



## MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237326

**INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF THE MANIPULATOR OF THE ROBOTIC COMPLEX CONSTRUCTED ON THE BASIS OF CYCLOIDAL TRANSMISSION**

pages 6–14

*Serhii Strutynskiy*, PhD, Associate Professor, Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics, National Technical University «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: [strutynskiy@gmail.com](mailto:strutynskiy@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9739-0399>

*Roman Semenchuk*, Postgraduate Student, Department of Applied Hydroaeromechanics and Mechatronics, National Technical University «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: [roma.semenchuk@gmail.com](mailto:roma.semenchuk@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9470-2756>

The object of research is modern robotic systems used in hotspots. In their arsenal, such mobile works are equipped with manipulators with high-precision hinges, which provide accurate positioning of the gripper (object of manipulation). Considering ground-based robotic complexes with a wheel or caterpillar base, the implementation of the process of manipulation on a stationary basis, a number of problem areas were identified that affect the accuracy of positioning.

In the course of research and analysis of modern robotic complexes, their circuit and design of components and mechanisms that provide the necessary qualities and parameters. The problem of developing high-precision hinges is central to the creation of efficient ground-based robotic systems.

The methodology of kinematic research of rotary hinges of the manipulator for the ground robotic complex is stated. The analysis of influence of deformations of material of impellers of not involute transfer on accuracy of positioning of a final subject is carried out. A kinetostatic analysis of the manipulator circuit was performed and the maximum moments acting in the hinged units on the drive unit were determined, which allowed to make a quantitative assessment using the Solidworks software package.

The mathematical model of construction of transfer and definition of accuracy of a rotary knot for a ground robotic complex, with use of cycloidal transfer without intermediate rolling bodies is investigated and developed. Mathematical modeling and taking into account the features of mechanical processes occurring in the manipulator, allows to increase the technical level of robotic complexes.

Ways of improvement are defined for maintenance of a progressive design of the manipulator that not only will satisfy necessary technical characteristics, but also will allow to simplify manufacturing technology.

Modern technologies and materials (stereolithography, carbon fiber, superhard materials) make it possible to implement advanced designs of spatial drive systems. Therefore, work in this direction is relevant, as robotic mechanical complexes for special purposes are widely used when performing work in emergencies.

**Keywords:** manipulators with high-precision hinges, rotary unit, stress-strain state of cycloidal transmission, high-precision hinge.

## References

1. De Waard, M., Inja, M., Visser, A. (2013). Analysis of flat terrain for the atlas robot. *2013 3rd Joint Conference of AI & Robotics and 5th RoboCup Iran Open International Symposium*. doi: <http://doi.org/10.1109/rios.2013.6595324>
2. Grigorescu, S., Trasnea, B., Cocias, T., Macesanu, G. (2020). A survey of deep learning techniques for autonomous driving. *Journal of Field Robotics*, 37 (3), 362–386. doi: <http://doi.org/10.1002/rob.21918>
3. Kim, S., Wensing, P. M. (2017). Design of Dynamic Legged Robots. *Foundations and Trends in Robotics*, 5 (2), 117–190. doi: <http://doi.org/10.1561/23000000044>
4. Dholakiya, D., Bhattacharya, S., Gunalan, A., Singla, A., Bhatnagar, S., Amrutur, B. et. al. (2019). Design, Development and Experimental Realization of A Quadrupedal Research Platform: Stoch. *2019 5th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*. doi: <http://doi.org/10.1109/iccar.2019.8813480>
5. Gamazo-Real, J. C., Vázquez-Sánchez, E., Gómez-Gil, J. (2010). Position and Speed Control of Brushless DC Motors Using Sensorless Techniques and Application Trends. *Sensors*, 10 (7), 6901–6947. doi: <http://doi.org/10.3390/s100706901>
6. Strutynskiy, S. V., Semenchuk, R. V. (2020). Rozroblennia konstruktivno vysokotochnoho povorotnoho vuzla dlia manipulatora nazemnoho robotyzovanoho kompleksu. *XXV Mizhnarodna nauko-tekhnichna konferentsiia hidroaeromekhanika v inzhenerii praktysi*. Kyiv, 340–342.
7. Strutynskiy, S., Kravchu, V., Semenchuk, R. (2018). Mathematical Modelling of a Specialized Vehicle Caterpillar Mover Dynamic Processes Under Condition of the Distributing the Parameters of the Caterpillar. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 40–46. doi: <http://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19549>
8. Henson, P., Marais, S. (2012). The utilization of duplex worm gears in robot manipulator arms: A design, build and test approach. *2012 5th Robotics and Mechatronics Conference of South Africa*. doi: <http://doi.org/10.1109/robomech.2012.6558461>
9. Rosenbauer, T. (1995). *Getriebe für Industrieroboter: Beurteilungskriterien*. Kenndaten, Einsatzhinweise: Shaker. Available at: <http://publications.rwth-aachen.de/record/57404?ln=de>
10. *Vysokotochnyye reduktory SPINEA*. Available at: <https://www.spinea.com/ru/products/twinspace/index>
11. López-García, P., Crispel, S., Verstraten, T., Saerens, E., Convens, B., Vanderborgh, B., Lefeber, D. (2018). Failure mode and effect analysis (FMEA)-driven design of a planetary gearbox for active wearable robotics. *International Symposium on Wearable Robotics*. Pisa, 460–464. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-01887-0\\_89](http://doi.org/10.1007/978-3-030-01887-0_89)
12. Wolfrom, U. (1912). Der Wirkungsgrad von Planetenrädernetrieben. *Werkstattstechnik*, 6, 615–617.
13. Looman, J. (1996). *Zahnradgetriebe (Gear Mechanisms)*. Berlin: Springer-Verlag. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-89460-5>
14. García, P. L., Crispel, S., Saerens, E., Verstraten, T., Lefeber, D. (2020). Compact Gearboxes for Modern Robotics: A Review. *Frontiers in Robotics and AI*, 7. doi: <http://doi.org/10.3389/frobt.2020.00103>
15. GENESIS Robotics (2020). *LiveDrive® Radial MOTOR*. Available at: <https://genesisrobotics.com/products/livedrive-radial-motor/>
16. Strutynskiy, S., Semenchuk, R. (2020). Mathematical modeling of dynamic processes of the terrestrial robotic complex manipulator. *UNITECH 2020*. Gabrovo, II, 97–102.

17. Strutynskiy, S. V., Semenchuk, R. V. (2020). Rozroblennia matematychnoi modeli manipulatora nazemnoho robotyzovanoho kompleksu. *Promysova hidravlika i pnevmatyka*. Kyiv, 80–81. Available at: [https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/47785/5/Cavitation%20characteristics%20of%20axial-piston%20pumps%20with%20similar%20pumping%20units\\_01.pdf](https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/47785/5/Cavitation%20characteristics%20of%20axial-piston%20pumps%20with%20similar%20pumping%20units_01.pdf)
18. Zhu, J., Tian, F. (2018). Kinematics Analysis and Workspace Calculation of a 3-DOF Manipulator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170, 042166. doi: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/170/4/042166>
19. Pysarenko, H. S., Kvitka, O. A., Umanskyi, Ye. S. (2004). *Opir materialiv*. Kyiv: Vyscha shkola, 655.
20. DSTU HOST 520:2014. *Podshypryky kochennia. Zahalni tekhnichni umovy*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200086914>
21. *Katalog. Podshipniki kacheniya. SKF*. PUB BU/P1 10000/3 RU (2017). Available at: [https://www.skf.com/binaries/pub39/Images/0901d196806f74ee-Rolling-bearings---10000\\_3-RU\\_tcm\\_39-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub39/Images/0901d196806f74ee-Rolling-bearings---10000_3-RU_tcm_39-121486.pdf)
22. GOST 24810-2013. *Podshipniki kacheniya. Vnutrennie zazory*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104620>
23. GOST 24810-2013. *Podshipniki kacheniya. Vnutrennie zazory*. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data/550/55084.pdf>
24. Egorov, I. M., Aleksanin, S. A., Fedosovskiy, M. E., Kryazheva, N. P. (2014). Modeling of manufacturing errors for pin-gear elements of planetary gearbox. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 6 (94), 171–176. Available at: [https://ntv.ifmo.ru/ru/article/11206/matematicheskoe\\_modelirovanie\\_pogreshnostey\\_izgotovleniya\\_elementov\\_cevochnoy\\_peredachi\\_planetarnogoreduktora.htm](https://ntv.ifmo.ru/ru/article/11206/matematicheskoe_modelirovanie_pogreshnostey_izgotovleniya_elementov_cevochnoy_peredachi_planetarnogoreduktora.htm)
25. *Bezlyuftoviy reduktor – lyuft i KPD* (2020). Available at: <https://www.drivemeh.ru/blog/bezlyuftoviy-reduktor-lyuft-i-kpd/>
26. Strutynskiy, S. V., Semenchuk, R. V. (2020). Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu tsykloidalnoi peredachi bez promizhnykh til kochennia. *Mashynobuduvannia ochyma molydkh: prohresywni idei – nauka – vyrobnytstvo*. Sumy, 126–129. Available at: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80866/3/Mashynobuduvannia\\_2020.pdf;jsessionid=AE6B104C896A2622E3956A12FFE8577E](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80866/3/Mashynobuduvannia_2020.pdf;jsessionid=AE6B104C896A2622E3956A12FFE8577E)
27. Petrova, R. V. (2015). *Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation*. CRC Press, 326. Available at: <http://docshare01.docshare.tips/files/28262/282622482.pdf>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237539

## IMPROVEMENT OF THE EXTRUDER BODY DESIGN IN ORDER TO INCREASE RELIABILITY AND QUALITY OF EXTRUSION

pages 15–19

*Iryna Kazak*, PhD, Associate Professor, Department of Chemical, Polymer and Silicate Mechanical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: [AsistentIA@meta.ua](mailto:AsistentIA@meta.ua), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9450-8312>

The article highlights one of the ways to improve the design of the extruder body in order to increase the reliability and, at the same time, the quality of extrusion. The object of research is a single-worm extruder. One of the most problematic areas of the extruder is the body. The main disadvantage of the extruder is the wear of the body surfaces due to corrosion or abrasion and requires regular replacement. This is due to the abrasive properties of the polymers and, accordingly, due to the friction of the polymer material against the body

and the worm, especially due to contamination in the recycled material. In various sources, the replacement of the extruder worm with a more advanced design is widely covered. And scientists do not pay enough attention to improving the body of the extruder, which indicates the relevance of this study. That is why the problem of increasing the reliability of the extruder body is completely unsolved and urgent. In the course of the study, we used an analysis of the structural features of the extruder body, a literature-patent review of existing methods for improving the body of a single-worm extruder to increase the reliability and, at the same time, the quality of extrusion. As a result of the literature and patent review, the option of improving the extruder body based on the prototype of the split body, which additionally contains an inner surface of steel ribbed plates, was selected. It was found that the ribbing of the plates on the inner surface of the body increases the wear resistance of the body and promotes more intensive advancement of the polymer used material to the extruder head. This is due to the fact that the proposed improved body of the extruder has a number of features: steel ribbed plates rigidly fixed inside it are installed with overlap of the parting line of the extruder body. This makes it possible to increase the wear resistance and, accordingly, the reliability of the extruder body and, additionally, the extrusion quality. Compared with the known one-piece structures of the extruder body, the design of the body is detachable with steel rigidly mounted ribbed plates on the inner surface, which will simplify maintenance during repairs and, at the same time, improve the quality of extrusion.

**Keywords:** extruder, improvement of the extruder body, finning of the plates, extrusion quality, wear of the extruder body, extruder worm.

## References

1. Odnoshnekoviy ekstruder (odnochervyachniy ekstruder). Slovar terminov. *PlastEkspert – vse o plastikakh i polimerakh*. Available at: [https://e-plastic.ru/slovar/o/odnoshnekoviy\\_extruder/](https://e-plastic.ru/slovar/o/odnoshnekoviy_extruder/)
2. Kushnir, V. G., Gavrilov, N. V., Shkotova, T. V., Borzenkov, A. P. (2019). The extruder improvement. *Journal of VNIIMZH*, 3 (35), 56–60.
3. Sivetskiy, V. I., Kurylenko, V. M., Ivitskiy, I. I. (2018). *Tekhnologichne obladnannia vyrobnytstva budivelnnykh ta polimernykh vyrobiv – 1. Obladnannia budivelnnykh materialiv i vyrobiv. Laboratorniy praktykum z navchalnoi dystsypliny*. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 45. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25137>
4. Kostin, V. V., Pogorelskaya, O. I., Simonenko, V. I. (2011). Pat. No. RU 103446 U1. *Korpus ekstrudera*. MPK: A23 N17/00 (2006.01). No. 2010140649/13; declared: 10.04.2010. published: 20.04.2011, Bul. No. 11.
5. Kuzmina, V. O., Mikulonok, I. O., Shved, D. M., Shved, M. P. (2010). Pat. No. 54940 UA. *Odnochervyniy ekstruder*. MPK: B29 C47/36, B29 B7/34 (2009). No. u201007330; declared: 14.06.2010; published: 25.11.2010, Bul. No. 22.
6. Mikulonok, I. O., Sokolskiy, O. L., Sivetskiy, V. I., Radchenko, L. B. (2015). *Osnovy proektuvannia odnochervyachnykh ekstruderiv*. Kyiv: NTUU «KPI», 2015, 200.
7. Makdonald, D., Mortazavi, A., Kreyg, D., Ilmonen, R., Gau, D. (2009). Pat. No. RU 2350467 C2. *Usovershenstvovanniy ekstruder v sbore*. MPK B29C 47/38 (2006.01). No. 2007117929/12; declared: 14.09.2007; published: 27.03.2009, Bul. No. 9.
8. Feykhtinger, K., Khakl, M. (2016). Pat. No. RU 2577383 C2. *Ustroystvo dlya pererabotki polimernogo materiala*. MPK: B29B17/04. No. 2014119281/05; declared: 12.10.2012; published: 20.03.2016, Bul. No. 8.

9. Sheikh, A. K., Younas, M., Arif, A. F. M., Gasem, Z. (2011). Reliability and performance evaluation of extrusion dies. *International Journal of Reliability and Safety*, 5 (1), 21. doi: <http://doi.org/10.1504/ijrs.2011.037345>
10. *Ekstruziia*. Available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екструзія>
11. Goff, J., Whelan, T.; DeLaney, D. (Ed.) (2000). *The Dynisco Extrusion Processors*. DYNISCO. Available at: [https://www.dynisco.com/userfiles/files/27429\\_Legacy\\_Txt.pdf](https://www.dynisco.com/userfiles/files/27429_Legacy_Txt.pdf)
12. *Ekstruziia termoplastov* (2012). Available at: <http://plastichelp.ru/biblioteka-on-line-about-polimers/52-technology-of-polimers/239-422-ekstruziia-termoplastov>

## MECHANICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237296

### ESTIMATION OF THE ERROR OF THE SIMPLIFIED ALGORITHM OF PROCESSING OF FUNCTIONS OF DEFLATIONS OF DEFORMED FRAMES OF BODIES OF ROLLING STOCK

pages 20–24

*Yevhen Horobets, Specialist, Limited Liability Company «Scientific and Production Enterprise «Ukrtransakad», Dnipro, Ukraine, e-mail: gorobets.eugene@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8017-1595>*

The study is aimed at assessing the size of the error that arises when processing the results of examining the geometric characteristics of the bearing structures of rolling stock units using an algorithm without using trigonometric functions. The object of the research is a method of simplified alignment of the deflection function of body frame beams to the horizontal plane. One of the biggest problem areas is the lack of understanding by some customers of the work of the possibility of using this algorithm due to the lack of information about the errors that arise in the simplified calculation.

The study was carried out by comparing the results of processing the initial data by two methods, obtained during the work on the inspection of the state of the supporting structures of the unit of the shunting diesel locomotive TGM6. One method, the algorithm of which is the subject of this study, assumes that no complex calculations are used during data processing. The second method involves the use of an algorithm for aligning the deflection functions of the body frame beams of a rolling stock unit of railways in the horizontal plane, taking into account all trigonometry tools, which will exclude the accompanying calculation errors of the simplified method.

After processing the initial data, two sets of results were obtained – with the desired calculation error and without. Comparison of these datasets yielded an error value for frame tilt of 5.7. For clarity, the size of the error was compared with the expanded uncertainty values of the main sources of uncertainty in the methodology for examining the bearing structures of rolling stock. On the basis of the analysis of two methods of leveling the inclination to the horizontal plane of the deformed rolling stock body frame, the expediency of such an approach has been proved.

The results obtained make it possible to reasonably use the Simplified approach to processing the data obtained during the survey of the geometric characteristics of the rolling stock. If necessary, the developed mathematical model can be used to improve the accuracy of calculating the uncertainty of measurements of geometric characteristics, as well as for use in the study of modification of existing or development of new measurement techniques.

**Keywords:** rolling stock, rolling stock inspection, body frame deformation, geometric characteristics, level, measurement error.

### References

1. *DSTU EN ISO/IEC 17025:2019 Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT)* (2021). Kyiv: DP «UkrNDNTs», 30.
2. Blaschuk, V. N., Bunov, I. A., Khoang, Sh. M., Lubenko, V. N. (2011). Teoreticheskie osnovy primeneniya lazernykh takheometrov v izmeritelnoy sisteme, privyazannoy k korpusu sudna. *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2, 13–19.
3. Nguen, Ch. A., Lubenko, V. N. (2014). Use of tacheometer sensors in quality control systems in shipbuilding. *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2, 52–57.
4. Seredovich, A. V., Ivanov, A. V. (2005). Kontrol geometricheskikh kharakteristik elementov elektricheskikh mashin metodom lazernogo skanirovaniya. *Interespo Geo-Sibir*, 1.
5. Pimshin, Yu. I., Naumenko, G. A., Postoy, L. V., Burdakov, S. M. (2017). Monitoring of the Nuclear Engineering Large Size Products. *Globalnaya yadernaya bezopasnost*, 2 (23), 47–55.
6. Ćmielewski, K., Gołuch, P., Kuchmister, J., Wilczyńska, I., Ćmielewski, B., Grzeja, O. (2021). Detection of crane track geometric parameters using UAS. *Automation in Construction*, 128, 103751. doi: <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103751>
7. Skvortsov, B. V., Malysheva-Stroykova, A. N., Chernykh, A. V. (2016). A method of the laser-television control of geometric parameters of objects with complex shapes. *Instruments and Experimental Techniques*, 59 (1), 63–68. doi: <http://doi.org/10.1134/s0020441216010310>
8. Demkin, V. N., Stepanov, V. A., Shadrin, M. V. (2013). Rapid prototyping systems with laser scanning. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Fiziko-matematicheskie nauki*, 3 (177), 136–143.
9. Danilov, V. A., Fedorov, A. V., Bezvershenko, L. S. (2019). The Comparison of the Methods of Photogrammetry and Laser scanning for the Establishment of three-Dimensional Models of objects and territories of Archeological GIs (on the Example of the Archeological Excavation of Uvek Hillfort). *Izv. Sarat. un-ta Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle*, 2, 72–78.
10. Li, D., Wei, R., Du, Y., Guan, X., Zhou, M. (2017). Measurement methods of geometrical parameters and amount of corrosion of steel bar. *Construction and Building Materials*, 154, 921–927. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.018>
11. *Rukovodstvo po srednemu i kapitalnomu remontu teplovozov tipa TEM2. RK 103.11.304-2003* (2003). Moscow, 125.
12. *Teplovoz TGM6A. Rukovodstvo po srednemu i kapitalnomu remontu. 24.02.05.21-83 RK* (1985). 42.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237231

### RESEARCH OF THE IMPACT OF VIBRATION ON THE EFFICIENCY OF DISSEMINATION OF LOOSE PLANT PRODUCTS FROM THE MOTOR VEHICLE BODIES

pages 25–30

*Evgen Opanasyuk, PhD, Associate Professor, Department of Vehicles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State*

University, Zhytomyr, Ukraine, e-mail: opanasyukevgen@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3367-5816>

**Dmytro Beherskyi**, PhD, Department of Vehicles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine, e-mail: begerskiy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8357-0038>

**Mykola Mozharovskiy**, Senior Lecturer, Department of Vehicles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine, e-mail: mykolamozharovskiy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4720-3783>

**Ivan Vitiuk**, Senior Lecturer, Department of Vehicles and Transport Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine, e-mail: vnvik74@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3577-8758>

The object of research is the process of unloading bulk crop products from the bodies of dump trucks, the subject of the study is the dependence of the energy consumption of unloading on the properties of products when exposed to vibration. This dependence is understood as a change in the properties of bulk products, such as internal friction and the angle of repose, in the direction of decreasing, providing a decrease in the angle of lift of the body. One of the most problematic areas is the lack of objective information on the dependence of the required lifting angles of the dump truck body when unloading fine-grained crop products when exposed to vibrations. There is also insufficient information on the dependence of these angles on vibration frequency for each of the products.

In the course of the study, an experimental method was used to determine the angles of natural bevel for different crops without and under the influence of vibrations of different frequencies on the reference area. The proposed development makes it possible to quantitatively assess the degree of influence of vibrations, their frequencies and time of impact on the frictional properties of bulk crop products. The degree of reduction of internal friction in these products and the maximum angles of lifting the body required for its unloading were experimentally determined, and numerical data were obtained on their reduction under the influence of vibrations. The results obtained allow to consider it an effective tool for obtaining objective information about the effect of vibrations on the characteristics of internal friction of bulk crop products. This made it possible to determine the degree of influence of the lift angle of the dump truck body during unloading and to reduce energy costs. In contrast to the existing ones, the proposed development makes

it possible to differentiate these angles depending on the frequency and time of exposure to vibration, as well as on a specific product. Certain parameters make it possible to regulate them to achieve minimum energy consumption.

**Keywords:** bulk crop products, internal friction, angle of repose, body lift angle, dump truck, loading and unloading operations.

## References

1. Shyrokyi, H. M. (2020). *Natsionalnyi instytut stratehichnykh doslidzhen*. Svitovyi rynek zernovykh kultur v umovakh pandemii koronavirusu. Available at: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-07/svitovyi-rynok-zerna-1.pdf>
2. Gidaspow, D. (1994). *Multiphase flow and fluidization: Continuum and kinetic theory descriptions*. Boston: Academic Press Inc., 211. doi: <http://doi.org/10.1016/c2009-0-21244-x>
3. Huilin, L., Yongli, S., Yang, L., Yurong, H., Bouillard, J. (2001). Numerical Simulations of Hydrodynamic Behaviour in Spouted Beds. *Chemical Engineering Research and Design*, 79 (5), 593–599. doi: <http://doi.org/10.1205/02638760152424370>
4. Kunii, D., Levenspiel, O. (1991). *Fluidization Engineering*. Butterworth-Heinemann, 491.
5. Perevezennia vantazhiv avtomobilnym transportom za vydamy vantazhiv za 2019 rik. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/tr/pv\\_avt/pv\\_avt\\_u/pv\\_avt12m19\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/tr/pv_avt/pv_avt_u/pv_avt12m19_u.htm)
6. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>
7. Hrechka, O. V. (2015). *Statystychnyi analiz rynku posluh avtomobilnoho transportu*. Kyiv, 20.
8. Iskovych-Lototskyi, R. D., Ivanchuk, Ya. V. (2008). Pidvyshchennia efektyvnosti rozvantazhennia materialiv pid diieiu periodychnykh udarnykh impulsiv. *Vibratsii v tekhnitsi i tekhnolohiiakh*, 2 (51), 8–11.
9. Opanasiuk, Ye. H., Beherskyi, D. B., Opanasiuk, O. Ye. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti rozvantazhuvannykh robit nezv'iaznykh budivelnnykh materialiv iz kuzoviv samoskydiv. *Naukovi notatky Mizhvuzivskiyi zbirnyk (za haluziamy znan «Tekhnichni nauky»)*, 62, 167–171.
10. Iskovich-Lototskiy, R. D., Matveev, I. B., Krat, V. A. (1982). *Mashyny vibratsionnogo i vibroudarnogo deystviya*. Kyiv: Tekhnika, 35–87.
11. Poturaev, V. N., Franchuk, V. P., Chervonenko, A. G. (1964). *Vibratsionnye transportiruyushchie mashiny*. Moscow: Mashinostroenie, 222.
12. Opanasiuk, Ye. H., Fesiuk, S. O. (2019). Doslidzhennia vplyvu vibrodii na sypki produkty roslinnyystva na enerhoiemnist rozvantazhuvannya avtomobiliv-samoskydiv. *Transportni tekhnolohii*. Zhytomyr, 238.

## MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237151

### RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A WORKPIECE UNDER THE DOUBLE BENDING BY THE PULSE LOADING

pages 31–36

**Sergii Shlyk**, PhD, Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9422-1637>, e-mail: svshlyk@gmail.com

**Volodymyr Drahobetskyi**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Manufacturing Engineering, Kre-

menchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9637-3079>, e-mail: kafedra.tehmash@gmail.com

**Alexander Shapoval**, PhD, Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4303-7124>, e-mail: alexshap.as@gmail.com

**Dmytro Savielov**, PhD, Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5170-9621>, e-mail: dusavelov@gmail.com

**Elena Naumova**, Assistant, Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7733-5971>, e-mail: [kafedra.tehmash@gmail.com](mailto:kafedra.tehmash@gmail.com)

**Denys Bondar**, Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3249-6376>, e-mail: [bondar.denis.vladimirovich@gmail.com](mailto:bondar.denis.vladimirovich@gmail.com)

The object of research is the technology of metal processing by high-speed and high-energy methods, plastic deformation of layered metal compositions. Theoretical studies are based on the main provisions of the theory of joining metals in the solid phase, the theory of plasticity, explosion welding technology, plastic deformation of layered metal compositions, and their heat treatment.

The main problem of creating layered metal compositions using explosion energy, including wear and corrosion resistant, electrical, materials with high ballistic resistance, etc., is that they have not yet taken their rightful place in the range of modern structural and functional materials. This can be explained by the limited application of this process, as well as the lagging behind the theory and experimental base in the field of joining various metals in the solid phase and providing the necessary performance properties according to the needs of modern industry.

The process of deformation of the cladding blank during the explosion welding is considered. The process of the workpiece collision is considered in three stages: the movement of the element of the cladding workpiece before the collision, its inertial movement and deformation. The equations of motion and equilibrium of the elements of the workpiece are described. A joint solution of the equations of plasticity and equilibrium of the blank element in the double inflection zone is presented.

The work is devoted to solving the problem of increasing the level of production and economic indicators of the manufacture of layered metal compositions through the development of methods for calculating and optimizing the technological parameters. Explosion welding, as the most versatile, promising, and economical method, which still has many possibilities for the application of mathematical modeling and process optimization, has been investigated for the production and subsequent processing of the main groups of industrial metal compositions. This makes it possible to solve the problem of replacing traditional materials with layered metal compositions.

The results obtained are important from the point of view of the application of cost-effective materials with high mechanical, operational, and technological properties.

**Keywords:** double deformation, workpiece reverse bending, explosion welding, explosion cladding, bimetallic composition, welded cladding.

## References

- Bataev, I. A., Tanaka, S., Zhou, Q., Lazurenko, D. V., Junior, A. M. J., Bataev, A. A. et al. (2019). Towards better understanding of explosive welding by combination of numerical simulation and experimental study. *Materials & Design*, 169, 107649. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107649>
- Srivastava, S., Sherpa, B. B., Singh, G., Singh, P. J., Upadhyay, A., Srivastava, N. (2017). Numerical simulation of explosive welded steel with aluminum using Autodyn 2D. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4 (5), 1378–1382.
- Li, Y., Liu, C., Yu, H., Zhao, F., Wu, Z. (2017). Numerical Simulation of Ti/Al Bimetal Composite Fabricated by Explosive Welding. *Metals*, 7 (10), 407. doi: <http://doi.org/10.3390/met7100407>
- Clegg, R., Sheridan, J., Hayhurst, C., Francis, N. (2017). The application of SPH techniques in AUTODYN-2D to kinetic energy penetrator impacts on multi-layered soil and concrete targets. *8th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/267998522\\_The\\_application\\_of\\_SPH\\_techniques\\_in\\_AUTODYN-2D\\_to\\_kinetic\\_energy\\_penetrator\\_impacts\\_on\\_multi-layered\\_soil\\_and\\_concrete\\_targets](https://www.researchgate.net/publication/267998522_The_application_of_SPH_techniques_in_AUTODYN-2D_to_kinetic_energy_penetrator_impacts_on_multi-layered_soil_and_concrete_targets)
- Dragobetskii, V., Shapoval, A., Naumova, O., Shlyk S., Mospan, D., Sikulskiy, V. (2017). The Technology of Production of a Copper – Aluminum – Copper Composite to Produce Current Lead Buses of the High – Voltage Plants. *IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems*, 400–403. Available at: <http://doi.org/10.1109/mees.2017.8248944>
- Dragobetskii, V., Zagirnyak, V., Shlyk, S., Shapoval, A., Naumova, O. (2019). Application of explosion treatment methods for production Items of powder materials. *Przeglad Elektrotechniczny*, 95 (5), 39–42. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.05.10>
- Ogorodnikov, V. A., Dereven'ko, I. A., Sivak, R. I. (2018). On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading. *Materials Science*, 54 (3), 326–332. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-018-0188-x>
- Ogorodnikov, V. A., Savchinskij, I. G., Nakhajchuk, O. V. (2004). Stressed-strained state during forming the internal slot section by mandrel reduction. *Tyazheloe Mashinostroenie*, 12, 31–33.
- Hoseini Athar, M. M., Tolaminejad, B. (2015). Weldability window and the effect of interface morphology on the properties of Al/Cu/Al laminated composites fabricated by explosive welding. *Materials & Design*, 86, 516–525. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.114>
- Del, G. D., Ogorodnikov, V. A., Nakhaychuk, V. G. (1974). Kriteriy deformiruемости metallov pri obrabotke davleniem. *Izv. vuzov. Mashinostroenie*, 12, 22–24.
- Ogorodnikov, V. A., Grechanyuk, N. S., Gubanov, A. V. (2018). Energy Criterion of the Reliability of Structural Elements in Vehicles. *Materials Science*, 53 (5), 645–650. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-018-0119-x>
- Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S., Shapoval, A. (2018). Method of Determination of Technological Durability of Plastically Deformed Sheet Parts of Vehicles. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 92–99. doi: <http://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19558>
- Zareie Rajani, H. R., Akbari Mousavi, S. A. A. (2012). The effect of explosive welding parameters on metallurgical and mechanical interfacial features of Inconel 625/plain carbon steel bimetal plate. *Materials Science and Engineering: A*, 556, 454–464. doi: <http://doi.org/10.1016/j.msea.2012.07.012>
- Del', G. D., Ogorodnikov, V. A., Spiridonov, L. K. (1974). Plasticity of metal subjected to complex loading. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Mashinostroenie*, 12, 22–26.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237250

## STUDY OF TITANIUM OXIDATION KINETICS AT TEMPERATURE ABOVE POLYMORPHIC TRANSFORMATION

pages 37–41

**Vasyl Trush**, PhD, Department of Materials Science of Surface Engineering, Karpenko Physico-Mechanical Institute of

the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: trushvasyi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2264-3918>

**Alexander Luk'yanenko**, PhD, Department of Materials Science of Surface Engineering, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: AGNSLukyanenko@I.UA, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-2300>

**Viktor Fedirko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Materials Science of Surface Engineering, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: fedirko@ipm.lviv.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4337-1691>

The object of research is the analytical description of the phenomena in the near-surface layer, which are caused by the interaction of titanium with oxygen at high temperatures. These are temperatures that exceed the polymorphic transformation of the metal. High-temperature oxidation gives titanium products unique performance properties. Of course, such characteristics are determined, first of all, by the state of the near-surface layer. Therefore, an understanding of oxidation processes will make it possible to predict the state of the near-surface layer after heat treatment. However, to date, no unified approach has been created to describe the mechanism and kinetics of high-temperature oxidation of titanium in the near-surface layer. Indeed, most of the existing approaches make it possible to predict the nature of oxidation in the bulk of the metal. Some scientific papers describe the kinetics of oxidation, taking into account only the formation and growth of oxide layers. However, simultaneously with oxide formation, a diffusion zone is formed, which significantly affects the kinetics. Therefore, today one of the most problematic areas of high-temperature titanium oxidation is the description of the processes that take place in the near-surface layer.

In this work, to describe the kinetics of high-temperature oxidation of titanium, in addition to the formation and growth of the oxide layer, the formation and growth of the diffusion zone is taken into account. In the diffusion zone, under the influence of structural phase transformations, solid solutions of oxygen are formed in the alpha and beta phases. This approach made it possible to take into account additional factors and thereby more accurately describe the processes of high-temperature oxidation of titanium. As a result of the calculations, the thickness of the oxide layer of the diffusion zone is given depending on the oxygen concentration and the duration of treatment. And also the dependences of the kinetics of displacement of the boundary of the

oxide-diffusion layer are given and a system of equations for calculating the ratio of the formed phase components is developed. Thanks to the proposed analytical approach, it will be possible to calculate the sizes of interphase boundaries on the basis of temperature-time parameters and oxygen concentration and thereby form a hardened near-surface layer with certain functional properties.

**Keywords:** oxygen diffusion in titanium, high-temperature oxidation of titanium, kinetics of displacement of interphase boundaries.

### References

- Lutjering, G., Williams, J. C. (2007). *Titanium*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 442. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-540-73036-1>
- Moiseyev, V. N. (2006). *Titanium Alloys. Russian aircraft and aerospace applications*. London-New York-Singapore: Taylor & Francis Group, 207.
- Hideki, F., Kazuhiro, T., Yoshito, Y. (2003). Application of titanium and its alloys for automobile parts. *Nippon Steel Technical Report*, 88, 70–75.
- Dong, H., Li, X. Y. (2000). Oxygen boost diffusion for the deep-case hardening of titanium alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 280 (2), 303–310. doi: [http://doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00697-8](http://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00697-8)
- Guleryuz, H., Cimenoglu, H. (2005). Surface modification of a Ti-6Al-4V alloy by thermal oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 192 (2-3), 164–170. doi: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.05.018>
- Ebrahimi, A. R., Zarei, F., Khosroshahi, R. A. (2008). Effect of thermal oxidation process on fatigue behavior of Ti-4Al-2V alloy. *Surface and Coatings Technology*, 203 (3-4), 199–203. doi: <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.08.038>
- Pohrelyuk, I. M., Sheykin, S. E., Dub, S. M., Mamalis, A. G., Rostotskii, I. Y., Tkachuk, O. V., Lavrys, S. M. (2016). Increasing of functionality of c.p. titanium/UHMWPE tribo-pairs by thermodiffusion nitriding of titanium component. *Biotribology*, 7, 38–45. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biotri.2016.08.002>
- Yaskiv, O. I. (2008). Surface hardening of titanium by noncontact thermodiffusion carbonitriding. *Materials Science*, 44 (5), 659–664. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-009-9135-1>
- Malinov, S., Zhecheva, A., Sha, W. (2003). *Modelling the nitriding in titanium alloys*. ASM International: Materials Park, 344–352.
- Fedirko, V. M., Luk'yanenko, O. H., Trush, V. S. (2014). Influence of the Diffusion Saturation with Oxygen on the Durability and Long-Term Static Strength of Titanium Alloys. *Materials Science*, 50 (3), 415–420. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-014-9735-2>
- Oshida, Y. (2007). *Bioscience and bioengineering of titanium materials*. Elsevier, 430. doi: <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-045142-8.X5000-2>

## ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237273

### ERRORS CLASSIFICATION METHOD FOR ELECTRIC MOTOR TORQUE MEASUREMENT

pages 42–48

**Mykola Kulyk**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, National

Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: aki@nau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-4006>

**Volodymyr Kvasnikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Metrologist of Ukraine, Department of Computerized Electrical Systems and Technologies, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: kvp@nau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

**Dmytro Kvashuk**, PhD, Associate Professor, Department of Economic Cybernetics, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: dmytro.kvashuk@npp.nau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4591-8881>

**Anatolii Beridze-Stakhovskiy**, Economist, Real Sector Risk Analysis Division of the Financial Stability Department, National Bank of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: 2796109@stud.nau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3963-5420>

The use of high-precision measuring instruments for determining the torque of electric motors in such areas as medicine, motor transport, shipping, aviation requires the improvement of the metrological characteristics of measuring instruments. This, in turn, requires an accurate assessment of their error. Of particular importance is the measurement of power at high-speed installations, where in some cases conventional measurement systems are either unsuitable or have low accuracy.

Thus, the use of high-speed turbomachines in aviation, transport, and rocketry creates an urgent need for the development of high-quality measuring instruments for conducting precise research. In turn, in the absence of means for accurately determining the error, attempts are made to predict them. This makes it possible to timely identify the influence of many factors on the accuracy of measuring instruments.

The increase in the error arises, as a rule, through abrupt changes in the measurement conditions. Such errors are unpredictable, and their significance is difficult to predict.

In the course of the study, the K-nearest neighbors method was used, to establish criteria for which a gross error may occur.

The results obtained make it possible to establish threshold values at which the maximum deviation can be established under various conditions of the experiment. In a computational experiment using the K-nearest neighbors method, the following factors were investigated: vibration; temperature rise of measuring sensors; instabilities in the supply voltage of the electric motor, which affect the accuracy of the strain gauge and frequency converter. As a result, the maximum errors were obtained depending on the indicated influence factors.

It has been experimentally confirmed that the K-nearest neighbors method can be used to classify deviations of the nominal value of the error of measuring instruments under various measurement conditions. A metrological stand has

been developed for the experiment. It includes a strain gauge sensor for measuring torque and a photosensitive sensor for measuring the speed of the electric motor. Signal conversion from these sensors is implemented on the basis of the ESP8266 microcontroller.

**Keywords:** error of measuring devices, K-nearest neighbors method, electric motor torque, error estimation tools, data sampling.

#### References

1. Ďado, S., Kreidl, M. (1996). *SENZORY a měřicí obvody*. Praha, 315.
2. Popelka, J., Scholz, C. (2018). Measuring the Torque of a Combustion Engine. *MATEC Web of Conferences*, 220, 03006. doi: <http://doi.org/10.1051/mateconf/201822003006>
3. Decner, A., Iskierski, L. (2015). Torque measurement in industrial conditions. *Napędy i Sterowanie*, 7/8, 139–143.
4. Golovanov, V. I., Danilina, E. I., Dvorzhina, Yu. S. (2010). Prognozovanie metrologicheskikh kharakteristik v titrimetrii s ispolzovaniem metoda Monte-Karlo. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya*, 11 (187), 27–33.
5. Vapnik, V. N. (1979). *Vosstanovlenie zavisimostei po iempiricheskim dannym*. Moscow: Nauka, 448.
6. Kropotov, V. A. (2000). Approksimatsiya krivyykh potentsiometricheskogo titrovaniya logarifmicheskimi zavisimostyami. Prognozirovanie sluchaynykh pogreshnostey parametrov titrovaniya. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 55 (5), 500–504.
7. Maryanov, B. M., Zarubin, A. G., Shumar, S. V. (2003). Statisticheskii analiz dannykh differentsirovannogo potentsiometricheskogo osaditelnogo titrovaniya trekh geterovalentnykh ionov s pomoschyu lineynykh kharakteristik. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 58 (11), 1126–1132.
8. Koroteev, M. (2018). Review of some contemporary trends in machine learning technology. *E-Management*, 1 (1), 26–35. doi: <http://doi.org/10.26425/2658-3445-2018-1-26-35>
9. Amelin, S. A., Amelina, M. A., Kiselev, K. O., Frolkov, O. A. (2017). Application of methods of machine training for automated construction of SPICE models of power mosfet instruments. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 11-4 (65), 11–16.
10. Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., Stein, C. (2009). *Introduction to algorithms*. The MIT Press, 1320.
11. Gonçalves, T. E. E., Alencar, L. H. (2014). A supplier selection model based on classifying its strategic impact for a company's business results. *Pesquisa Operacional*, 34 (2), 347–369. doi: <http://doi.org/10.1590/0101-7438.2014.034.02.0347>

## TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237173

### ANALYSIS OF TEST RESULTS OF A HOUSEHOLD ABSORPTION REFRIGERATING APPLIANCE ON AN ELECTRIC AND GAS SOURCE OF THERMAL ENERGY

pages 49–53

**Daniyorbek Adambayev**, Postgraduate Student, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: adambayev90@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5909-3278>

**Oleksandr Titlov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and

Heat Power Engineering, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: titlov1959@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

One of the biggest challenges for refrigeration systems is their conversion to environmentally friendly refrigerants. This attracts the attention of developers of household refrigeration equipment to absorption refrigeration devices (ARD), which include an absorption refrigeration unit (ARU). ARD working fluid consists of natural components – ammonia water solution with the addition of an inert gas (hydrogen). Therefore, the use of ARU can be considered as one of the options for transferring to environmentally friendly refrigerants. In recent years, in connection with the rapidly developing

gasification of the population of Europe, an alternative has arisen – the operation of household ARD on natural gas. Natural gas can become an alternative to electrical energy in stationary operating conditions of household refrigeration appliances. Thus, the object of the study was a single-chamber household refrigerator with a low-temperature compartment «Kiev-410» (Ukraine).

In this paper, the study is aimed at comparing the thermal modes of operation and the costs of operating a household ARD on electric energy and natural gas. To solve this, it was necessary to determine the temperatures at the characteristic points of the refrigeration apparatus and in the chamber, as well as the energy consumption of the absorption-type apparatus in accordance with regulatory documents, at various values of the thermal load on the thermosyphon and various ambient temperatures.

The studies were carried out at elevated outdoor temperatures: 28–33 °C. The range of thermal loads on the ARU thermosyphon electric heater was 50–130 W. The range of numerical values of natural gas consumption in the burner was  $(2.8–8.8) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ . In the process of conducting experimental studies of household ARD, results were obtained showing the economic prospects of working in stationary conditions on natural gas.

At the same time, ARD of increased useful volume (200 dm<sup>3</sup> and above) has the greatest prospects. The daily operating costs in them are 0.078...0.084 USD, which is 23...27 % lower than the case of using electricity. When the ARU thermosyphon is built into the heating and hot water supply system, it becomes possible to use the temperature potential of the waste products of combustion and completely eliminate operating costs.

**Keywords:** refrigeration equipment, absorption refrigeration unit, environmentally friendly refrigerants, heat recovery.

#### Reference

- Srikhirin, P., Aphornratana, S. (2002). Investigation of a diffusion absorption refrigerator. *Applied Thermal Engineering*, 22 (11), 1181–1193. doi: [http://doi.org/10.1016/s1359-4311\(02\)00049-2](http://doi.org/10.1016/s1359-4311(02)00049-2)
- Natural Refrigerants. Available at: [https://www.linde-gas.com/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/natural\\_refrigerants/index.html](https://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/index.html)
- Gutiérrez, F. (1988). Behavior of a household absorption-diffusion refrigerator adapted to autonomous solar operation. *Solar Energy*, 40 (1), 17–23. doi: [http://doi.org/10.1016/0038-092x\(88\)90067-9](http://doi.org/10.1016/0038-092x(88)90067-9)
- Dincer, I., Ratlamwala, T. A. H. (2016). Developments in Absorption Refrigeration Systems. *Green Energy and Technology*, 241–257. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-319-33658-9\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-319-33658-9_8)
- Titlov, A. S. (2007). Sovremenniy uroven razrabotok i proizvodstva bytovykh absorbtionnykh kholodilnykh priborov. *Kholodilnyy biznes*, 8, 12–17.
- Starace, G., De Pascalis, L. (2013). An enhanced model for the design of Diffusion Absorption Refrigerators. *International Journal of Refrigeration*, 36 (5), 1495–1503. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.02.016>
- Yildiz, A. (2016). Thermoeconomic analysis of diffusion absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 99, 23–31. doi: <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.01.041>
- Moroziuk, L. I. (2014). Development and improvement of the heat using refrigerating machines. *Refrigeration Engineering and Technology*, 50 (5). doi: <http://doi.org/10.15673/0453-8307.5.2014.28695>
- Ersöz, M. A. (2015). Investigation the effects of different heat inputs supplied to the generator on the energy performance in diffusion absorption refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, 54, 10–21. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.02.013>
- Khomenko, N. F., Olifer, G. M., Titlov, A. S. (1997). Pat. No. 19328 UA. *Absorbtionnyy kholodilnik*. MPK: F25 B15/10. No. 95321331, declared: 03.04.91; published: 25.12.97, Bul. No. 6.
- DSTU 2295-93 (HOST 16317-95 ISO 5155-83, ISO 7371-85, IEC 335-2-24-84). *Prylady kholodylni elektrychni pobutovi*. Zahalni tekhnichni umovy. Vzamen HOST 16317-87; Vved. 20.07.95 (1996). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 35.
- DSTU 3023-95 (HOST 30204-95, ISO 5155-83, ISO 7371-85, ISO 8187-91). *Prylady kholodylni pobutovi*. Eksploatatsiini kharakterystyky ta metody vyprobuvan. Vvedeno vperше 20.07.95 (1996). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 22.
- Sözen, A., Menlik, T., Özbaş, E. (2012). The effect of ejector on the performance of diffusion absorption refrigeration systems: An experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 33-34, 44–53. doi: <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.09.009>
- Fernández-Seara, J., Vázquez, M. (2001). Study and control of the optimal generation temperature in NH<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O absorption refrigeration systems. *Applied Thermal Engineering*, 21 (3), 343–357. doi: [http://doi.org/10.1016/s1359-4311\(00\)00047-8](http://doi.org/10.1016/s1359-4311(00)00047-8)
- NAFTOHAZ hrupa. Available at: <https://www.naftogaz.com/www/3/nakwebu.nsf/0/05A0E3BBAE4ED6BFC2257AD3004F2656>
- Titlova, O. A., Titlov, A. S. (2011). Analiz vliyaniya teplovy moschnosti, podvodimoy v generatore absorbtionnogo kholodilnogo agregata, na rezhimy raboty i energeticheskuyu effektivnost absorbtionnogo kholodilnogo pribora. *Naukovi pratsi ONAKHT*, 1 (39), 148–154.
- Ocheretyaniy, Yu. A. (2007). Rezultaty ispytaniy transportnogo absorbtionnogo kholodilnika s gorelochnym ustroystvom. *Kholodilna tekhnika i tekhnologiya*, 2, 34–37.
- Ocheretyaniy, Yu. A., Titlov, A. S., Zakharov, N. D. (2007). Sravnitelnyy analiz energopotrebleniya bytovykh absorbtionnykh kholodilnikov razlichnogo naznacheniya. *Kholodilna tekhnika i tekhnologiya*, 1, 29–32.
- Babakin, B. S., Vygodin, V. A. (2005). *Bytovye kholodilniki i morozilniki*. Ryazan: Uzoreche, 860.
- Temperatura gorennya prirodno gaza v kotle. Available at: <https://teplotidromash.ru/stati/temperatura-gorennya-prirodno-gaza-v-kotle.html>
- Temperatura gorennya gaza v gazovoy plite. Available at: <https://stroy-podskazka.ru/plity-kuhnya/gazovye-plity/temperatura-gorennya/>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237171

#### DEVELOPMENT OF MARINE GAS HYDRATE DEPOSITS WITH ALTERNATIVE USE OF THE POTENTIAL OF THE GAS TRANSPORT SYSTEM ON THE EXAMPLE OF UKRAINE

pages 54–57

*Sergiy Oveckiy, PhD, Associate Professor, Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3804-8638>, e-mail: [serhii.ovetskiy@nung.edu.ua](mailto:serhii.ovetskiy@nung.edu.ua)*

*Yurii Melnychenko, PhD, Associate Professor, Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5857-7203>, e-mail: [yurii.melnychenko@nung.edu.ua](mailto:yurii.melnychenko@nung.edu.ua)*



-----  
**Lesia Moroz**, PhD, Associate Professor, Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5183-4940>, e-mail: [mlb81@ukr.net](mailto:mlb81@ukr.net)  
 -----

**Yaroslav Yakymchko**, PhD, Associate Professor, Department of Petroleum Production, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4406-0094>, e-mail: [jarykjj@ukr.net](mailto:jarykjj@ukr.net)

The object of research is the use of a pipeline system for the production of methane and utilization of carbon dioxide. One of the most problematic areas in this scheme is the substantiation of the effectiveness and the possibility of using the existing pipeline system of countries that are gradually moving towards carbon neutrality of the economy based on the principles of sustainable development. In this case, these principles are implemented through the consumer's access to clean energy by burning gas obtained from offshore hydrate fields at thermal power plants with the simultaneous utilization of carbon dioxide.

In the course of the study, the methods of mathematical modelling of the development of offshore gas hydrate fields were used, which were developed earlier in the study of methane production from hydrate deposits by the replacement method. Comparison of the block diagram of the development of offshore gas hydrate fields using the existing pipeline system by means of logical analysis made it possible to establish not only the economic, but also the environmental effect.

Data have been obtained that the gas transmission system, provided that carbon dioxide is transported, can be effectively used at various stages of the development of offshore gas hydrate fields. This is due to the fact that the proposed development block diagram has a number of design features, in particular, the possibilities of using the gas transmission system at the stage of development, production and decommissioning of wells are taken into account.

This makes it possible to efficiently use carbon dioxide transported from power plants using the existing transport system to the development site of offshore hydrate deposits. Compared with similar known methods of carbon dioxide utilization, this provides the following advantages: alternative use of the existing pipeline system for the purpose of greening the technology of methane production from offshore hydrate deposits.

The principles considered in the work make it possible to dispose carbon dioxide in the form of a hydrate under the seabed. The achieved economic effect can be considered as income received from the sale of electricity produced at power plants, and quite obvious environmental effect.

**Keywords:** development of offshore hydrate deposits, greening of natural gas production technology, utilization of carbon dioxide.

#### References

- Hickey, C., Deane, P., McInerney, C., Ó Gallachóir, B. (2019). Is there a future for the gas network in a low carbon energy system? *Energy Policy*, 126, 480–493. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.024>
- Dodds, P. E., McDowall, W. (2013). The future of the UK gas network. *Energy Policy*, 60, 305–316. doi: <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.030>
- Singlitico, A., Goggins, J., Monaghan, R. F. D. (2019). The role of life cycle assessment in the sustainable transition to a decarbonised gas network through green gas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 16–28. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.040>
- Feijoo, F., Iyer, G. C., Avraam, C., Siddiqui, S. A., Clarke, L. E., Sankaranarayanan, S. et. al. (2018). The future of natural gas infrastructure development in the United states. *Applied Energy*, 228, 149–166. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.037>
- Odetayo, B., Kazemi, M., MacCormack, J., Rosehart, W. D., Zareipour, H., Seifi, A. R. (2018). A Chance Constrained Programming Approach to the Integrated Planning of Electric Power Generation, Natural Gas Network and Storage. *IEEE Transactions on Power Systems*, 33 (6), 6883–6893. doi: <http://doi.org/10.1109/tpwrs.2018.2833465>
- White, M. (2020). Nord Stream 2 spells pain for Ukraine. *Global Trade Review*, 18 (1). Available at: <https://www.gtreview.com/magazine/volume-18-issue-1/nord-stream-2-spells-pain-ukraine/>
- Lu, H., Ma, X., Huang, K., Fu, L., Azimi, M. (2020). Carbon dioxide transport via pipelines: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121994. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121994>
- Zheng, S., Li, H., Yang, D. (2013). Pressure maintenance and improving oil recovery with immiscible CO<sub>2</sub> injection in thin heavy oil reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 112, 139–152. doi: <http://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.10.020>
- Pandey, J., Solms, N. (2019). Hydrate Stability and Methane Recovery from Gas Hydrate through CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> Replacement in Different Mass Transfer Scenarios. *Energies*, 12 (12), 2309. doi: <http://doi.org/10.3390/en12122309>
- Ovetska, O., Ovetskyi, S., Vytiaz, O. (2021). Conceptual principles of project management for development of hydrate and other unconventional gas fields as a component of energy security of Ukraine. *Gas Hydrate Technologies: Global Trends, Challenges and Horizons*. Dnipro, 230, 01021. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001021>
- Oveckiy, S., Savchuk, V. (2016). A method developed to increase technological and ecological efficiency of gas production from hydrate deposits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (81)), 41–47. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72545>
- Shnyukov, E. F., Kobolev, V. P., Pasyukov, A. A.; Gozhik, P. F. (Ed.) (2013). *Gazoviy vulkanizm Chernogo moriya*. Kiyv: Logos, 383.
- Andrews, J. W. (2020). Hydrogen production and carbon sequestration by steam methane reforming and fracking with carbon dioxide. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (16), 9279–9284. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.01.231>
- Poznachennia na konturnii karti Ukrainy naibilshykh elektrostantsii ta poiasnennia chynnykiv yikh rozmishchennia*. Na Urok. Available at: <https://naurok.com.ua/test/praktichna-robota-5-poznachennya-na-konturniy-karti-ukra-ni-naybilshih-elektrostanciy-ta-poyasnennya-chinnikiv-h-rozmishchennya-707205.html>
- Hazotransportna systema Ukrainy*. Vikipediia. Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Газотранспортна\\_система\\_України](https://uk.wikipedia.org/wiki/Газотранспортна_система_України)
- Kumazawa, R., Callaghan, M. S. (2010). The effect of the Kyoto Protocol on carbon dioxide emissions. *Journal of Economics and Finance*, 36 (1), 201–210. doi: <http://doi.org/10.1007/s12197-010-9164-5>



## MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237326

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ МАНІПУЛЯТОРА РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ, ПОБУДОВАНОГО НА БАЗІ ЦИКЛОЇДАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ сторінки 6–14

Стругинський С. В., Семенчук Р. В.

Об'єктом дослідження є сучасні роботизовані комплекси, що використовуються у гарячих точках. У своєму арсеналі такі мобільні роботи оснащуються маніпуляторами з високоточними шарнірами, які забезпечують точне позиціонування захвату (об'єкту маніпулювання). Розглядаючи наземні роботизовані комплекси, що мають колісну або гусеничну базу, здійснення процесу маніпулювання при нерухомій основі було виявлено ряд проблемних місць, що впливають на точність позиціонування.

В ході дослідження та аналізу сучасних роботизованих комплексів, їх схемного та конструктивного виконання вузлів та механізмів забезпечуються необхідні якості та параметри. Проблема розроблення високоточних шарнірів є основною при створенні ефективних наземних роботизованих комплексів. Викладено методологію кінематичного дослідження поворотних шарнірів маніпулятора для наземного роботизованого комплексу. Проведено аналіз впливу деформацій матеріалу робочих коліс не евольвентної передачі на точність позиціонування кінцевого предмету. Проведено кінетостатичний аналіз схеми маніпулятора та визначено максимальні моменти, що діють у шарнірних вузлах на привідну установку, що дало змогу зробити кількісну оцінку за допомогою програмного комплексу Solidworks.

Досліджено та розроблено математичну модель побудови передачі та визначення точності поворотного вузла для наземного роботизованого комплексу, з використанням циклоїдальної передачі без проміжних тіл кочення. Математичне моделювання та врахування особливостей механічних процесів, що протікають у маніпуляторі, дозволяє підвищити технічний рівень роботизованих комплексів.

Визначено шляхи вдосконалення для забезпечення прогресивної конструкції маніпулятора, що не тільки задовольнить необхідні технічні характеристики, а і дозволить спростити технологію виготовлення.

Сучасні технології та матеріали (стереолітографія, вуглеволокно, надтверді матеріали) дають можливість реалізувати прогресивні конструкції просторових систем приводів. Тому роботи в даному напрямку є актуальними, оскільки роботомеханічні комплекси спеціального призначення широко використовуються при виконанні робіт в надзвичайних ситуаціях.

**Ключові слова:** маніпулятори з високоточними шарнірами, поворотний вузол, напружено-деформований стан циклоїдальної передачі, високоточний шарнір.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237539

### УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСА ЕКСТРУДЕРА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЕКСТРУДУВАННЯ сторінки 15–19

Казак І. О.

У статті висвітлено один з способів удосконалення конструкції корпусу екструдера з метою підвищення надійності і одночасно якості екструдуювання. Об'єктом дослідження є одночерв'ячний екструдер. Одним з найбільш проблемних місць екструдера є корпус. Основним недоліком екструдера є знос поверхонь корпусу через корозію або стирання і вимагає регулярної заміни. Це відбувається через абразивні властивості полімерів і відповідно через тертя полімерного матеріалу о корпус і черв'як особливо з-за забруднень в матеріалі вторинного використання. У різноманітних джерелах про заміну черв'яка екструдера на більш досконалу конструкцію висвітлюється достатньо широко. А удосконалення корпусу екструдера приділяється недостатньо уваги науковцями, що свідчить про актуальність цього дослідження. Саме тому проблема підвищення надійності корпусу екструдера є неповністю вирішеною і актуальною. В ході дослідження використовувалися аналіз особливостей конструкцій корпусу екструдера, літературно-патентний огляд існуючих способів удосконалення корпусу одночерв'ячного екструдера для підвищення надійності та одночасно якості екструдуювання. В результаті літературно-патентного огляду обрано варіант удосконалення корпусу екструдера на основі прототипу роз'ємного корпусу, який додатково містить внутрішню поверхню з сталевих оребрених пластин. Отримано, що виконане оребрення пластин на внутрішній поверхні корпусу підвищує зносостійкість корпусу та сприяє більш інтенсивному просуванню полімерного використовуваного матеріалу до голівки екструдера. Це пов'язано з тим, що запропонований удосконалений корпус екструдера має ряд особливостей: жорстко закріплені всередині його сталеві оребрені пластини встановлені з перекриттям лінії роз'єму корпусу екструдера. Завдяки цьому забезпечується можливість підвищити зносостійкість і відповідно надійність корпусу екструдера та додатково якість екструдуювання. У порівнянні з відомими цільними конструкціями корпусу екструдера виконання корпусу роз'ємним зі сталевими жорстко встановленими оребреними пластинами на внутрішній поверхні забезпечить спрощення обслуговування при ремонтах та одночасно підвищить якість екструдуювання.

**Ключові слова:** екструдер, удосконалення корпусу екструдера, оребрення пластин, якість екструдуювання, знос корпусу екструдера, черв'як екструдера.

## MECHANICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237296

### ОЦІНКА ПОХИБКИ СПРОЩЕНОГО АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ ФУНКЦІЙ ПРОГИНІВ ДЕФОРМОВАНИХ РАМ КУЗОВІВ РУХОМОГО СКЛАДУ сторінки 20–24

Горобець Є. В.

Дослідження спрямовано на оцінку розміру похибки, що виникає при обробці результатів обстеження геометричних характеристик несучих конструкцій одиниць рухомого складу алгоритмом без застосування тригонометричних функцій. Об'єктом дослідження є метод спрощеного вирівнювання функції прогинів балок рам кузовів рухомого складу до горизонтальної площини. Одним

з найбільш проблемних місць є відсутність розуміння деякими замовниками робіт з обстеження рухомого складу можливості використання даного алгоритму через відсутність інформації щодо похибок, які виникають при спрощеному розрахунку.

Дослідження проводилося шляхом порівняння результатів обробки двома методами початкових даних, отриманих під час проведення роботи з обстеження стану несучих конструкцій одиниці маневрового тепловоза ТГМ6А. Один метод, алгоритм якого є предметом дослідження, передбачає відсутність використання складних розрахунків під час обробки даних. Другий метод передбачає застосування алгоритму вирівнювання функцій прогинів балок рами кузова одиниці рухомого складу залізниці в горизонтальній площині з урахуванням всіх засобів тригонометрії, що вилучить супутні похибки розрахунків спрощеного методу.

Після обробки початкових даних були отримані два набори результатів – з шуканою похибкою обчислення та без похибки. Порівняння цих наборів даних дозволило вилучити значення похибки для ухилу рами 5,7%. Для наочності розмір похибки був порівняний зі значеннями розширених невизначеностей основних джерел невизначеностей методики обстеження несучих конструкцій рухомого складу. На основі проведеного аналізу двох методів вирівнювання нахилу деформованої рами кузова рухомого складу в горизонтальній площині доведена доцільність такого підходу.

Отримані результати дозволяють обґрунтовано застосовувати спрощений підхід до обробки даних, отриманих під час обстеження геометричних характеристик одиниць рухомого складу. За необхідністю розроблену математичну модель можливо використовувати для підвищення точності розрахунку невизначеності вимірювань геометричних характеристик, а також для використання у дослідженні модифікації існуючої або розробки нових методик вимірювань.

**Ключові слова:** рухомий склад, обстеження рухомого складу, деформація рами кузова, геометричні характеристики, нівелір, похибка вимірювання.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237231

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗВАНТАЖЕННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ РОСЛИННИЦТВА ІЗ КУЗОВІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ** сторінки 25–30

**Опанасюк Е. Г., Бегерський Д. Б., Можаровський М. М., Вітюк І. В.**

Об'єктом дослідження є процес розвантажування сипких продуктів рослинництва з кузовів автомобілів-самоскидів. Предметом дослідження є залежність енергоємності розвантажування від властивостей продуктів під дією на них вібрації. Під цією залежністю розуміється зміна властивостей сипких продуктів, таких як внутрішнє тертя та кут природнього укусу, в бік зменшення, що забезпечує зменшення кута піднімання кузова. Одним з найбільш проблемних місць є відсутність об'єктивної інформації про залежності необхідних кутів піднімання кузова самоскида при розвантажуванні дрібнозернистих продуктів рослинництва під дією вібрації. Також надостатньо інформації про залежності цих кутів від частоти вібрації для кожного із продуктів.

В ході дослідження використовувався експериментальний метод визначення кутів природнього укусу для різних зернових культур без її під дією на опорну площину вібрацій різної частоти. Запропонована розробка дозволяє кількісно оцінити ступінь впливу вібрацій, їх частоту та час дії на фрикційні властивості сипких продуктів рослинництва. Експериментально визначені ступінь зниження внутрішнього тертя у названих продуктів рослинництва та максимальні кути підняття кузова, необхідні для його розвантажування, а також отримані чисельні дані про їх зменшення під дією вібрацій. Отримані результати дозволяють вважати її ефективним інструментом отримання об'єктивної інформації про вплив вібрацій на характеристики внутрішнього тертя сипких продуктів рослинництва. Це дозволило визначити ступінь впливу кута піднімання кузова самоскида при їх розвантажуванні та знизити при цьому витрати енергії. На відміну від існуючих способів, запропонована розробка дозволяє диференційовано визначити ці кути в залежності від частоти та часу дії вібрації, а також від конкретного продукту. Визначені параметри дають можливість їх регулювання з метою досягнення мінімальних витрат енергії.

**Ключові слова:** сипучі продукти рослинництва, внутрішнє тертя, кут природнього укусу, кут підняття кузова, автомобіль-самоскид, вантажно-розвантажувальні роботи.

## **MATERIALS SCIENCE**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237151

### **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПОДВІЙНОМУ ЗГІНІ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ** сторінки 31–36

**Шлик С. В., Драгобецький В. В., Шаповал О. О., Савєлов Д. В., Наумова О. О., Бондарь Д. В.**

Об'єктом дослідження є технології обробки металів високошвидкісними й високоенергетичними методами пластичного деформування шаруватих металевих композицій. Основу теоретичних досліджень складають основні положення теорії з'єднання металів у твердій фазі, теорії пластичності, технології плакування вибухом, пластичного деформування шаруватих металевих композицій, їх термічної обробки.

Основною проблемою створення шаруватих металевих композицій за допомогою енергії вибуху, в тому числі зносо- та корозійностійких, електротехнічних матеріалів з високою балістичною стійкістю тощо, є те, що вони до сих пір не зайняли належного місця в ряду сучасних конструкційних і функціональних матеріалів. Це можна пояснити обмеженим застосуванням цього процесу, а також відставанням теорії та бази експериментів в області з'єднання різних металів в твердій фазі та забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей згідно потреб сучасної промисловості.

У роботі розглянуто процес деформації облицювальної заготовки під час зварювання вибухом. Процес зіткнення заготовки розглянуто у трьох стадіях: переміщення елемента облицювальної заготовки до зіткнення, її інерційний рух та деформація. Описано рівняння руху та рівноваги елементів заготовки. Представлено спільне рішення рівнянь пластичності та рівноваги елемента заготовки в зоні подвійного перегину.

Робота дозволяє вирішити проблеми підвищення рівня виробничо-економічних показників виготовлення шаруватих металевих композицій за рахунок розвитку методів розрахунку та оптимізації технологічних параметрів. Плакування вибухом, як найбільш універсальний, перспективний та економічний метод, який має ще чимало можливостей для застосування математичного моделювання та оптимізації процесу, досліджене у роботі стосовно отримання та подальшої обробки основних груп промислових металевих композицій. Це дозволяє вирішити завдання заміни традиційних матеріалів шаруватими металевими композиціями.

Отримані результати важливі з точки зору застосування економічно ефективних матеріалів з високими механічними, експлуатаційними та технологічними властивостями.

**Ключові слова:** подвійна деформація, зворотній вигин заготовки, зварювання вибухом, плакування вибухом, біметалева композиція, зварне облицювання.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237250

### **ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ОКИСЛЕННЯ ТИТАНУ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ ВИЩЕ ПОЛІМОРФНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ** сторінки 37–41

**Труш В. С., Лук'яненко О. Г., Федірко В. М.**

Об'єктом досліджень є аналітичний опис явищ у приповерхневому шарі, що зумовлені взаємодією титану з киснем за високих температур. Це температури, що перевищують поліморфне перетворення металу. Високотемпературне окиснення надає титановим виробам унікальних експлуатаційних властивостей. Звісно, що такі характеристики визначаються, насамперед, станом приповерхневого шару. Тому розуміння процесів окиснення дозволить передбачати стан приповерхневого шару після термообробки. Однак на сьогодні не створено єдиного підходу щодо опису механізму та кінетики високотемпературного окиснення титану саме приповерхневого шару. Адаже, більшість існуючих підходів дають можливість прогнозувати характер окиснення в об'ємі металу. У деяких наукових роботах описано кінетику окиснення, беручи до уваги лише утворення та ріст оксидних шарів. Однак, одночасно з оксидуванням формується і дифузійна зона, що суттєво впливає на кінетику. Тому на сьогодні одним з найбільш проблемних місць високотемпературного окиснення титану є опис процесів, що відбувається у приповерхневому шарі.

У роботі для опису кінетики високотемпературного окиснення титану, окрім формування та росту оксидного шару враховано формування та ріст дифузійної зони. В останній, під дією структурно-фазових перетворень, формуються тверді розчини кисню в альфа- та бета-фазах. Такий підхід дозволив врахувати додаткові фактори і тим самим більш точно описати процеси високотемпературного окиснення титану. В результаті проведених розрахунків наведено товщини оксидного шару дифузійної зони залежно від концентрації кисню та тривалості обробки. А також наведено залежності кінетики переміщення границі оксидно-дифузійного шару та розроблено систему рівнянь для розрахунку співвідношення сформованих фазових складових. Завдяки запропонованому аналітичному підходу можна буде на основі температурно-часових показників та концентрації кисню розраховувати розміри міжфазних границь і тим самим формувати зміцнений приповерхневий шар з певними функціональними властивостями.

**Ключові слова:** дифузія кисню в титані, високотемпературне окиснення титану, кінетика переміщення міжфазних границь.

## **ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237273

### **МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ ПОХИБОК ПРИ ВИМІРЮВАННІ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ** сторінки 42–48

**Кулик М. С., Квасніков В. П., Квашук Д. М., Берідзе-Стаховський А. К.**

Застосування високоточних вимірюваних приладів для визначення обертового моменту електродвигунів в таких сферах, як медицина, автотранспорт, судноплавство, авіація, вимагає удосконалення метрологічних характеристик вимірювальних приладів. Це в свою чергу вимагає точного оцінювання їх похибки. Особливого значення набуває вимірювання потужності на високошвидкісних установках, де в ряді випадків звичайні системи вимірювання або непридатні, або мають невисоку точність.

Таким чином, застосування високошвидкісних турбомашин в авіації, на транспорті і в ракетній техніці викликає нагальну потребу в розробці високоякісних вимірювальних приладів для проведення точних досліджень. В свою чергу, за відсутності засобів точного встановлення похибки, здійснюються спроби їх прогнозування. Це дозволяє своєчасно виявити вплив багатьох факторів на точність вимірювальних приладів. Збільшення похибки виникає, як правило, через різкі зміни умов проведення вимірювань. Такі похибки непередбачувані, а їх значення складно прогнозувати.

В ході дослідження використовувався метод К-найближчих сусідів, для встановлення критеріїв, при яких може виникати груба похибка. Отримані результати дозволяють встановити порогові значення, при яких може бути встановлено максимальне відхилення за різних умов проведення експерименту. В обчислювальному експерименті, з використанням методу К-найближчих сусідів, досліджено вплив факторів вібрації, збільшення температури вимірювальних сенсорів та нестабільності напруги живлення на точність тензометричного та частотного перетворювача. В результаті отримано максимальні похибки в залежності від зазначеного фактору впливу. Експериментально підтверджено, що метод К-найближчих сусідів може бути використаний для класифікації відхилень номінального значення похибки вимірювальних приладів за різних умов вимірювання. Для проведення експерименту розроблено метрологічний стенд. Він включає в себе тензометричний сенсор для вимірювання обертового моменту та фото-чуттєвий сенсор, для вимірювання частоти обертання електродвигуна. Перетворення сигналів від зазначених сенсорів реалізовано на базі мікроконтролера ESP8266.

**Ключові слова:** похибка вимірювальних приладів, метод К-найближчих сусідів, обертовий момент електродвигуна, засоби оцінювання похибки, вибірка даних.

## TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237173

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ПОБУТОВОГО АБСОРБЦІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИЛАДУ НА ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТА ГАЗОВОМУ ДЖЕРЕЛІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ сторінки 49–53

Адамбаев Д. Б., Тітлов О. С.

Однією з найбільших проблем систем холодильної техніки є її переклад на екологічно безпечні холодоагенти. Це привертає увагу розробників побутової холодильної техніки до абсорбції холодильних приладів (АХП), до складу яких входить абсорбційний холодильний агрегат (АХА). Робоче тіло АХА складається з природних компонентів – водоаміачного розчину з добавкою інертного газу (водню). В останні роки в зв'язку з газифікацією населення Європи виникла альтернатива – робота АХП на природному газі. Природний газ може стати альтернативою електричній енергії в стаціонарних умовах експлуатації побутових холодильних приладів. Таким чином, об'єктом дослідження обрано однокамерний холодильник з низькотемпературним відділенням «Київ-410» (Україна).

У даній роботі дослідження спрямоване на порівняння теплових режимів роботи і витрати на експлуатацію побутового АХП на електричній енергії та природному газі. Для вирішення чого необхідно було визначити температури в характерних точках холодильного апарату і в камері, а також величини енергоспоживання згідно з нормативними документами, при різних величинах теплового навантаження і різних температурах навколишнього середовища.

Дослідження проводилися при підвищених температурах зовнішнього повітря 28–33 °С. Діапазон теплових навантажень електронагрівача термосифона АХА склав 50–130 Вт. Діапазон витрати природного газу в паливковий пристрій склав  $(2,8-8,8) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ . В процесі проведення експериментальних досліджень АХП були отримані результати, що показують економічну перспективність роботи в стаціонарних умовах на природному газі. Найбільші перспективи при цьому мають АХП підвищеного корисного об'єму (200 дм<sup>3</sup> і вище). Добові експлуатаційні витрати в них складають 0,078...0,084 дол. США, що нижче випадку використання електрики на 23...27 %. При встановленні в систему опалення та гарячого водопостачання термосифона АХА з'являється можливість використовувати температурний потенціал відхідних продуктів згоряння і повністю виключити експлуатаційні витрати.

**Ключові слова:** холодильна техніка, абсорбційний холодильний агрегат, екологічно безпечні холодоагенти, утилізація тепла.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.237171

### РОЗРОБКА МОРСЬКИХ ГАЗОГІДРАТНИХ РОДОВИЩ З АЛЬТЕРНАТИВНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ПОТЕНЦІАЛУ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНИ сторінки 54–57

Овещкий С. О., Мельниченко Ю. Г., Мороз Л. Б., Якимечко Я. Я.

Об'єктом дослідження є використання трубопровідної системи з метою видобування метану та утилізації вуглекислого газу. Одним з найбільш проблемних місць у даній схемі є обґрунтування ефективності та можливості використання наявної трубопровідної системи країни, які поступово переходять до вуглецевої нейтральності економіки на принципах сталого розвитку. У даному випадку ці принципи реалізовані через отримання доступу споживача до екологічно чистої енергії шляхом спалювання отриманого з морських гідратних родовищ газу з одночасною утилізацією вуглекислого газу.

В ході дослідження використовувалися методики математичного моделювання процесу розробки морських газогідратних родовищ, розроблені раніше при дослідженні видобування метану з гідратних покладів методом заміщення. Порівняння блок-схеми розробки морських газогідратних родовищ з використанням наявної трубопровідної системи шляхом логічного аналізу дозволило встановити не тільки економічний, а і екологічний ефект.

Отримано дані про те, що газотранспортна система за умови транспортування вуглекислого газу може бути ефективно використана на різних стадіях розробки морських газогідратних родовищ. Це пов'язано з тим, що запропонована блок-схема розробки має ряд особливостей побудови, зокрема, враховано можливості використання газотранспортної системи на стадії освоєння, видобування та ліквідації свердловин.

Завдяки цьому забезпечується можливість ефективного застосування вуглекислого газу, транспортованого з електростанцій за допомогою існуючої транспортної системи на місце розробки морських гідратних родовищ. У порівнянні з аналогічними відомими методами утилізації вуглекислого газу, це забезпечує такі переваги: альтернативне використання існуючої трубопровідної системи з метою озеленення технології видобування метану з морських гідратних родовищ.

Розглянуті в роботі принципи дають можливість захоронити вуглекислий газ у вигляді гідрату під морським дном. Досягнутий економічний ефект можна розглядати як прибуток, отриманий від реалізації виробленої на електростанціях електричної енергії, та цілком очевидний екологічний ефект.

**Ключові слова:** розробка морських гідратних родовищ, озеленення технології видобування природного газу, утилізація вуглекислого газу.