з формуванням Zn-Co ПШГ. Рекомендовано використовувати гіпохлоритне окиснення Co²⁺ в Co³⁺ при синтезі ПШГ із Co у вигляді катіона-«гостя». Виявлено формування окремої фази оксиду цинку при обох типах окиснення за рахунок термічного розпаду гідроксиду цинку.

Порівняльний аналіз кольорних характеристик показав, що всі зразки мають коричневий колір різної насиченості. Виявлено, що при формуванні Co-вмісних ПШГ світлота кольору знижується. Насиченість кольору так само зростає у випадку забарвленого катіона-«господаря», наприклад Cu.

Ключові слова: Zn-Co подвійно-шаровий гідроксид, пігмент, Cu-Co подвійно-шаровий гідроксид, окиснення, гіпохлорит.

DOI 10.15587/1729-4061.2021.245916

ПОРІВНЯННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ТЕРМОКІНЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛАКОЛУЖНОГО ЦЕМЕНТУ (с. 39–48)

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

Підвищення довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій за критерієм тріщиностійкості є актуальною задачею будівельного матеріалознавства. Для вирішення цієї задачі запропоновано ефективні рішення щодо регулювання термокінетичних характеристик шлаколужного цементу (ШЛЦ) поверхнево-активними речовинами (ПАР) різної хімічної природи для управління термонапруженим станом бетону на його основі (ШЛЦ бетон).

За допомогою методу калориметрії показано, що проблемним є регулювання структуроутворення ШЛЦ аніоноактивними ПАР на основі складних поліефірів. Це обумовлено нестабільністю молекулярної будови ПАР в гідратаційному середовищі ШЛЦ через руйнування складноефірних зв'язків внаслідок лужного гідролізу.

За допомогою термокінетичного аналізу визначено ефективність використання аніоноактивних ПАР, які не містять складноефірних зв'язків, в ролі регуляторів тріщиностійкості ШЛЦ бетону. Прості поліефіри і багатоатомні спирти забезпечують можливість регулювання тривалості індукційного періоду при забезпеченні необхідної повноти гідратації ШЛЦ в контрольні терміни. Показано ефективність катіоноактивних ПАР, які характеризуються стабільністю молекулярної будови в гідратаційному середовищі ШЛЦ і підвищеним рівнем адсорбуючої здатності.

Показано зменшення ефективності ПАР за впливом на тепловиділення ШЛЦ в ряду: лужна сіль карбонової кислоти > сіль четвертинної амонієвої сполуки > простий поліефір > поліспирт > складний поліефір.

Отримані результати є важливими з огляду на можливість ефективного регулювання тепловиділення ШЛЦ шляхом впливу на структуроутворення ПАР певної молекулярної будови для прогнозованого зменшення тріщиноутворення в термонапруженому стані і відповідного підвищення довговічності конструкцій.

Ключові слова: шлаколузкий цемент, поверхнево-активна речовина, тріщиностійкість, тепловиділення цементного тіста, термонапружений стан.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246379

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА ЛЕГИРОВАННОГО ЦЕРИЕМ СИНТЕЗИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ (с. 49–57)

Gulnur Alpysova, Victor Lisitsyn, Michail Golkovski, Dossymkhan Mussakhanov, Zhakyp Karipbayev, Tatyana Grechkina, Dana Karabekova, Artem Kozlovski

Різноманітність застосувань люмінесціюючих матеріалів на основі ітрій-алюмінієвого гранату (ІАГ) та необхідної для даних цілей морфології викликала необхідність розробки безлічі технологій їх синтезу. Всі використовувані технології синтезу складні. Структурна фаза ітрій-алюмінієвого гранату формується за будь-яких технологій, при температурах, що перевищують 1500 °С. Вихідними матеріалами для синтезу є оксиди алюмінію, ітрію та інших металів для активації та модифікації. Можливе використання жорсткого випромінювання для формування нової фази. Радіаційний синтез кераміки здійснюється менш ніж за 1 с, без використання будь-яких добавок і впливів.

Синтез проводився на прискорювачі електронів Інституту ядерної фізики (м. Новосибірськ). Проведено дослідження спектрально-кінетичних та кількісних характеристик люмінесценції вперше отриманих методом радіаційного синтезу зразків кераміки на основі ітрій-алюмінієвого гранату активованого церієм зі статистичною обробкою їх значень. Досліджено залежності відтворюваності спектральних характеристик люмінесценції зразків від попередньої підготовки шихти до синтезу. Виконано кілька циклів досліджень яскравості люмінофорів.

Показано, що отримана кераміка на основі ітрій-алюмінієвого граната, активованого церієм має необхідні спектрально-кінетичні властивості, досягнута ефективність перетворення випромінювання чіпа в люмінесценцію, порівнянна з наявною в промислових люмінофорах. Граничні вимірювані значення положення смуг становлять від 553,5 до 559,6 нм. Значення яскравості знаходяться в межах від 4720 до 1960 кд/м².

Встановлено, що основною причиною розкиду характеристик люмінесцентних властивостей кераміки на основі ітрій-алюмінієвого гранату, активованого церієм, отриманої шляхом радіаційного синтезу є висока швидкість синтезу і, особливо, висока швидкість охолодження зразків.

Ключові слова: білі світлодіоди, ітрій-алюмінієвий гранат, люмінофор, люмінесценція, синтез у полі радіації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245533

ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ПРИ ЗМІЦНЕННІ НАБУХАЮЧИХ ГЛИН З ВИКОРИСТАННЯМ ЧЕРЕПАШКОВОЇ ЗОЛИ (с. 58–64)

Agus Tugan Sudjianto, Aji Suraji, Sugeng Hadi Susilo

Набухаюча глина є однією зі складнощів під час будівельних робіт. Ґрунт легко розширюється під впливом води, що призводить до зниження його міцності. Ця проблема може бути вирішена шляхом зміцнення ґрунту. Ґрунт утворюється в результаті вивітрювання і містить мінерал монтморилоніт. Ґрунт дуже чутливий до вологості, має високий показник усадки, що заважає проведенню будівельних робіт. Тому для вирішення даної проблеми необхідні додаткові матеріали, одними з яких є зміцнювачі ґрунту. Дослідження спрямоване на зміцнення набухаючого глинистого ґрунту. Проведений аналіз фізико-механічних властивостей набухаючої глини з сумішшю черепашкової золи. Набухаюча глина відбирається безпосередньо (без порушення структури) або з порушенням. Непорушений ґрунт відбирається за допомогою трубки для запобігання порушення повітрям, в той час як порушений ґрунт відбирається за допомогою лопати і поміщається в мішковий контейнер. Метод зміцнення набухаючої глини полягає в додаванні відсоткового вмісту суміші черепашкової золи (5 %, 10 %, 15 %, і 20 %). Ґрунт, після визначення початкової вологості (γ_d), перемішують, потім формують в циліндричну форму. Форму зберігали в ексікаторі, потім кожен день поливали 5 % води до насичення ґрунту. Далі методом Проктора були проведені хімічні (хімічний аналіз ґрунту, мінералогічний аналіз ґрунту), фізичні (вологість ґрунту, межа пластичності) і механічні випробування (випробування на необмежений стиск, випробування на ущільнення, випробування на набухання). Результати показали вплив додавання зміцнюючого матеріалу із золи устричних раковин в набухаючу глину на фізико-механічні властивості ґрунту. Додавання черепашкової золи може знизити вологість ґрунту за різних показників пластичності. У той час як величина напруги ґрунту зменшилася, набухання значно збільшилося в порівнянні з вихідним ґрунтом.

Ключові слова: набухаюча глина, черепашкова зола, зміцнення ґрунту, 3D набухання, порушений ґрунт, непорушений ґрунт.