



## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214849

**ANALYSIS OF THE CRYSTALLINE STRUCTURE OF POLYMORPHIC MODIFICATIONS OF COMPOUND Ba<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub>**

pages 4–11

Zavodyannyi Viktor, PhD, Associate Professor, Department of Construction, State Higher Educational Institution «Kherson State Agrarian University», Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8224-8215>, e-mail: [zavodyannyi@gmail.com](mailto:zavodyannyi@gmail.com)

The object of research is the crystal structure of polymorphic modifications of the Ba<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub> compound. This compound has low dielectric losses in the microwave (microwave) range and can be used in microwave technology. The compound crystallizes in the structural type of cryolite with cubic lattice parameters  $a=8.69$  Å. At the same time, Ba<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub> has inherent polymorphism. The paper proposes models of crystal structures for the  $\alpha$ - and  $\beta$ -phases of the compound for the spectra under the numbers 00-049-0899, and 00-049-0903 in the database of powder diffraction patterns PDF-2 for 2004. The compound has a lattice that does not belong to the tetragonal system, as suggested earlier, but to the orthorhombic one. For the  $\alpha$ -phase, a structural model is proposed: orthorhombic system with lattice periods  $a=6.218$  Å;  $b=8.509$  Å;  $c=6.227$  Å. The space group  $P2_12_12_1$  is possible (19). Odds factor  $R=8.54707$  %. For the  $\beta$ -phase: the orthorhombic system. The space group of symmetry  $Fmmm$  (69) with lattice period is possible  $a=8.668$  (7) Å;  $b=8.677$  (8) Å;  $c=8.685$  (7) Å. Odds factor  $R=7.03646$  %. Let's assume that the phase transitions are associated not only with a change in the lattice symmetry (the appearance of the second crystal symmetry elements), but also with structural disordering. The regular systems of points of the  $\alpha$ - and  $\beta$ -phases of the compound are not completely filled, which introduces defects into the crystal lattice. Thus, the structure of the  $\alpha$ -phase of the compound is completely occupied by the positions of the B2, B5, B6, B7, Ta2, Ta3, O3, O10 atoms (it has the correct system of points 4a). The structure of the  $\beta$ -phase has regular systems of points 4a, 4b, 8f, 32p, completely filled with atoms. This leads to distortion of the crystal structure of the test compound. The structure of the  $\beta$ -phase additionally has elements of symmetry of the mirror reflection plane, perpendicular to the  $x, y, z$  axes. They have elements of symmetry: the axis of symmetry of the 2nd order, parallel to the axes  $x, y, z$ . Also, helical symmetry axes

of the 2nd order (inherent in both structures), parallel to the  $x, y, z$  axes, and grazing reflection planes perpendicular to the  $x, y, z$  axes, with  $n$ -slip along the diagonal. The conducted studies of the crystal structure of the compound allow to study in more detail its physical properties, in particular, as a promising dielectric in the microwave range.

**Keywords:** X-ray diffraction analysis, crystal structure, Rietveld method, Ba<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub> compound, polymorphic modifications.

**References**

1. Surendran, K. P. (2004). *Investigation on low loss dielectric ceramic materials for wireless communication thesis submitted to the university of Kerala*. Kerala.
2. Kovba, L. M., Lykova, L. N., Paromova, M. V., Polschikova, Z. Ia. (1977). Polimorfizm tantalata bariia Ba<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub>. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*, XXII (9), 2584–2586.
3. Brixner, L. H. (1958). Preparation and Structure of the Strontium and Barium Tantalates Sr<sub>3</sub>TaO<sub>5.5</sub> and Ba<sub>3</sub>TaO<sub>5.5</sub>. *Journal of the American Chemical Society*, 80 (13), 3214–3215. doi: <http://doi.org/10.1021/ja01546a011>
4. Ohsato, H., Varghese, J., Jantunen, H. (2020). Dielectric Losses of Microwave Ceramics Based on Crystal Structure. *Electromagnetic Materials and Devices*. doi: <http://doi.org/10.5772/intechopen.82483>
5. Vanderah, T. A., Roth, R. S., Siegrist, T., Febo, W., Loezos, J. M., Wong-Ng, W. (2003). Subsolidus phase equilibria and crystal chemistry in the system BaO-TiO<sub>2</sub>-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. *Solid State Sciences*, 5 (1), 149–164. doi: [http://doi.org/10.1016/s1293-2558\(02\)00089-4](http://doi.org/10.1016/s1293-2558(02)00089-4)
6. Ropp, R. C. (2013). Group 5 (V, Nb and Ta) Alkaline Earth Compounds. *Encyclopedia of the Alkaline Earth Compounds*, 701–794. doi: <http://doi.org/10.1016/b978-0-444-59550-8.00009-0>
7. Surendran, K. P., Mohanan, P., Sebastian, M. T. (2004). The effect of glass additives on the microwave dielectric properties of Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> ceramics. *Journal of Solid State Chemistry*, 177 (11), 4031–4046. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jssc.2004.07.018>
8. Labib, A. A. (2013). *Structural, magnetic and electrical studies on some mixed metal perovskite oxides*. The University of Sydney, 186.
9. Animitsa, I., Nieman, A., Titova, S., Kochetova, N., Isaeva, E., Sharafutdinov, A. et. al. (2003). Phase relations during water incorporation in the oxygen and proton conductor Sr<sub>6</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub>. *Solid State Ionics*, 156 (1-2), 95–102. doi: [http://doi.org/10.1016/s0167-2738\(02\)00605-7](http://doi.org/10.1016/s0167-2738(02)00605-7)
10. Goto, T., West, A. R. (1990). *A.C. Impedance and Transport Number Measurements of Ba<sub>6</sub> Ta<sub>2</sub>O<sub>11</sub>*. MRS Proceedings, 210. doi: <http://doi.org/10.1557/proc-210-669>

## TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215074

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE PATTERN ARRANGEMENT OF INJECTION WELLS ON THE GAS RECOVERY FACTOR WHEN INJECTING CARBON DIOXIDE INTO RESERVOIR**

pages 12–17

Kondrat Oleksandr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National

Technical University of Oil and Gas, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4406-3890>, e-mail: [kondrat@nung.edu.ua](mailto:kondrat@nung.edu.ua)

Matkivskiy Serhii, Postgraduate Student, Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, Head of the Hydrocarbon Fields Development Planning Department, Ukrainian Scientific-Research Institute of Natural Gas, Kharkiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4139-1381>, e-mail: [matkivskiy.sergey@ndigas.com.ua](mailto:matkivskiy.sergey@ndigas.com.ua)

The object of research is gas and gas condensate reservoirs, which is being developed under the conditions of the manifestation of the water drive of development and the negative effect of formation water on the process of natural gas production. In order to improve the existing technologies for the development of natural gas fields in the conditions of the manifestation of the water drive of development of productive reservoirs, a study was carried out using the main tools of hydrodynamic modeling Eclipse and Petrel from Schlumberger (USA). On the basis of a three-dimensional digital model of gas condensate reservoirs, the influence of the pattern arrangement of injection wells on the coefficient of natural gas extraction during the injection of carbon dioxide into productive reservoirs on the border of a gas-water contact was investigated. The study was carried out for a different number of injection wells (4, 6, 8, 12, 16 wells), which are evenly spaced along the perimeter of the initial gas-water contact. According to the results of the calculations, it was found that the production of formation water decreases with an increase in the pattern arrangement of the well. In the case of using 4 wells to inject carbon dioxide into a productive reservoir, the cumulative production of formation water at the end of development amounted to 169.71 th.m<sup>3</sup>. With an increase in the number of injection wells to 16, the cumulative production of produced water decreased to 0.066 m<sup>3</sup>. This result is achieved due to a more complete coverage of the perimeter of gas content with carbon dioxide and the creation of an artificial barrier between water and natural gas, which leads to a more effective blocking of the movement of produced water into productive reservoirs. According to the results of statistical processing of the calculated data, the optimal value of the number of injection wells was determined when injecting carbon dioxide into the reservoir. The optimal value of the number of injection wells at the time of the breakthrough of carbon dioxide into the first production well is 7.86 (8) wells. The maximum value of the number of injection wells according to the results of statistical processing is 6.8 (7) wells. The final gas recovery factor for the given optimal injection value is 61.88 %. On the basis of the calculations, the technological efficiency of using as an agent for injecting carbon dioxide at the boundary of the gas-water contact was established in order to prevent selective watering of productive reservoirs and production wells.

**Keywords:** 3D model of the field, gas condensate reservoir, water drive, trapped gas, injection of carbon dioxide.

#### References

- Boiko, V. S., Kondrat, R. M., Yaremichuk, R. S. (1996). *Dovidnyk z naftohazovoi spravy*. Kyiv: Lviv, 620.
- Kondrat, O. R., Kondrat, R. M. (2019). Pidvyshchennia hazovyluchennia z hazovykh rodovyshch pry vodonapirnomu rezhymi shliakhom rehulivannia nadkhodzhenia zakonturnoi plastovoi vody i vydobutku zeshchemlenoho hazu. *Naftohazova haluz Ukrainy*, 4, 21–26.
- Boiko, V. S., Boiko, R. V., Keba, L. M., Seminskyi, O. V. (2006). Obvodnennia hazovykh i naftovykh sverdlolvyn. *Mizhnarodna ekonomichna fundatsiia*. Kyiv, 791.
- Gamal, M., Khairy, M., El-Banbi, A. H., Saad, S. M. (2016). An Approach for Determination of the Economically Optimal Production Controlling Parameters from Water Drive Oil Reservoirs. *SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition*. Dammam. doi: <http://doi.org/10.2118/182842-ms>
- Matkivskiy, S. V., Kovalchuk, S. O., Burachok, O. V., Kondrat, O. R., Khaidarova, L. I. (2020). Doslidzhennia vplyvu neznachnogo proiavu vodonapirnoi systemy na dostovirnist materialnogo balansu kolektoriv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 2 (75), 43–51. doi: [http://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-2\(75\)-43-51](http://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-2(75)-43-51)
- Ter-Sarkisov, P. M. (1999). *Razrabotka mestorozhdenii prirodnykh gazov*. Moscow: Nedra, 659.
- Kondrat, R. M. (2005). Active Influence on the Development of Natural Gas Fields with Water Drive Regime with the Aim of Increasing Gas Condensate Extraction. *Nauka ta Innovacii*, 1 (5), 12–23. doi: <http://doi.org/10.15407/scin1.05.012>
- Geffen, T. M., Parrish, D. R., Haynes, G. W., Morse, R. A. (1952). Efficiency of Gas Displacement From Porous Media by Liquid Flooding. *Journal of Petroleum Technology*, 4 (2), 29–38. doi: <http://doi.org/10.2118/952029-g>
- Chierici, G. L., Ciocci, G. M., Iong, G. (1963). Experimental Research on Gas Saturation Behind the Water Front in Gas Reservoirs Subjected to Water Drive. *Proc. Sixth World Pet. Cong. Sec IV Paper 17-PD6*. Frankfurt, 483–498.
- Mirzadzhanzade, A. Kh., Durmishian, A. G., Kovalev, A. G. (1967). *Razrabotka gazokondensatnykh mestorozhdenii*. Moscow: Nedra, 356.
- Zakirov, S. N., Korotaev, Iu. P., Kondrat, R. M. et. al. (1976). *Teoriia vodonapornogo rezhima gazovykh mestorozhdenii*. Moscow: Nedra, 240.
- Sim, S. S. K., Brunelle, P., Turta, A. T., Singhal, A. K. (2008). Enhanced Gas Recovery and CO<sub>2</sub> Sequestration by Injection of Exhaust Gases From Combustion of Bitumen. *SPE Symposium on Improved Oil Recovery*. Tulsa. doi: <http://doi.org/10.2118/113468-ms>
- Podiuk, V. G., Ter-Sarkisov, R. M., Nikolaev, V. A. et. al. (2000). Vytesnenie zaschemlennogo gaza azotom iz obvodnivshegosia plasta. *Gazovaia promyshlennost*, 12, 33–34.
- Al-Hashami, A., Ren, S. R., Tohidi, B. (2005). CO<sub>2</sub> Injection for Enhanced Gas Recovery and Geo-Storage Reservoir Simulation and Economics. *SPE Europec/EAGE Annual Conference*. Madrid, 1–7. doi: <http://doi.org/10.2118/94129-ms>
- Clancy, J. P., Gilchrist, R. E. (1983). Nitrogen injection Applications Emerge in the Rockies. *SPE Rocky Mountain Regional Meeting*. Salt Lake City. doi: <http://doi.org/10.2118/11848-ms>
- Ogolo, N. A., Isebor, J. O., Onyekonwu, M. O. (2014). Feasibility Study of Improved Gas Recovery by Water Influx Control in Water Drive Gas Reservoirs. *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. Lagos. doi: <http://doi.org/10.2118/172364-ms>
- Matkivskiy, S. V., Kondrat, O. R. (2020). Vplyv tryvalosti periodu nahnitannia dioksydu vuhletsiu na hazovyluchennia v umovakh proiavu vodonapirnoho rezhymu. *Study of modern problems of civilization*. Oslo, 135–139.
- Cruz Lopez, J. A. (2000). Gas Injection As A Method For Improved Recovery In Gas-Condensate Reservoirs With Active Support. *SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico*. Villahermosa. doi: <http://doi.org/10.2118/58981-ms>
- Whitson, C. H., Brule, M. R. (2000). *Phase Behavior*. Richardson, 240.
- Burachok, O. V., Pershyn, D. V., Matkivskiy, S. V., Bikman, Ye. S., Kondrat, O. R. (2020). Osoblyvosti vidtvorennia rivniannia stanu hazokondensatnykh sumishei za umovy obmezhenoi vkhidnoi informatsii. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*, 1 (74), 82–88. doi: [http://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1\(74\)-82-88](http://doi.org/10.31471/1993-9973-2020-1(74)-82-88)

# REPORTS ON RESEARCH PROJECTS

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214172

## DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR DIAGNOSING BEARING ASSEMBLIES WITH POLYMER PARTS DURING OPERATION

pages 18–20

**Aulin Viktor**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Maintenance and Repair of Machines, State Higher Educational Institution «Central Ukrainian National Technical University», Kropyvnytskyi, Ukraine, e-mail: AulinVV@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2737-120X>

**Derkach Oleksii**, PhD, Associate Professor, Department of Exploitation Agricultural of Machine, Dnipro State Agricultural and Economic University, Ukraine, e-mail: addsau@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5537-8022>

**Makarenko Dmytro**, PhD, Associate Professor, Department of Exploitation Agricultural of Machine, Dnipro State Agricultural and Economic University, Ukraine, e-mail: flymakd@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3166-6249>

**Hrynkiv Andrii**, PhD, Senior Researcher, Department of Maintenance and Repair of Machines, State Higher Educational Institution «Central Ukrainian National Technical University», Kropyvnytskyi, Ukraine, e-mail: AVGrinkiv@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4478-1940>

**Krutous Dmytro**, Postgraduate Student, Department of Exploitation Agricultural of Machine, Dnipro State Agricultural and Economic University, Ukraine, e-mail: krutous.di@dsau.dp.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0614-3179>

**Muranov Evgeniy**, Junior Researcher, Department of Maintenance and Repair of Machines, State Higher Educational Institution «Central Ukrainian National Technical University», Kropyvnytskyi, Ukraine, e-mail: muranov.zhenya@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9148-217X>

The object of research is the process of monitoring the limiting wear of polymer-composite bushings of the bearing unit of the parallelogram mechanism of seeding machines. This process is clearly manifested in determining the good condition of the moving joints of machines operating in severe operating conditions. The studies performed are based on the principle of breaking the active link. The diagnostics is based on this principle, which makes it possible to assert with sufficient accuracy about the failure of the control link of the mates of parts. The main hypothesis of the study is that by developing a diagnostic system based on the control of composite bushings, it is possible to determine the boundaries of the normal functioning of the sowing sections as a whole. The solution of this issue without intervention in the design of the sowing section itself is impossible. Since the material of the sleeve is a polymer composite, which has sufficient resistance not to pass an electric current, condi-

tions are created for the implementation of the proposed diagnostic system. In this work, a regression model is built to control and identify changes in the lateral backlash from the operating time of the seeding complex. By analyzing the data obtained, it is possible to establish the relationship between the diagnostic parameter, namely, the fixation of the rupture of the active link passing near the working surface of the composite sleeve. The main limitations in the development of this diagnostic system are the boundaries of the control gaps in the mates, as well as the presence of dielectric materials for the control parts. In the case of a significant occurrence of an active rupture link or an incorrect selection of its required diameter, then this diagnostic method may work inappropriately and the diagnostic system becomes ineffective. The work reflects the timeliness and rationality of the developed diagnostic system. On the basis of such a diagnostic system, it is possible to create an automated diagnostic complex for monitoring the state of the parallelogram mechanisms of the seeding complex as a whole.

**Keywords:** limiting clearance, bearing unit, side backlash, parallelogram mechanism, polymer sleeve, sowing section.

### References

- Novikov, A. N., Eremin, S. V., Shevtsova, A. G. (2020). New Way To Determine The Technical Condition Of Ball Joints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 786 (1), 012079. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/786/1/012079>
- Gasparov, E. S., Gasparova, L. B. (2019). Mathematical Model of Spindle Unit Bearing Assembly. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019)*, 725–731. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9\\_78](http://doi.org/10.1007/978-3-030-22041-9_78)
- Hrynkiv, A. (2019). Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (47)), 25–30. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.177316>
- Pastukhov, A., Timashov, E., Kravchenko, I., Parnikova, T. (2020). Adaptivity of thermal diagnostics method of mechanical transmission assemblies. *19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings*, 19, 107–113. doi: <http://doi.org/10.22616/erdev.2020.19.tf024>
- Chen, G., Qu, M. (2019). Modeling and analysis of fit clearance between rolling bearing outer ring and housing. *Journal of Sound and Vibration*, 438, 419–440. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.11.004>
- Sergeev, K. O. (2019). The results of bearings diagnostics of ship electric motors and generators. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 560, 012168. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/560/1/012168>
- Gerike, B. L., Mokrushev, A. A. (2017). Diagnostics of the Technical State of Bearings of Mining Machines Base Assemblies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 253, 012012. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/253/1/012012>
- Aulin, V., Hrinkiv, A., Dykha, A., Chernovol, M., Lyashuk, O., Lysenko, S. (2018). Substantiation of diagnostic parameters for determining the technical condition of transmission assemblies in trucks. *Eastern-European Journal of Enterprise Tech-*

nologies, 2 (1 (92)), 4–13. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125349>

9. Zheng, J. J., Peng, Y. H. (2013). Test Analysis and Optimal Design of Fatigue Life for FF Mechanical Transmission. *Advanced Materials Research*, 718-720, 1468–1471. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.718-720.1468>
10. Voronkin, V. A., Evlanov, V. V., Gorbunov, A. G. (1993). Operational failures of bearing assemblies in electric motors. *Russian Engineering Research*, 13 (5), 42–45. Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027505806&partnerID=40&md5=e310d87adee736dcfc06c2d7f69b5dc5>

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215007

## DEVELOPMENT AND RESEARCH THE ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR GAS ENGINES CONVERTED ON THE BASIS OF DIESELS

pages 21–23

**Kovalov Serhii**, PhD, Senior Researcher, Research Laboratory for Fuels Use and the Ecology, State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: [skovalev@insat.org.ua](mailto:skovalev@insat.org.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3107-530X>

**Parsadanov Igor**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Internal Combustion Engines, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: [parsadanov@kpi.kharkov.ua](mailto:parsadanov@kpi.kharkov.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0587-4033>

**Plis Serhii**, Radio engineer, Private Individual Entrepreneur Plis Serhii Vasiliovich, Kremenchug, Ukraine, e-mail: [ultrasat@gmail.com](mailto:ultrasat@gmail.com)

The object of research is an electronic microprocessor control system for gas internal combustion engines with spark ignition for operation on liquefied petroleum gas. The system consists of two main subsystems, the accumulative power supply common rail LPG injection subsystem and the contactless electronic ignition subsystem with a movable voltage distributor. In addition, the control system also includes a subsystem for controlling the filling of the cylinders with the charge of the working mixture, consisting of a throttle valve and an idle speed regulator with a conical damper. The control system, depending on the software version, is capable of providing group or sequential injection of liquefied petroleum gas into the inlet pipe of each cylinder in the area close to the inlet valve. Such a control system can be used when converting (re-equipping) both new diesel engines into spark-ignition gas engines, and those that are in operation. The feasibility of such a conversion is to reduce operating costs with powerful vehicles for diesel fuel, by replacing it with cheaper and environmentally friendly liquefied petroleum gas.

To test the efficiency of the control system, a D-240-LPG-«B» model gas engine was developed and manufactured to operate on liquefied petroleum gas. The gas engine was converted on the basis of the D-240 transport diesel engine (atmospheric, four-stroke, liquid-cooled, 4-cylinder engine with a piston diameter of 110 mm and a stroke of 125 mm). Reducing the compression ratio of the diesel engine was achieved by modifying a semi-closed diesel combustion chamber of the TsNIDI type into an open

combustion chamber in the form of an axisymmetric «truncated cone». For efficient control of three subsystems of the D-240-LPG-«B» model gas engine, an electronic microprocessor control unit of the Avenir Gaz 37 «B» model was developed and manufactured. The tests carried out on the D-240-LPG-«B» gas engine with the Avenir Gaz 37 «B» control unit showed the efficiency of using the electronic microprocessor control system.

**Keywords:** gas engine, gas engine control system, electronic control unit, liquefied petroleum gas.

### References

1. Genkin, K. I. (1977). *Gazovye dvigateli*. Moscow: Mashinostroenie, 196.
2. Vansheidta, V. A., Ivanchenko, N. N., Kollerova, L. K. (Eds.) (1977). *Dizeli*. Leningrad: Mashinostroenie, 480.
3. Zakharchuk, V. I. (2011). *Osnovy teorii ta konstruktсии avtomobilnykh dvyhuniv*. Lutsk: LNTU, 233.
4. Luksho, V. A., Kozlov, A. V., Terenchenko, A. S., Ter-Mkrtichian, J. G., Karpukhinn, K. E. (2015). Technical and Economic Analysis of Vehicles Pollutant Emissions Reduction Technologies. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12 (2), 1867–1872. doi: <http://doi.org/10.13005/bbra/1852>
5. Mo, H., Huang, Y., Mao, X., Zhuo, B. (2016). Investigations on the Potential of Miller Cycle for Performance Improvement of Gas. *Engine Global Journal of Researches in Engineering*, 16 (1), 37–46.
6. Abramchuk, F. I., Manoilo, V. M., Dziubenko, A. A. (2011). Eksperimentalnaia ustanovka dlia issledovaniia gazovogo dvigatelia 6GCHN 13/14 s nadduvom i prinuditelnyim vosplameneniem. *Avtomobilnii transport*, 29, 43–51.
7. Manoylo V. M. (2018). Research performance engine car motor 6HCHN 13/14 supercharged and distributed gas supply. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*, 9 (2), 143–147.
8. Abramchuk, F. I., Voronkov, A. I., Otchenashko, S. I. (2008). Analiz kamer sgoraniia, ispolzuemykh v sovremennykh vysokoborotnykh avtomobilnykh dizelnykh dvigateliakh. *Avtomobilnii transport*, 22, 117–122.
9. Kovalov, S. (2020). Designing the shape of the combustion chambers for gas engines converted on the basis of the diesel engines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (104)), 23–31. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198700>
10. *World LPG Association*. About LPG. Available at: <https://www.wlpga.org/about-lpg/applications>
11. *Regulation No. 67 LPG vehicles*. Available at: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R067r3e.pdf>
12. *Kolisni transportni zasoby. Vymohy bezpeky do konstruktсии ta tekhnichnoho stanu kolisnykh transportnykh zasobiv, dvyhuny yakykh pratsiuiut na hazovomu motornomu palyvi, ta metody kontroliu: DSTU 7434:2013* (2014). Kyiv: Minekonomrozyvtyku Ukrainy, 28.
13. Kovalov, S. O., Plys, S. V. (2020). Pat. No. 144229 UA. *Systema upravlinnia robotoiu dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia iz elektronnyim blokom upravlinnia, dlia zabezpechennia hrupovoho vporokuvannia hazovoho palyva*. No. u 2020 03041. declared: 21.05.2020; published: 10.09.2020. Bul. No. 17.
14. Kovalov, S. O. (2020). Pat. No. 144091 UA. *Systema upravlinnia robotoiu dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia iz elektronnyim blokom upravlinnia, dlia zabezpechennia poslidovnoho vporokuvannia hazovoho palyva*. No. u 2020 03826 declared: 25.06.2020; published: 25.08.2020. Bul. No. 16.
15. *Tsiny na benzyn, DT, haz na zapravkakh Ukrainy*. Vse AZS. Available at: <http://vseazs.com>

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213475

**ANALYSIS OF FREE OSCILLATIONS OF A NON-HOMOGENEOUS PIPE ALONG THICKNESS AND LENGTH, TAKING INTO ACCOUNT THE RESISTANCE OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT**

pages 24–27

*Mirzayeva Gulnar*, PhD, Senior Researcher, Department of Theory of Elasticity and Plasticity, Institute of Mathematics and Mechanics National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan, e-mail: [gulnar.mirzayeva@gmail.com](mailto:gulnar.mirzayeva@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0362-3492>

*Rzayeva Vusala*, Department of Wave Dynamics, Institute of Mathematics and Mechanics National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan, e-mail: [rzayevavusale01@gmail.com](mailto:rzayevavusale01@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8669-1612>

Structural elements made of heterogeneous natural and artificial materials are widely used in the construction of modern building complexes and in many other areas. Among them is the use of boards and shells of different configurations. Currently, one of the most important requirements for designers and accountants is to properly assess the mechanical properties of the material of the structural element and the impact of the environment in contact during operation. Taking these into account, the mathematical solution of the problem becomes difficult, and if not, serious mistakes can be made. One of the most problematic places is considering the resistance of the external environment.

The objects of research are modern pipes exposed to the external environment.

Pasternak model, which is one of the mathematical models that accurately reflects the elastic real properties of the environment, Winkler model, which is characterized by two constants, the model of Karnet model and the model of Rjanitsin model are analysed.

In the course of the research, the method of separation of variables and then Bubnov-Galerkin method is used, which explain relationship between the dimensionless value of frequency, the parameters that characterize the non-homogeneous of the base, and the pipe. The selection of special frequencies is carried out by selecting the corresponding special equation and boundary conditions. There are non-linear algebraic equations and their solution using computer technology. It is shown that when the mechanical properties of the pipe vary in length, the above solution method does not work and the determination of the characteristic parameters must be performed using other approximate analytical methods. In engineering practice, it is usually sufficient to find the basic tone of the frequency. As a result of the research it is shown that the external environment effects are important for non-homogeneous pipe and should be considered in the design of the structure-ground interaction. In the future, the proposed approach and should be considered in the design of the structure non-homogenous pipe interaction.

**Keywords:** non-homogeneous pipe, environment with complex properties, Winkler model, Pasternak model, Karnet model.

**References**

1. Kolchin, A. S., Favarion, E. A. (1977). *Teoriia uprugosti neodnorodnykh tel*. Kishinev, 146.
2. Kerr, A. D. (1964). Elastic and Viscoelastic Foundation Models. *Journal of Applied Mechanics*, 31 (3), 491–498. doi: <http://doi.org/10.1115/1.3629667>
3. Pasternak, P. L. (1954). *O novom metode rascheta uprugogo osnovaniia s pomoschiu dvukh fundamentnykh postoiannykh*. Moscow: Gosudarstvennoe izdatelstvo literatury po stroitelstvu i arkhitekture, 1, 1–56.
4. Garnet, H., Levy, A. (1969). Free Vibrations of Reinforced Elastic Shells. *Journal of Applied Mechanics*, 36 (4), 835–844. doi: <http://doi.org/10.1115/1.3564779>
5. Timoshenko, S. P. (1967). *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow: Nauka, 444.
6. Hacıyev, V. C., Mirzeyeva, G. R., Shiriyev, A. I. (2018). Effect of Winkler foundation, inhomogeneity and orthotropy on the frequency of plates. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 1 (1), 1–5. doi: <http://doi.org/10.31462/jseam.2018.01001005>
7. Hacıyev, V. C., Sofiyev, A. H., Mirzeyev, R. D. (1996). Free vibration of non-homogeneous elastic rectangular plates. *Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics*, 4, 103–108.
8. Antoranz, A., Gonzalo, A., Flores, O., Garcia-Villalba, M. (2015). Numerical simulation of heat transfer in a pipe with non-homogeneous thermal boundary conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 55, 45–51. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.05.007>
9. Hacıyev, V. C., Mirzoeva, G. R., Agayarov, M. G. (2019). Free vibrations of anisotropic rectangular plate laying on a heterogeneous viscoelastic basis. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 15 (6), 470–476. doi: <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-6-470-476>
10. Fares, M. E., Zenkour, A. M. (1999). Buckling and free vibration of non-homogeneous composite cross-ply laminated plates with various plate theories. *Composite Structures*, 44 (4), 279–287. doi: [http://doi.org/10.1016/s0263-8223\(98\)00135-4](http://doi.org/10.1016/s0263-8223(98)00135-4)

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214771

**RESEARCH OF WATERPROOFING SCREENS OF INCREASED EFFICIENCY FOR PRESERVATION OF OBJECTS OF CULTURAL HERITAGE**

pages 28–32

*Dmytriieva Nina*, PhD, Associate Professor, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4828-1644>, e-mail: [dmitrieva.nv76@gmail.com](mailto:dmitrieva.nv76@gmail.com)

*Trofimova Larisa*, PhD, Associate Professor, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8488-8179>, e-mail: [lara.reverberator119@gmail.com](mailto:lara.reverberator119@gmail.com)

*Kyryliuk Stanislav*, PhD, Associate Professor, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8871-8302>, e-mail: [kirilstani@ukr.net](mailto:kirilstani@ukr.net)

The object of research is the technology of constructing waterproofing screens of buildings and structures from limestone-shell rock. The paper discusses the causes of the

violation of the waterproofing of the underground parts of buildings which are made of limestone-shell rock. The problems of preservation of historical buildings and structures made of limestone-shell rock are revealed on the example of such buildings in Ukraine and Moldova:

- Odessa Opera and Ballet Theatre;
- House of Stratz;
- Brodsk Synagogue;
- House of Marazli;
- Bilhorod-Dnistrovsk and Bendery Fortresses;
- Tower of Winds;
- Church of St. Cajetan;
- Powder Cellar of the Tiraspol Fortress;
- Water Mill;
- Church of the Archangel Michael in the village Stroenets and many others.

Based on the methods of the mathematical theory of the experiment, a complex of experimental-statistical models has been constructed, the analysis of which allowed to estimate the intensity of capillary absorption of the «waterproofing screen – limestone-shell rock» system depending on the depth of injection, the diameter of the injector and the step of its location. An arrangement of injection holes was proposed and justified to ensure waterproofing of structures, which allows filling the capillary-porous masonry space for 6–12 % more than other schemes. The accepted physical model of the distribution of the injectable composition in the porous structure of limestone-shell rock allowed to analyze the depth, diameter, and injection step, which affect the distribution area of the solution in the structural array. The depth of injection is indeed one of the most important technological characteristics in the construction of an intra-structural waterproofing screen. From a technological point of view, the degree of influence of the injection step on the intensity of capillary moisture transfer is quite high, since it directly affects the amount of active waterproofing composition in the injected thickness, as well as labor costs when performing waterproofing works. The diameter of the borehole does not significantly affect the studied parameter within the selected experimental conditions.

**Keywords:** limestone-shell rock, injection waterproofing, waterproofing screen, capillary absorption, mathematical modeling of injection.

#### References

1. Scherbina, S. N., Bronik, O. N., Sternik, T. N., Danchenko, G. A., Ivanova, M. V. (2008). Vlianie kapillarnogo vsasyvaniia vlagi i ee ispareniiia na vlagosoderzhanie sten zdanii. *Visnik ODABA*, 32.
2. Zarubina, L. P. (2011). *Gidroizoliatsiia konstruktsii, zdanii i sooruzhenii*. Saint Petersburg: BKHV-Peterburg, 272.
3. Poliakov, S. V., Izmailov, Iu. V., Konovodchenko, V. I., Orudzhev, F. M., Poliakov, N. D. (1973). *Kamennaia kladka iz pilnykh izvestniakov*. Kishinev, 344.
4. Alber, M., Heiland, J. (2001). Investigation of a Limestone Pillar Failure Part 1: Geology, Laboratory Testing and Numerical Modeling. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 34 (3), 167–186. doi: <http://doi.org/10.1007/s006030170007>
5. Morad, D., Hatzor, Y. H., Sagy, A. (2019). Rate Effects on Shear Deformation of Rough Limestone Discontinuities. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52 (6), 1613–1622. doi: <http://doi.org/10.1007/s00603-018-1693-9>
6. Selvadurai, A. P. S., Głowacki, A. (2017). Stress-Induced Permeability Alterations in an Argillaceous Limestone. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 50 (5), 1079–1096. doi: <http://doi.org/10.1007/s00603-016-1153-3>
7. Dmitrieva, N. V., Gostrik, A. O. (2016). Analiz innovatsionnykh metodov vosstanovleniia gidroizoliatsii konstruktsii iz izvestniaka-rakushechnika. *Visnik ODABA*, 61, 102–107
8. Chan, R. C. (2011). *Old Buildings, New Ideas: Historic Preservation and Creative Industry Development as Complementary Urban, Revitalization Strategies*. Philadelphia, 175.
9. Voznesenskii, V. A., Liashenko, T. V., Ivanov, Ia. P., Nikolov, I. I. (1989). *EVM i optimizatsiia kompozitsionnykh materialov*. Kyiv: Budivelnik, 240.
10. Voznesensky, V., Lyashenko, T. (1998). *Experimental-statistical modelling in computational materials science*. Odessa: Astroprint, 32.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215048

### SELECTION OF EFFECTIVE MATERIAL FOR ROAD CONSTRUCTION

pages 33–36

*Halushko Valentyna*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, e-mail: [dtm.gva@gmail.com](mailto:dtm.gva@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5744-0486>

*Halushko Alexander*, PhD, Associate Professor, Member of the Board, Ukrainian Association of Innovative Technologies, Zaporizhia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7688-3933>

*Uvarov Denis*, Postgraduate Student, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, e-mail: [t380976351616@gmail.com](mailto:t380976351616@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3591-342X>

*Uvarova Anastasiia*, Department of Construction Production Technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine, e-mail: [nastya.pidoyma@gmail.com](mailto:nastya.pidoyma@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1416-7181>

The object of research is the technology of road surface construction using alternative materials and the possibility of introducing automated systems to increase productivity. The main hypothesis of the study lies in the found alternative material, with the help of which it is possible to reduce the cost of road construction and increase the quality and service life. To reduce the cost of roads, it is necessary to create new construction technologies using innovative or alternative materials, use the latest mechanisms and introduce automated and robotic systems. This can be achieved if to carefully study the technology of the construction process device. One of the materials of the road surface is crushed stone, gravel and sand. Let's consider as one of the alternative options for mining waste – crushed slag. When determining the main physical and mechanical properties of crushed slag, the standard method for testing crushed stone in stationary laboratory conditions was used. In the course of the study, the methods of system analysis and generalization were used, as well as the method of material testing. The authors of the work analyzed the technological processes of road construction and proposed a material based on the test results – crushed slag from a ferroalloy plant. During the tests, it was confirmed that

the material is an alternative quarry crushed stone. Ferroalloy crushed stone has the same field of application, strength, density, frost resistance, but the cost is an order of magnitude less than a ton, creates an economic effect of 31.93 USD per ton. This makes it possible to reduce the cost of the road surface and ensures the quality that meets the regulatory requirements, and the production of modern technologies will reduce the time standard at some construction sites.

When testing crushed slag, the results obtained confirm that this material meets all the requirements and may well replace granite crushed stone in the construction of roads for various purposes. Such material can be used not only in Ukraine, but also in countries with similar requirements for the composition of the roadway.

**Keywords:** history of road construction, road surface, quality of highways, modern technologies, crushed slag.

**References**

1. Halushko, V. O., Halushko, O. M., Uvarov, D. Yu., Uvarova, A. S. (2009). Suchasni dorohy maibutnoho. *Suchasnyi rukh nauky*. Dnipro, 1, 366–372. Available at: <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2019/10/TOM-1-Zbirnik-8-mizhnarodna-nauk-prakt-internet-konferentsiya-1.pdf>
2. Pospelov, P. I.; Osipov, Iu. S., Kravets, S. L. (Eds.) (2007). *Dorogi. Bolshaia Rossiiskaia entsiklopediia. Vol. 9*. Moscow: Bolshaia rossiiskaia entsiklopediia, 767.
3. Thiollier-Alexandrowicz, G. (2000). *Itinéraires romains en France*. Faton, 431.
4. Werner, H. (2003). *Reisewege der Antike. Unterwegs im Römischen Reich*. Stuttgart: Konrad Theiss, 128.
5. Klee, M. (2010). *Lebensadern des Imperiums. Strassen im Römischen Reich*. Stuttgart: Konrad Theiss, 160.
6. Laurence, R. (2002). *The roads of Roman Italy: mobility and cultural change*. Routledge, 240.
7. *Reiting stran po kachestvu dorog*. Available at: <https://autostrada.info/ua/> Last accessed: 22.04.2020
8. Iakunina, L. V., Kozhukhova, E. S. (2016). Problemy dorozhnogo stroitelstva i puti ikh resheniia. *Molodoi uchenii*, 6.3, 48–51. Available at: <https://moluch.ru/archive/110/27178/> Last accessed: 31.03.2019
9. Romanenko, I. I., Romanenko, M. I., Petrovnina, I. N. (2015). Novye materialy v dorozhnom stroitelstve. *Molodoi uchenii*, 7, 198–200. Available at: <https://moluch.ru/archive/87/16615/> Last accessed: 31.03.2019
10. *DERZhSTANDART 7392-2014 «Shchebin iz shchilnykh hirsykh porid dlia balastovoho sharu zaliznychnoi kolii. Tekhnichni umovy»* (2015). Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293762/4293762301.pdf>
11. Halushko, V. O. (2009). Pat. No. 45279 UA. *Portal dlia vykonannya remontno-vidnovliuvalnykh robit*. MPK: E04G 21/00, B66C 17/00, E04G 23/00. declared: 21.05.2007; published: 10.11.2009, Bul. No. 21, 10.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213453

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DETERMINING HEAT TRANSFER COEFFICIENTS UNDER THE EXISTENCE OF VARIOUS BOILING MODES ON A FINNED WALL**

pages 37–42

*Marinenko Vladimir*, PhD, Associate Professor, Department of Nuclear Power Stations and Engineering Thermophysics, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv

*Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: v.marinenko@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8789-3432>*

*Davydenko Boris*, Doctor of Technical Science, Chief Researcher, Department of Thermophysical Basics of Energy-Saving Technologies, Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: [bdavydenko@ukr.net](mailto:bdavydenko@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8738-7612>

The object of research is the computational-experimental method of determining and identifying the heat transfer coefficients on the finned wall under the conditions of coexistence of different modes of boiling water that is forced to move. The peculiarity of cooling finned surfaces during boiling is that boiling is carried out on a non-isothermal surface. In this regard, the surface elements – «fin-wall», in the General case, can simultaneously coexist convective heat transfer, bubble, transient and film boiling. One of the problems that needs to be solved is the substantiation and development of a new method for determining the distribution of heat transfer coefficients on the surface of the fin during the coexistence of different boiling regimes on the finned wall.

Most methods of calculating heat transfer on finned surfaces are based on the assumption that the heat transfer coefficient at a given point of the non-isothermal surface is a function of only the temperature pressure between the surface and the liquid at this point. Experimental studies of heat transfer on the finned wall were carried out to test the method of calculation of heat transfer coefficients. The calculation part of the proposed method is based on the numerical method of determining the temperature field in the system «fin-wall» with a constant supply of heat from the smooth wall. Transferring, from both sides, to heat the heat flow – permanently, with given geometric dimensions, cooling, and efficiency of heat conduction material – fins to rotate the heat transfer.

The main stages of realization of computational-experimental technique are given in the work. Unlike most of the known methods for solving inverse problems, the proposed method, based on the use of three-diagonal matrix algorithm, makes it possible not to apply an iterative process to determine the heat transfer coefficients on the surfaces of the fins, which provides a quick result with a higher accuracy

**Keywords:** finned wall, heat transfer coefficient, boiling modes, surface element – «fin-wall», numerical method, temperature field determination.

**References**

1. Haley, K. W., Westwater, J. W. (1966). Boiling heat transfer from single fins. *Proceedings of the Third International Heat Transfer Conference AJChE – ASME*, 3, 245–253. doi: <https://doi.org/10.1615/ihtc3.300>
2. Kovalev, S. A., Smirnova, L. F. (1968). O temperaturnom pole rebra, omyvaemogo kipiaschei zhidkostiu. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 4 (6), 698–701.
3. Dulkin, I. N., Rakushina, N. I., Roizen, L. I., Fastovskii, V. G. (1970). Teploobmen pri kipenii vody i freona-113 na neizotermicheskoi poverkhnosti. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal*, 19 (4), 637–645.
4. Rubin, I. R., Dulkin, I. N., Roizen, L. I. (1978). Teploobmen pri kipenii zhidkosti na poverkhnosti koltsevogo rebra postoiannoii tolschiny. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 16 (2), 365–369.

5. Roizen, L. I., Evteev, B. N., Dulkin, I. N. (1970). Raschet teploperedachi v priamougolnom rebre. *Elektronnaiia tekhnika. Seriiia I. Elektronika SVCH*, 7, 81–84.
6. Kern, D., Kraus, A. (1977). *Razvitye poverkhnosti teploobmena*. Moscow: Energiia, 464.
7. Bosyi, V. V., Marynenko, V. I. (1996). *Modeliuвання teplovykh rezhymiv reber pry ryznykh umovakh teploobminu*. Kyiv: Ministerstvo osvity Ukrainy, 116.
8. Zverev, V. G., Nazarenko, V. A., Panko, S. V., Teploukhov, A. V. (2010). Opredelenie parametrov konvektivnogo teploobmena po izmereniiam temperatury materiala. *Teplofizika vysokikh temperatur*, 48 (5), 779–784.
9. Formalev, V. F., Kolesnik, S. A. (2013). A methodology for solving inverse coefficient problems of determining nonlinear thermophysical characteristics of anisotropic bodies. *High Temperature*, 51 (6), 875–883. doi: <http://doi.org/10.7868/s0040364413050062>
10. Marynenko, V. I., Davydenko, B. V. (2002). Metodyka vyznachennia koefitsiienta teploviddachi na orebrenii stintsii. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 1, 40–44.
11. Marinenko, V. I., Davydenko, B. V. (2002). Opredelenie koefitsiienta teplootdachi na orebrennoi stenke. *Energetika i elektrotekhnika*, 3, 40–42.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213227

### ANALYSIS OF ACCIDENTS OF THE WWER-1000 REACTOR IN WHICH EMERGENCY COOLING HEAT EXCHANGERS OPERATE

pages 43–47

**Pyrohov Tymofii**, Head of Department, Division of Strength Analysis of Elements of Nuclear Installations, State Enterprise «State Scientific Engineering Center of Control Systems and Emergency Response», Kyiv, Ukraine, e-mail: [T.V.Pirogov@gmail.com](mailto:T.V.Pirogov@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0877-1251>

**Korolev Alexander**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Nuclear Power Plants, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: [Korolyov118@gmail.com](mailto:Korolyov118@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7898-8659>

**Inyushev Vladislav**, PhD, First Deputy Director, State Enterprise «State Scientific Engineering Center of Control Systems and Emergency Response», Kyiv, Ukraine, e-mail: [vv.inyushev@gmail.com](mailto:vv.inyushev@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1040-950X>

**Kurov Volodymyr**, Head of Department of Long-Term Operation of Nuclear Installations, State Enterprise «State Scientific Engineering Center of Control Systems and Emergency Response», Kyiv, Ukraine, e-mail: [vladymyrkurov@gmail.com](mailto:vladymyrkurov@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3584-4513>

The object of research is the emergency operation modes of the WWER-1000 nuclear installation elements, which also use emergency cooling heat exchangers. The analytical studies carried out are based on an analysis of the operating documentation of the above-mentioned nuclear installation. An analysis of the elements of the emergency core cooling system, which includes emergency cooling heat exchangers, has been carried out. This analysis has shown that in order to localize the accidents of the WWER-1000 reactor unit,

the coolant that comes out of the leak is collected in the tank of the plant and from there is pumped by pumps through the above-mentioned heat exchangers. This ensures that the heat of the coolant escaping from the leak is removed and the reactor core is effectively cooled using already cooled water.

As a result of a comparative analysis of design accidents at the WWER-1000 reactor unit, it has been established that the emergency core cooling system is involved in accidents related to a rupture of the first and second reactor circuit pipelines within the containment. Such accidents include small, medium and large leaks in the primary circuit as well as ruptures in the steam line or feed water pipeline of the steam generator (within the containment). A detailed review of the parameters of the coolant that flows out of the leak and into the tip-tank shows that the most conservative accident involving emergency cooling heat exchangers is a «Large leak mode. Bilateral rupture of the main circulation pipeline DN 850 mm». In this accident, the temperature of the coolant in the tip-tanks reaches 110 °C and subsequently enters the inter-tube space of the heat exchangers.

Currently, there is an urgent task to justify the safe operation of nuclear power plant equipment and emergency cooling heat exchangers in particular. The results of the research can serve as baseline data for determining the thermal stress state of the above-mentioned heat exchangers in accidents of the WWER-1000 nuclear installation.

**Keywords:** emergency cooling heat exchanger, lifetime extension, safe operation, accident, emergency core cooling system.

### References

1. Brumovsky, M. (2014). Guidelines for Integrity and Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPs during Operation (VERLIFE). *Procedia Engineering*, 86, 308–314. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.043>
2. Debarberis, L., Gillemot, F., Sevini, F., Lyssakov, V., Davies, M., Ballesteros, A. (2002). *Nuclear power plant life management in some European countries*. European commission, 94.
3. *Life Extension of Nuclear Power Plants* (2008). CNSC, 19.
4. *Safety aspects of long-term operation of water moderated reactors. Recommendations on the scope and content of programmes for safe long-term operation* (2007). Vienna: IAEA, 231.
5. *Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants. Specific Safety Guide* (2013). Vienna: IAEA, 108.
6. Povarov, V. P., Fedorov, A. I., Vitkovsky, S. L. (2019). Some aspects of the VVER-440 reactor plant life re-extension: a case study of the Novovoronezh NPP Unit 4. *Nuclear Energy and Technology*, 5 (3), 249–256. doi: <http://doi.org/10.3897/nucet.5.46380>
7. Al-Kusayer, T. A. (1985). Availability of the Emergency Core Cooling System of a CANDU Pressurized Heavy-Water Reactor Following a Small Loss-of-Coolant Accident. *Nuclear Technology*, 69 (3), 293–307. doi: <http://doi.org/10.13182/nt85-a33612>
8. Sotoudeh, M., Sepanloo, K. (2009). Assessment of Reliability of Emergency Core Cooling System (ECCS) of Bushehr Nuclear Power Plant. *17-th International Conference on Nuclear Engineering (Vol. 2)*. Brussels, 729–733. doi: <http://doi.org/10.1115/icon17-75931>
9. NP 306.099-2004 (2004). *Zahal'ni vymohy do prodovzhen-nya ekspluatatsiyi enerhoblokiiv AES u ponadproektynyj strok*



- za rezul'tatamy zdiysnennya periodychnoyi pereotsinky bezpeky. Kyiv: State Committee for Nuclear Regulation of Ukraine, 16.
10. PL-D.0.03.126-10 (2010). *Polozhennya pro porjadok prodovzheniya stroku ekspluatatsiyi obladnannya, system, vazhlyvykh dlya bezpeky*. Kyiv: NNEGC «Energoatom», 34.
  11. 123456.PO.TQ.IE.11.03-17 (2017). *Instruktsiya po ekspluatatsii systemy avaryynogo i planovogo okhlazhdeniya aktivnoy zony (SAOZ, aktivnaya chast')*. Kyiv: NNEGC «Energoatom», 93.
  12. 21.4.59.OB.02.01 (2010). *Otchet po analizu bezopasnosti. Analiz proyektnykh avariy. Adaptatsiya. Itogovyy otchet*. Kyiv: NNEGC «Energoatom», 1910.
  13. IAEA-EBP-WWER-01 (1995). *Guidelines for Accident Analysis of WWER Nuclear Power Plants*. Vienna: IAEA, 136.
  14. ISBN 92-0-115602-2. STI/PUB/1131 (2002). *Accident Analysis for Nuclear Power Plants*. Vienna: IAEA, 121.
  15. IAEA-EBP-WWER-09 (1997). *Procedures for Analysis of Accidents in Shutdown Modes for WWER Nuclear Power Plants*. Vienna: IAEA, 40.
  16. Grundmann, U., Rohde, U. (1993). *DYN3D/M2 – a Code for Calculation of Reactivity Transients in Cores with Hexagonal Geometry*. IAEA Technical Committee Meeting on Reactivity Initiated Accidents. Report FZR 93-01. Rossendorf, 42.
  17. Grundmann, U., Mittag, S., Rohde, U. (2001). *DYN3D2000, Code manual and input data description*. Research Center. Rossendorf.
  18. NUREG/CR-5715. SAND91-0835. R4 (1991). *Reference Manual for the CONTAIN 1.1 Code for Containment Severe Accident Analysis*. Sandia National Laboratories, 1991.
  19. NUREG/CR-5026. SAND87-2309. R4 (1990). *User's Manual for CONTAIN 1.1. A Computer Code for Severe Nuclear Reactor Accident Containment Assessment Revised for Revision 1.11*. Sandia National Laboratories, 445.



## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214849

**АНАЛІЗ КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІМОРФНИХ МОДИФІКАЦІЙ СПОЛУКИ  $\text{Ba}_6\text{Ta}_2\text{O}_{11}$**  сторінки 4–11**Заводякий В. В.**

Об'єктом дослідження є кристалічна структура поліморфних модифікацій сполуки  $\text{Ba}_6\text{Ta}_2\text{O}_{11}$ . Дана сполука має малі діелектричні втрати в надвисокочастотному (НВЧ) діапазоні та може бути використана в мікрохвильовій техніці. Сполука кристалізується в структурному типі кріоліту з параметрами кубічної ґратки  $a=8,69\text{Å}$ . Разом з тим, для  $\text{Ba}_6\text{Ta}_2\text{O}_{11}$  властивий поліморфізм. В роботі запропоновано моделі кристалічних структур для  $\alpha$ - та  $\beta$ -фази сполуки для спектрів під номерами 00-049-0899, та 00-049-0903 в базі даних порошкових дифрактограм PDF-2 за 2004 рік. Сполука має решітку, яка належить не до тетрагональної сингонії, як це було запропоновано раніше, а до орторомбічної. Для  $\alpha$ -фази запропонована структурна модель: орторомбічна сингонія з періодами решітки  $a=6,218\text{Å}$ ;  $b=8,509\text{Å}$ ;  $c=6,227\text{Å}$ . Можлива просторова група симетрії  $P2_12_12_1$  (19). Фактор розбіжності  $R=8,54707\%$ . Для  $\beta$ -фази: орторомбічна сингонія. Можлива просторова група симетрії  $Fmmm$  (69) з періодами решітки  $a=8,668(7)\text{Å}$ ;  $b=8,677(8)\text{Å}$ ;  $c=8,685(7)\text{Å}$ . Фактор розбіжності  $R=7,03646\%$ . Припускаємо, що фазові переходи пов'язані не тільки зі зміною симетрії решітки (появою других елементів симетрії кристалу), але і з розупорядкуванням структури. Правильні системи точок  $\alpha$ - та  $\beta$ -фази сполуки не повністю заповнені, що вносить дефекти в кристалічну ґратку. Таким чином, структура  $\alpha$ -фази сполуки має неповністю заповнені позиції атомів B2, B5, B6, B7, Ta2, Ta3, O3, O10 (має правильну систему точок  $4a$ ). Структура  $\beta$ -фази має правильні системи точок  $4a$ ,  $4b$ ,  $8f$ ,  $32p$ , неповністю заповнені атомами. Це призводить до спотворення кристалічної структури досліджуваної сполуки. Структура  $\beta$ -фази має додатково елементи симетрії площини дзеркального відбиття, перпендикулярні осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Мають елементи симетрії: вісь симетрії 2 порядку, паралельні осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Також гвинтові осі симетрії 2 порядку (властиві обом структурам), паралельні осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , та площини ковзаючого відбиття, перпендикулярні осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , з  $n$ -ковзанням по діагоналі. Проведені дослідження кристалічної структури сполуки дають змогу більш детально вивчити її фізичні властивості, зокрема, як перспективного діелектрика НВЧ діапазону.

**Ключові слова:** рентгеноструктурний аналіз, кристалічна структура, метод Рітвельда, сполука  $\text{Ba}_6\text{Ta}_2\text{O}_{11}$ , поліморфні модифікації.

## TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215074

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЩІЛЬНОСТІ СІТКИ НАГНІТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН НА КОЕФІЦІЄНТ ГАЗОВИЛУЧЕННЯ ПРИ НАГНІТАННІ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ В ПОКЛАД** сторінки 12–17**Кондрат О. Р., Матківський С. В.**

Об'єктом дослідження є газові та газоконденсатні родовища, що розробляються в умовах прояву водонапірного режиму розробки та негативного впливу пластової води на процес видобування природного газу. З метою вдосконалення існуючих технологій розробки родовищ природного газу в умовах прояву водонапірного режиму розробки продуктивних покладів проведено дослідження з використанням основних інструментів гідродинамічного моделювання Eclipse та Petrel компанії Schlumberger (США). На основі тривимірної цифрової моделі газоконденсатного покладу досліджено вплив щільності нагнітальних свердловин на коефіцієнт виділення природного газу при нагнітанні діоксиду вуглецю в продуктивні поклади на межі газоводяного контакту. Дослідження проведено для різної кількості нагнітальних свердловин (4, 6, 8, 12, 16 свердловин), які рівномірно розміщені по периметру початкового газоводяного контакту. Згідно результатів проведених розрахунків встановлено, що видобуток пластової води при збільшенні щільності сітки свердловин зменшується. У випадку використання 4 свердловин для нагнітання діоксиду вуглецю в продуктивний поклад накопичений видобуток пластової води на кінець розробки склав 169,71 тис.  $\text{м}^3$ . При збільшенні кількості нагнітальних свердловин до 16 одиниць накопичений видобуток пластової води скоротився до 0,066  $\text{м}^3$ . Такий результат досягається завдяки більш повному охопленню діоксидом вуглецю периметру газоносності та створенню штучного бар'єру між водою та природним газом, який призводить до більш ефективного блокування просування пластової води в продуктивні поклади. Згідно результатів статистичної обробки розрахункових даних визначено оптимальне значення кількості нагнітальних свердловин при нагнітанні діоксиду вуглецю в поклад. Оптимальне значення кількості нагнітальних свердловин на момент прориву діоксиду вуглецю в першу видобувну становить 7,86 (8) свердловин. Максимальне значення кількості нагнітальних свердловин згідно результатів статистичної обробки складає 6,8 (7) свердловин. Кінцевий коефіцієнт газовилучення для наведеного оптимального значення нагнітальних становить 61,88%. На основі проведених розрахунків встановлено технологічну ефективність використання в якості агенту нагнітання діоксиду вуглецю на межі газоводяного контакту з метою попередження вибіркового обводнення продуктивних покладів та видобувних свердловин.

**Ключові слова:** 3D модель родовища, газоконденсатний поклад, водонапірний режим, защемлений газ, нагнітання діоксиду вуглецю.

## REPORTS ON RESEARCH PROJECTS

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214172

### **РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ З ПОЛІМЕРНИМИ ДЕТАЛЯМИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ** сторінки 18–20

Аулін В. В., Деркач А. Д., Макаренко Д. А., Грицьків А. В., Крутоус Д. І., Муранов Є. С.

Об'єктом дослідження є процес контролю граничного зносу полімерно-композиційних втулок підшипникового вузла паралелограмного механізму посівних машин. Даний процес чітко проявляється під час визначення справного стану рухомих з'єднань машин, що працюють у важких умовах експлуатації. Виконані дослідження спираються на принцип розриву активної ланки. Діагностика, побудована за даним принципом, дає можливість в достатній точності стверджувати про вихід з ладу контрольної ланки спряжень деталей. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що розробивши систему діагностики на основі контролю композиційних втулок можливо визначити межі нормального функціонування посівних секцій в цілому. Вирішення даного питання без втручання в конструкцію самої посівної секції неможливо. Оскільки матеріалом втулки є полімерний композит, який має достатній опір, щоб не пропускати електричний струм, то створюються умови для реалізації запропонованої діагностичної системи. В даній роботі побудовано регресійну модель для контролю та виявлення зміни бокового люфта від напрацювання посівного комплексу. Шляхом аналізу отриманих даних можливо встановити взаємозв'язок між діагностичним параметром, а саме, фіксацією розриву активної ланки, що проходить поблизу робочої поверхні композиційної втулки. Основними обмеженнями під час розробки даної діагностичної системи є межі контрольних зазорів у спряженнях, а також наявність діелектричних матеріалів для контрольних деталей. У випадку значного залягання активної розривної ланки або неправильного підбору необхідного її діаметру, даний метод діагностування може недоречно спрацювати і діагностична система стає не ефективною. В роботі відображено вчасність та раціональність спрацювання розробленої діагностичної системи. На базі такої діагностичної системи можливо створити автоматизований діагностичний комплекс для контролю технічного стану паралелограмних механізмів посівного комплексу в цілому.

**Ключові слова:** граничний зазор, підшипниковий вузол, боковий люфт, паралелограмний механізм, полімерна втулка, посівна секція.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215007

### **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ГАЗОВИМИ ДВИГУНАМИ, КОНВЕРТОВАНИМИ НА БАЗІ ДИЗЕЛІВ** сторінки 21–23

Ковальов С. О., Парсаданов І. В., Плис С. В.

Об'єктом дослідження є електронна мікропроцесорна система управління газовими двигунами внутрішнього згорання з іскровим запалюванням для роботи на зрідженому нафтовому газі. Система складається з двох головних підсистем, таких як акумулювальна підсистема живлення та багатоточкового впорскування зрідженого нафтового газу типу Common Rail та безконтактна електронна підсистема запалювання з рухомих розподільником напруги. Крім того, до системи управління входить і підсистема управління наповнення циліндрів зарядом робочої суміші, яка складається з дросельної заслінки та регулятора холостого ходу з конічним шибером. Система управління залежить від версії програмного забезпечення здатна реалізовувати групове або послідовне впорскування зрідженого нафтового газу до впускного патрубка кожного циліндра в зону, наближену до впускного клапана. Така система управління може бути використана при конвертації (переобладнанні) як нових дизелів у газові двигуни з іскровим запалюванням, так і тих, що перебувають в експлуатації. Доцільність такої конвертації полягає в зменшенні експлуатаційних витрат потужними транспортними засобами на дизельне паливо, за рахунок його заміщення більш дешевим та екологічно чистим зрідженим нафтовим газом.

З метою перевірки ефективності роботи системи управління розроблено та створено газовий двигун моделі D-240-LPG-«В» для роботи на зрідженому нафтовому газі. Газовий двигун конвертовано на базі транспортного дизеля D-240 (атмосферний, чотирихотактний, рідинного охолодження, 4-х циліндровий двигун з діаметром поршня 110 мм та ходом 125 мм). Зменшення ступеня стиснення дизеля досягнуто шляхом доопрацювання напівзакритої дизельної камери згорання типу ЦНІДІ у відкриту камеру згорання в формі вісісиметричного «усіченого конусу». Для ефективного управління трьома підсистемами газового двигуна моделі D-240-LPG-«В», розроблено і виготовлено електронний мікропроцесорний блок управління моделі Avenir Gaz 37 «В». Проведені випробування газового двигуна D-240-LPG-«В» з блоком управління Avenir Gaz 37 «В» показали ефективність використання електронної мікропроцесорної системи управління.

**Ключові слова:** газовий двигун, система управління газовим двигуном, електронний блок управління, зріджений нафтовий газ.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213475

### **АНАЛІЗ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ НЕОДНОРІДНОЇ ТРУБИ ВЗДОВЖ ТОВЩИНИ ТА ДОВЖИНИ З УРАХУВАННЯМ ОПОРУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА** сторінки 24–27

Мірзасва Г. Р., Рзасва В. Б.

Конструктивні елементи з різномірних природних і штучних матеріалів широко використовуються при зведенні сучасних будівельних комплексів і в багатьох інших областях. Серед них – використання дошок і панелей різної конфігурації. В даний час одним з найважливіших вимог до проектувальників і бухгалтерів є правильна оцінка механічних властивостей матеріалу конструктивного

елемента та впливу навколишнього середовища, з яким проходить контакт під час експлуатації. Беручи це до уваги, математичне рішення задачі стає важливим, оскільки в іншому випадку, можуть бути зроблені серйозні помилки. Одним з найпроблемніших місць є опір зовнішнього середовища.

Об'єктом дослідження є сучасні труби, схильні до дії зовнішнього середовища. В роботі аналізується одна з математичних моделей Пастернака, яка точно відображає пружні реальні властивості навколишнього середовища, а також модель Вінклера, яка характеризується двома константами, моделлю Карнета та моделлю Ржаніціна. Проводиться аналіз їх впливу. В ході дослідження використовується метод поділу змінних, а потім метод Бубнова-Гальоркіна, яка пояснювала б взаємозв'язок між безрозмірним значенням частоти, параметрами, котрі характеризують неоднорідність підстави, і трубою. Вибір спеціальних частот здійснюється шляхом вибору відповідного спеціального рівняння та граничних умов. Показано, що існують нелінійні алгебраїчні рівняння і їх рішення пов'язано з використанням комп'ютерних технологій.

Показано, що при зміні механічних властивостей труби по довжині описаний вище метод рішення не працює і визначення характерних параметрів необхідно проводити іншими наближеними аналітичними методами. В інженерній практиці зазвичай досить знайти основний тон частоти. В результаті дослідження показано, що вплив зовнішнього середовища є важливим для неоднорідної труби та має враховуватися при проектуванні взаємодії конструкції з ґрунтом. Надалі пропонується підхід і слід враховувати при проектуванні конструкції неоднорідної взаємодії труб.

**Ключові слова:** неоднорідна труба, складні умови навколишнього середовища, модель Вінклера, модель Пастернака, модель карнетів.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.214771

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНИХ ЕКРАНІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ** сторінки 28–32

**Дмитрієва Н. В., Трофимова Л. Є., Кирилюк С. В.**

Об'єктом дослідження є технологія влаштування гідроізоляційних екранів будівель і споруд з вапняку-черепашнику. У роботі розглянуті причини порушення гідроізоляції підземних частин будівель з вапняку-черепашнику. Розкриваються проблеми збереження історичних будівель і споруд з вапняку-черепашнику на прикладі наступних будівель в Україні та Молдові:

- Одеський театр опери та балету;
- Будинок Страца;
- Бродська синагога;
- Дім Маразлі;
- Білгород-Дністровська та Бендерська фортеці;
- Башта Вітрів;
- Костел святого Каєтана;
- Пороховий льох фортеці Тирасполь;
- Водяний Млин;
- Церква Архангела Михаїла в с. Строєнци та багато інших.

На основі методів математичної теорії експерименту побудований комплекс експериментально-статистичних моделей, аналіз яких дозволив оцінити інтенсивність капілярного всмоктування системи «гідроізоляційний екран – вапняк-черепашник» в залежності від глибини ін'єктування, діаметру ін'єктора та кроку його розташування. Запропоновано та обґрунтовано схему розташування шпурів ін'єктування для забезпечення гідроізоляції конструкції, яка дозволяє на 6–12 % більше заповнити капілярно-пористого простору кладки в порівнянні з іншими схемами.

Прийнята фізична модель поширення ін'єкційного складу в пористій структурі вапняку-черепашнику дозволила проаналізувати глибину, діаметр, крок ін'єктування, які впливають на область поширення розчину в масиві конструкції. Глибина ін'єктування дійсно є однією з найважливіших технологічних характеристик при влаштуванні внутріконструкційного гідроізоляційного екрана. З технологічної точки зору, ступінь впливу кроку ін'єктування на інтенсивність капілярного волопереноса є досить високим, так як прямим чином позначається на кількості діючого гідроізоляційного складу в товщі, яка ін'єктується, а також на трудовитрати при виконанні гідроізоляційних робіт. Величина діаметра шпуру не робить значного впливу на досліджуваний показник в рамках обраних умов експерименту.

**Ключові слова:** вапняк черепашник, ін'єкційна гідроізоляція, гідроізоляційний екран, капілярний ефект, математичне моделювання ін'єктування.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215048

### **ВИБІР ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ РЕМОНТІ ТА БУДІВНИЦТВІ ДОРІГ** сторінки 33–36

**Галушко В. О., Галушко О. М., Уваров Д. Ю., Уварова А. С.**

Об'єктом дослідження є технологія влаштування дорожнього покриття з використанням альтернативних матеріалів та можливість впровадження автоматизованих систем для підвищення продуктивності. Основна гіпотеза дослідження полягає в знаходженні альтернативного матеріалу, за допомогою якого можна знизити вартість будівництва доріг, та збільшити якість, строк служби. Для зниження вартості доріг необхідно утворювати нові технології будівництва з залученням інноваційних або альтернативних матеріалів, використовувати новітні механізми та впроваджувати автоматизовані та роботизовані системи. Це можливо досягти, якщо ретельно вивчити технологію влаштування будівельних процесів. Одним з матеріалів дорожнього покриття є щебінь, гравій та пісок. Розглянемо, як один з альтернативних варіантів відходи гірничого виробництва – шлаковий щебінь. При визначенні основних фізико-механічних властивостей шлакового щебню використовували стандартну методику випробування щебня в стаціонарних

лабораторних умовах. У ході дослідження були використані методи системного аналізу та узагальнення, а також методика випробування матеріалу. Автори роботи проаналізували технологічні процеси будівництва доріг та запропонували матеріал за результатами випробувань – шлаковий щебінь феросплавного заводу. В ході випробувань отримали підтвердження, що матеріал є альтернативним кар'єрному щебню. Щебінь феросплавного виробництва має однакову область застосування, міцність, щільність, морозостійкість, але вартість на порядок менша за тону, що створює економічний ефект 31,93 дол. на тоні. Це дає можливість знизити вартість дорожнього покриття та забезпечує відповідну нормативним вимогам якість, а провадження сучасних технологій зменшить норму часу на деяких об'єктах будівництва.

При проведенні випробувань шлакового щебню отримані результати підтверджують, що даний матеріал відповідає всім вимогам і цілком може замінити гранітний щебінь при будівництві доріг різного призначення. Такий матеріал можна використовувати не тільки на Україні, а і в країнах з аналогічними вимогами до складу дорожнього полотна.

**Ключові слова:** історія створення доріг, дорожнє покриття, якість автомобільних доріг, сучасні технології, шлаковий щебінь.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213453

### **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПРИ СПІВІСНУВАННІ РІЗНИХ РЕЖИМІВ КИПІННЯ НА ОРЕБРЕНІЙ СТІНЦІ** сторінки 37–42

**Мариненко В. І., Давиденко Б. В.**

Об'єктом дослідження є розрахунково-експериментальна методика визначення та ідентифікації коефіцієнтів тепловіддачі на оребрений стінці за умов співіснування різних режимів кипіння води, що вимушено рухається. Особливістю охолодження оребрених поверхонь при кипінні є те, що кипіння здійснюється на неізотермічній поверхні. В зв'язку з цим на елементах поверхні – «ребро-стінка», в загальному випадку, можуть одночасно співіснувати конвекційний теплообмін, бульбашкове, перехідне та плівкове кипіння. Однією з проблем, що необхідно вирішити, є обґрунтування та розробка нової методики визначення розподілу коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні ребра при співіснуванні різних режимів кипіння на оребрений стінці.

В основі більшості методів розрахунку теплообміну на оребрених поверхнях є припущення про те, що коефіцієнт тепловіддачі в заданій точці неізотермічної поверхні є функцією тільки температурного напору між поверхнею та рідиною в цій точці. Для відпрацювання методики розрахункового визначення коефіцієнтів тепловіддачі були проведені експериментальні дослідження теплообміну на оребрений стінці. В основі розрахункової частини методики, що пропонується, лежить чисельний метод визначення температурного поля в системі «ребро-стінка» при постійному підведенні теплоти зі сторони гладкої стінки. Передбачається, що зі сторони обігріву густина теплового потоку – постійна та при даних геометричних розмірах, умовах охолодження та коефіцієнті теплопровідності матеріалу – ребра покращують теплопередачу.

В роботі наведено основні етапи реалізації розрахунково-експериментальної методики. На відміну від більшості відомих методів розв'язання обернених задач, запропонований метод, що ґрунтується на використанні матричної прогонки, дозволяє не застосовувати ітераційний процес для визначення коефіцієнтів тепловіддачі на поверхнях ребер, що забезпечує швидке отримання результату з більш високою точністю.

**Ключові слова:** оребрена стінка, коефіцієнт тепловіддачі, режими кипіння, елемент поверхні – «ребро-стінка», чисельний метод, визначення температурного поля.

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.213227

### **АНАЛІЗ ПЕРЕБІГУ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВВЕР-1000, У ЯКИХ ЗАДІЯНІ ТЕПЛООБМІННИКИ АВАРІЙНОГО РОЗХОЛОДЖУВАННЯ** сторінки 43–47

**Пирогов Т. В., Корольов О. В., Ізюшев В. В., Куров В. О.**

Об'єктом дослідження є аварійні режими роботи елементів реакторної установки ВВЕР-1000, у яких задіяні теплообмінники аварійного розхолодження. Проведені аналітичні дослідження ґрунтуються на аналізі експлуатаційної документації вищезазначеної реакторної установки. Виконано аналіз елементів системи аварійного охолодження зони, до якої входять теплообмінники аварійного розхолодження. Даний аналіз показав, що з метою локалізації аварійних ситуацій реакторної установки ВВЕР-1000, теплоносій, який виходить з течі, збирається у баку-приямку та звідти перекачується насосами через вищезазначені теплообмінники. Завдяки цьому досягається відведення тепла теплоносія з течії та, за допомогою вже охолодженої води, виконується ефективне охолодження активної зони реактору.

У результаті проведеного порівняльного аналізу проектних аварій реакторної установки ВВЕР-1000 встановлено, що система аварійного охолодження зони бере участь в аварійних ситуаціях, пов'язаних з розривом трубопроводів першого та другого контурів реактору в межах гермооб'єму. До таких аварійних ситуацій належать малі, середні та великі течі першого контуру, а також розриви паропроводу або трубопроводу живильної води парогенератора (в границях гермооб'єму). Детальний розгляд параметрів теплоносія, що виходить з течі та потрапляє в бак-приямку, показує, що найбільш консервативною аварійною ситуацією, у якій задіяні теплообмінники аварійного розхолодження, є розрив головного циркуляційного трубопроводу Ду 850 мм. При даній аварійній ситуації температура теплоносія у баку-приямку досягає 110 °С та згодом потрапляє у міжтрубний простір теплообмінників.

В даний час існує важливе завдання обґрунтування безпечної експлуатації обладнання атомних електростанцій та теплообмінників аварійного розхолодження зокрема. Результати проведеного дослідження можуть слугувати у якості вихідних даних для визначення термонапруженого стану вищезазначених теплообмінників під час аварійних ситуацій реакторної установки ВВЕР-1000.

**Ключові слова:** теплообмінник аварійного розхолодження, продовження терміну експлуатації, безпечна експлуатація, аварійна ситуація, система аварійного охолодження зони.