

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320425

**DETERMINING THE EFFICIENCY OF VIBRATION SIGNAL PROCESSING METHODS FOR PREDICTIVE DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS (p. 6–16)****Taras Bahan**National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0146-577X>**Vladyslav Temchur**National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4715-1623>**Valerii Boun**National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-8334>

The object of this study is the vibration signals received from engines with existing defects. The problem that was solved within the framework of this work arises from the need to construct an accurate and reliable system of prognostic diagnostics, capable of automatically recognizing malfunctions in electric motors, despite the influence of external noises, complex operating conditions, and the similarity of characteristics of signals of various types of defects.

The essence of the results is the devised methodology, which includes several stages of vibration signal processing and the use of a convolutional neural network (CNN) for the identification and classification of engine states. At the first stage, the signal is processed in the time domain, in which its main characteristics are analyzed. The signal is then transformed into the frequency domain using a Fast Fourier Transform (FFT) to extract its spectral components. To obtain a more informative representation of the signal, the short-time Fourier transform (STFT) is applied, which makes it possible to obtain a time-frequency characteristic in the form of a spectrogram. The resulting spectrograms represent a vibration signal in a form suitable for processing by a convolutional neural network, which performs their further analysis.

The use of CNN as the main analysis tool allowed us to achieve high results in the classification of engine states. According to the results of experiments, the model showed 100 % accuracy in detecting various types of engine malfunctions, including the most difficult to diagnose conditions. This high level of accuracy is due to the neural network's ability to efficiently process spectrograms and detect hidden patterns in the data. In addition, the application of STFT ensured the preservation of critical time-frequency information that is not available for use with only conventional FFT.

The main advantage of the proposed approach is its versatility and adaptability to different types of engines and malfunctions. The methodology can be used under industrial conditions for automated monitoring of equipment condition. This makes it possible to accidentally detect malfunctions, prevent emergencies, reduce maintenance costs, and increase the overall reliability of the equipment. The proposed approach is particularly useful in applications in which high diagnostic accuracy and fast response to engine state changes are required.

**Keywords:** predictive maintenance, machine learning, vibration analysis, frequency analysis, neural networks.

**References**

- Zhao, C., Gao, F. (2016). Fault Subspace Selection Approach Combined With Analysis of Relative Changes for Reconstruction Modeling and Multifault Diagnosis. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 24 (3), 928–939. <https://doi.org/10.1109/tcst.2015.2464331>
- Gao, Z., Cecati, C., Ding, S. X. (2015). A Survey of Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Techniques – Part I: Fault Diagnosis With Model-Based and Signal-Based Approaches. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62 (6), 3757–3767. <https://doi.org/10.1109/tie.2015.2417501>
- Rahman, T. A., Chek, L. W., Ramli, N. (2019). Intelligent vibration-based anomaly detection for electric motor condition monitoring. 9th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/357459169\\_Intelligent\\_Vibration-based\\_Anomaly\\_Detection\\_for\\_Electric\\_Motor\\_Condition\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/357459169_Intelligent_Vibration-based_Anomaly_Detection_for_Electric_Motor_Condition_Monitoring)
- Tahir, M. M., Khan, A. Q., Iqbal, N., Hussain, A., Badshah, S. (2017). Enhancing Fault Classification Accuracy of Ball Bearing Using Central Tendency Based Time Domain Features. *IEEE Access*, 5, 72–83. <https://doi.org/10.1109/access.2016.2608505>
- El Bouharrouti, N., Morinigo-Sotelo, D., Belahcen, A. (2023). Multi-Rate Vibration Signal Analysis for Bearing Fault Detection in Induction Machines Using Supervised Learning Classifiers. *Machines*, 12 (1), 17. <https://doi.org/10.3390/machines12010017>
- Ahmed, H. O. A., Nandi, A. K. (2022). Vibration Image Representations for Fault Diagnosis of Rotating Machines: A Review. *Machines*, 10 (12), 1113. <https://doi.org/10.3390/machines10121113>
- Luczak, D. (2024). Machine Fault Diagnosis through Vibration Analysis: Continuous Wavelet Transform with Complex Morlet Wavelet and Time-Frequency RGB Image Recognition via Convolutional Neural Network. *Electronics*, 13 (2), 452. <https://doi.org/10.3390/electronics13020452>
- Ullah, N., Ahmad, Z., Siddique, M. F., Im, K., Shon, D.-K., Yoon, T.-H. et al. (2023). An Intelligent Framework for Fault Diagnosis of Centrifugal Pump Leveraging Wavelet Coherence Analysis and Deep Learning. *Sensors*, 23 (21), 8850. <https://doi.org/10.3390/s23218850>
- Wen, L., Li, X., Gao, L., Zhang, Y. (2018). A New Convolutional Neural Network-Based Data-Driven Fault Diagnosis Method. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65 (7), 5990–5998. <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2774777>
- Wang, H., Li, S., Song, L., Cui, L. (2019). A novel convolutional neural network based fault recognition method via image fusion of multi-vibration-signals. *Computers in Industry*, 105, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.013>
- Kuwalek, P., Otomanski, P. (2019). The Effect of the Phenomenon of "Spectrum Leakage" on the Measurement of Power Quality Parameters. 2019 12th International Conference on Measurement. <https://doi.org/10.23919/measurement47340.2019.8779957>
- Zarei, J., Tajeddini, M. A., Karimi, H. R. (2014). Vibration analysis for bearing fault detection and classification using an intelligent filter. *Mechatronics*, 24 (2), 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.01.003>
- Temchur, V. S., Bahan, T. H. (2023). Predictive maintenance techniques using deep learning algorithms. *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, 6, 155–162. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/23>
- Wang, Z., Song, J. (2017). Equivalent linearization method using Gaussian mixture (GM-ELM) for nonlinear random vibration analysis. *Structural Safety*, 64, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2016.08.005>
- Perera, L. P., Mo, B. (2016). Data analysis on marine engine operating regions in relation to ship navigation. *Ocean Engineering*, 128, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.10.029>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320497

### OPTIMIZATION OF SPINDLE SYSTEM FIRST NATURAL FREQUENCY VALUES USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND ANALYSIS OF VARIANCE (p. 17–25)

**Mohammad Alzghoul**

University of Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, Hungary  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4673-3328>

**Sarka Ferenc**

University of Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, Hungary  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3136-4248>

**Szabo Janos Ferenc**

University of Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, Hungary  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6694-8959>

The object of this research is the dynamical performance of horizontal lathe spindle systems, which encounter challenges related to vibration and structural integrity during high-precision machining. In particular, the study aims to improve the system's dynamic performance by raising its first natural frequency to minimize chatter and bolster its capacity to endure operational stresses. The process of optimization was done by utilizing Response Surface Methodology in conjunction with Analysis of Variance, two methodologies that are acknowledged for their efficiency in statistical analysis and experimental design. Modifications were made to the spindle design in two stages: first, the rear bearing location (located at the end of the spindle opposite the chuck) was optimized, and then the shaft geometry was adjusted to improve natural frequency and stress resistance while keeping the overall mass of the system the same. The optimized design achieved an increase in the first natural frequency (from 529.47 Hz to 852.52 Hz) and an enhancement in stress capacity (from 250 MPa to 48.98 MPa), as confirmed by ANSYS V19 simulations. By shifting up the value of the first natural frequency, chatter is less likely to occur. This leads to more stable performance and better machining accuracy under higher operational loads.

These findings are important in precision machining applications, where vibration control and structural integrity are critical to performance. The paper concludes with a detailed comparison between the optimized and non-optimized models, along with an evaluation of the influence of bearing stiffness on system dynamics. The numerical improvements highlight the effectiveness of both Response Surface Methodology (RSM) and Analysis of Variance (ANOVA) in optimizing mechanical system performance.

**Keywords:** spindle optimization, chatter reduction, machining stability, vibration control, lathe spindle.

#### References

- Zhu, L., Liu, C. (2020). Recent progress of chatter prediction, detection and suppression in milling. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 143, 106840. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.106840>
- Qin, X.-B., Wan, M., Zhang, W.-H., Yang, Y. (2023). Chatter suppression with productivity improvement by scheduling a C3 continuous feedrate to match spindle speed variation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.110021>
- Yadav, A., Talaviya, D., Bansal, A., Law, M. (2020). Design of Chatter-Resistant Damped Boring Bars Using a Receptance Coupling Approach. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 4 (2), 53. <https://doi.org/10.3390/jmmp4020053>
- de Aguiar, H. C. G., Hassui, A., Suyama, D. I., Magri, A. (2019). Reduction of internal turning surface roughness by using particle damping aided by airflow. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106 (1-2), 125–131. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04566-5>
- Jauhari, K. (2018). Vibration reduction of spindle-bearing system by design optimization. *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 13, 85–91. Available at: <https://wseas.com/journals/mechanics/2018/a185911-335.pdf>
- Lu, Y., Li, C., Tang, Y., Chen, X., Zhao, X. (2020). Towards Lightweight Spindle of CNC Lathe Using Structural Optimization Design for Energy Saving. 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 220–225. <https://doi.org/10.1109/case48305.2020.9216976>
- Lin, C.-W. (2014). Optimization of Bearing Locations for Maximizing First Mode Natural Frequency of Motorized Spindle-Bearing Systems Using a Genetic Algorithm. *Applied Mathematics*, 05 (14), 2137–2152. <https://doi.org/10.4236/am.2014.514208>
- Tong, V.-C., Hwang, J., Shim, J., Oh, J.-S., Hong, S.-W. (2020). Multi-objective Optimization of Machine Tool Spindle-Bearing System. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 21 (10), 1885–1902. <https://doi.org/10.1007/s12541-020-00389-7>
- Guo, M., Jiang, X., Ding, Z., Wu, Z. (2018). A frequency domain dynamic response approach to optimize the dynamic performance of grinding machine spindles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 98 (9-12), 2737–2745. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2444-5>
- Wang, C.-C., Zhuo, X.-X., Zhu, Y.-Q. (2020). Optimization Analysis of Vibration for Grinder Spindle. *Sensors and Materials*, 32 (1), 407. <https://doi.org/10.18494/sam.2020.2603>
- Krol, O., Porkuian, O., Sokolov, V., Tsankov, P. (2019). Vibration Stability of Spindle Nodes in the Zone of Tool Equipment Optimal Parameters. «Prof. Marin Drinov» Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences. <https://doi.org/10.7546/crabs.2019.11.12>
- Árpád, Z. (1999). *Gépelemek I.* Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- ST-35L. Available at: <https://www.haas.co.uk/lathes/st-35l/>
- Stone, B. (2014). *Chatter and Machine Tools.* Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05236-6>
- Ehrich, F. F. (1992). *Handbook of Rotordynamics.* McGraw-Hill, 452.
- Harris, T. A., Kotzalas, M. N. (2006). *Essential Concepts of Bearing Technology.* CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006599>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320496

### IDENTIFYING THE INFLUENCE OF WINDING ANGLES ON THE STRENGTH PROPERTIES OF CARBON FIBER-REINFORCED PLASTIC TUBES (p. 26–32)

**Mohammed Meirbekov**

JSC "National Center of Space Research and Technology", Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-9114>

**Abussaid Yermekov**

JSC "National Center of Space Research and Technology", Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3999-1333>

**Marat Nurguzhin**

JSC "National Center of Space Research and Technology", Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7581-6430>

**Arman Kulbekov**

JSC "National Center of Space Research and Technology", Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3723-5097>

In this paper, a study of carbon fiber reinforced plastic tubes, which are widely used in overwhelming of technical industries, including aerospace industry, with single and combined winding angles (30°, 45°, 60° and 80°) fabricated by wet winding method on

X-Winder machine has been carried out. The core problem addressed in this research is identifying optimal winding angles of carbon fiber reinforced plastic tubes at which the strength parameters remain in a relative equilibrium. Compressive strength, tensile strength and impact strength tests were carried out.

The results of specimens with single winding angle showed that a maximum tensile strength of 630 MPa was achieved at a winding angle of  $\pm 30^\circ$  and a maximum compressive strength of 380 MPa was achieved at an angle of  $\pm 80^\circ$ . The maximum value of impact strength was achieved at a winding angle of  $\pm 60^\circ$ . In order to obtain a balance in the strength characteristics of the tubular rods, combined reinforced winding with  $\pm 30^\circ/45^\circ$ ,  $\pm 30^\circ/60^\circ$ ,  $\pm 30^\circ/80^\circ$ ,  $\pm 80^\circ/45^\circ$  and  $\pm 80^\circ/60^\circ$  angles were investigated. High values of compressive strength of 434 MPa, tensile strength of 675 MPa and impact strength of 165 kJ/m<sup>2</sup> were achieved with  $\pm 30^\circ/80^\circ$  combined winding angle. The fibers of the material, which were oriented closer to the compression direction, resulted in reduced efficiency of transferring compressive forces between the fibers and decreased compressive strength. This uniform stress distribution permitted the load to be equally divided between the fibers, which effectively utilized their strength properties. Thus, results confirmed the importance of selecting the optimal winding angles to create carbon fiber reinforced plastic tubes with the required strength properties.

**Keywords:** carbon fiber reinforced plastic tubes, epoxy resin, fiber strength, impact strength, stress distribution, winding angles, fiber, matrix.

#### References

- Ruggiero, E. J., Inman, D. J. (2006). Gossamer Spacecraft: Recent Trends in Design, Analysis, Experimentation, and Control. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 43 (1), 10–24. <https://doi.org/10.2514/1.8232>
- Haq, S. A. (1994). Filament winding machine control using B-spline interpolation. University of Nottingham. <https://eprints.nottingham.ac.uk/14216/>
- Reda, R., Khamis, M., Ragab, A. E., Elsayed, A., Negm, A. M. (2024). Numerical analysis of the impact of winding angles on the mechanical performance of filament wound type 4 composite pressure vessels for compressed hydrogen gas storage. *Heliyon*, 10 (13), e33796. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33796>
- Kovalenko, V. A., Malkov, I. V., Syrovoj, G. V., Sohach, Yu. V. (2011). Issledovanie termorazmerostabil'nosti fermennykh konstrukciy kosmicheskikh apparatov. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstrukciy letatel'nykh apparatov*, 2, 20–34.
- Meirbekov, M. N., Ismailov, M. B., Kenzhegulov, A. K., Mustafa, L. M., Tashmukhanbetova, I. B. (2024). Study of the effect of combined reinforcement and modification of epoxy resin with rubbers on the impact strength of carbon fiber-reinforced plastic. *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*, 8 (1), 23–32. <https://doi.org/10.32523/ejpfm.2024080103>
- Babazadeh, J., Rahmani, K., Hashemi, S. J., Sadooghi, A. (2021). Effect of glass, carbon, and kevlar fibers on mechanical properties for polymeric composite tubes produced by a unidirectional winding method. *Materials Research Express*, 8 (4), 045301. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abf0ba>
- Baldieri, F., Martelli, E., Riccio, A. (2023). A Numerical Study on Carbon-Fiber-Reinforced Composite Cylindrical Skirts for Solid Propeller Rockets. *Polymers*, 15 (4), 908. <https://doi.org/10.3390/polym15040908>
- Hu, J., Chen, W., Peng, F., Li, Y., Yang, D., Fang, G. (2019). Composite Carbon-Epoxy Tubes for Space Structures: Ground Vacuum Radiant Experiments and Structural Behavior Analysis. *Journal of Aerospace Engineering*, 32 (6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)as.1943-5525.0000930](https://doi.org/10.1061/(asce)as.1943-5525.0000930)
- Vshivkov, S. A., Tyukova, I. S., Rusinova, E. V. (2022). Polimernye kompozicionnye materialy. Ekaterinburg: Ural'skiy federal'nyy universitet im. Pervogo prezidenta Rossii B.N. El'cina (UrFU), 230.
- Malkov, I. V. (2001). Nauchnye osnovy formoobrazovaniya tekhnologii formirovaniya namotkoy ugleplasticheskikh elementov karkasnykh konstruktivnykh kosmicheskikh apparatov. Lugansk, 453.
- Fitriah, S. N., Abdul Majid, M. S., Daud, R., Afendi, M. (2014). The Effects of Winding Angles and Elevated Temperatures on the Crushing Behaviour of Glass Fibre/Epoxy Composite Pipes. *Applied Mechanics and Materials*, 695, 639–642. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.695.639>
- Korinek, Z., Chromy, J., Giang, L. H., Jenikova, Z. (2004). Effect of winding angle on impact properties of thin walled tubes. *Journal of Materials Science*, 39 (11), 3763–3765. <https://doi.org/10.1023/b:jmsc.0000030732.56224.49>
- Quanjin, M., Rejab, M., Idris, M., Hassan, S. A., Kumar, N. M. (2019). Effect of winding angle on the quasi-static crushing behaviour of thin-walled carbon fibre-reinforced polymer tubes. *Polymers and Polymer Composites*, 28 (7), 462–472. <https://doi.org/10.1177/0967391119887571>
- Azeem, M., Ya, H. H., Azad Alam, M., Kumar, M., Sajid, Z., Gohery, S. et al. (2024). Influence of winding angles on hoop stress in composite pressure vessels: Finite element analysis. *Results in Engineering*, 21, 101667. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101667>
- Majid, M. S. A., Afendi, M., Daud, R., Gibson, A. G., Hekman, M. (2013). Effects of Winding Angles in Biaxial Ultimate Elastic Wall Stress (UEWS) Tests of Glass Fibre Reinforced Epoxy (GRE) Composite Pipes. *Advanced Materials Research*, 795, 424–428. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.795.424>
- Mahdi, E., Hamouda, A. M. S., Sebaey, T. A. (2014). The effect of fiber orientation on the energy absorption capability of axially crushed composite tubes. *Materials & Design* (1980-2015), 56, 923–928. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.009>

DOI 10.15587/1729-4061.2025.319437

#### ESTIMATING THE DEGREE OF DISPOSAL OF A LAUNCH VEHICLE CASING MADE FROM POLYOLEFINS IN THE EARTH'S ATMOSPHERE (p. 33–43)

**Mykola Dron'**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0682-8004>

**Erik Lapkhanov**

Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3821-9254>

**Aleksandr Golubek**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7764-6278>

**Andrii Dreus**

Promin Aerospace, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0598-9287>

**Olena Kositsyna**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0857-831X>

**Ludmila Dubovik**

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1178-9281>

The object of this study is the process of disposing of the upper stage body of a launch vehicle made of polyolefins by burning in the dense layers of the Earth's atmosphere during removal from Earth orbit. The task addressed was to determine the possibility of disposal of the upper stage bodies of launch vehicles made of polyolefins during deorbiting.

The mathematical model built makes it possible to take into account the effect of ballistic and aerothermodynamic aspects at the same time. The application of this model makes it possible to estimate the degree of disposal of the upper stage bodies of launch vehicles made of polyolefins in the Earth's atmosphere at the stage of scientific research. In turn, this makes it possible to rationally choose the design parameters of materials for launch vehicle bodies, taking into account the disposal phase in the dense layers of the atmosphere, as well as rationally select the initial parameters for deorbiting orbits. This makes it possible to maximize the level of disposal and minimize the probability of debris falling on uninhabited areas of the Earth.

The results of the study showed that launch vehicle bodies made of polymer materials such as polyethylene and polypropylene could burn up in the atmospheric part of the trajectory by 90–100 %, depending on the mass-dimensional characteristics and the type of orbit. In turn, increasing the ellipticity of the orbit makes it possible to increase the steepness of the entry of the upper body of the launch vehicle into the dense layers of the atmosphere, and hence, to increase the heat flows that contribute to the combustion of the body. With this in mind, methodological recommendations have been compiled for choosing orbits of the necessary ellipticity, taking into account the place of fall of fragments of the upper bodies of carrier rockets that did not burn up in the atmosphere.

**Keywords:** disposal of the launch vehicle body made of polyolefins, mathematical model of deorbiting, influence of heat flows on the heating of the body, atmospheric section of trajectory, extra-atmospheric section of the trajectory.

## References

- Brunner, A. J. (2020). Fracture mechanics of polymer composites in aerospace applications. *Polymer Composites in the Aerospace Industry*, 195–252. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102679-3.00008-3>
- NjugunaNjuguna, J., Pielichowski, K. (2004). Polymer Nanocomposites for Aerospace Applications: Characterization. *Advanced Engineering Materials*, 6 (4), 204–210. <https://doi.org/10.1002/adem.200305110>
- Henson, G. (2018). Materials for Launch Vehicle Structures. *Aerospace Materials and Applications*, 435–504. <https://doi.org/10.2514/5.9781624104893.0435.0504>
- Dron', M. M., Kositsyna, O. S., Dreus, A. Yu. (2023). Prospects of using polyolefins as alternative structural materials for ultralight launch vehicle. *Journal of Chemistry and Technologies*, 31 (4), 845–853. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i4.289212>
- Yemets, V., Sanin, F., Dzhur, Y., Masliany, M., Kostritsyn, O., Minteev, G. (2009). Single-stage small satellite launcher with combustible tank of polyethylene. *Acta Astronautica*, 64 (1), 28–32. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.06.015>
- Yemets, V., Sanin, F., Masliany, M., Kostritsyn, O., Minteev, G. (2010). Is the combustible inertial pico launch vehicle feasible? *JBIS – Journal of the British Interplanetary Society*, 63 (7), 249–259.
- Yemets, V., Dron, M., Yemets, T., Kostritsyn, O. (2015). The infinite staging rocket - A progress to realization. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*, 12, 9118–9124.
- Yemets, V., Dron', M., Pashkov, A. (2020). Autophagy Engines: Method to Preset Gravity Load of Solid Rockets. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 57 (2), 309–318. <https://doi.org/10.2514/1.a34597>
- Dreus, A. Yu., Dron, M. M., Dubovik, L. G., Strembovsky, V. V. (2023). Assessment of the possibility of using polymers in the bodies of promising launch vehicles based on the heat resistance factor. *Kosmična Nauka i Tehnologija*, 29 (6), 03–12. <https://doi.org/10.15407/knit2023.06.003>
- Dreus, A., Yemets, V., Dron, M., Yemets, M., Golubek, A. (2021). A simulation of the thermal environment of a plastic body of a new type of launch vehicle at the atmospheric phase of the trajectory. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94 (4), 505–514. <https://doi.org/10.1108/aeat-04-2021-0100>
- Golubek, A., Alekseienco, S., Dron, M., Dreus, A. (2024). Assessing the possibility of using a variable-length launch vehicle with a polymer body for orbiting payload. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 63–72. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306225>
- Cesul, B. T. (2008). *Inorganic Polymers for Space Applications*. 22nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites Content. Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1388&context=smallsat>
- Roddy, M. A., Huang, A. (2016). Development of a solid-state inflation balloon for aerodynamic drag assisted deorbit of CubeSats. *Engineering, Environmental Science, Physics*.
- Grossman, E., Gouzman, I. (2003). Space environment effects on polymers in low earth orbit. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 208, 48–57. [https://doi.org/10.1016/s0168-583x\(03\)00640-2](https://doi.org/10.1016/s0168-583x(03)00640-2)
- Kondratiev, A., Potapov, O., Tsaritsynskiy, A., Nabokina, T. (2021). Optimal Design of Composite Shelled Sandwich Structures with a Honeycomb Filler. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*, 546–555. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_54)
- Alpatov, A. P. (2018). *Kosmichne smittia: aspekty problemy*. *Tekhnichna mekhanika*, 1, 30–47.
- Fedele, A., Omar, S., Cantoni, S., Savino, R., Bevilacqua, R. (2021). Precise re-entry and landing of propellantless spacecraft. *Advances in Space Research*, 68 (11), 4336–4358. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.09.029>
- Nocerino, A., Notaro, I., Morani, G., Poderico, M., D'Amato, E., Blasi, L. et al. (2023). Trajectory control algorithms for the de-orbiting and Re-entry of the MISTRAL satellite. *Acta Astronautica*, 203, 392–406. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2022.12.010>
- Gaglio, E., Bevilacqua, R. (2023). Time Optimal Drag-Based Targeted De-Orbiting for Low Earth Orbit. *Acta Astronautica*, 207, 316–330. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.03.011>
- Markley, F. L., Crassidis, J. L. (2014). *Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0802-8>
- Kaplan, G. H. (2005). *The IAU Resolutions on Astronomical Reference Systems, Time Scales, and Earth Rotation Models (Draft 4)*. Defense Technical Information Center. <https://doi.org/10.21236/ada434096>
- Petit, G., Luzum, B. (2010). *IERS Conventions*. IERS Technical Note No. 36. IERS Conventions Centre, 179.
- Golubek, A. V., Tatarevskiy, K. E., Filippenko, I. M., (2020). Aprior-naya ocenka tochnosti vyvedeniya kosmicheskikh apparatov s BINS. *Dnepr: LIRA*, 187.
- Zbruckiy, A. V., Ganzha, A. P. (2011). *Navigaciya kosmicheskogo apparata distancionnogo zondirovaniya Zemli po semke zemnoy poverhnosti*. Kyiv: NTUU "KPI", 160.
- Fortescue, P., Swinerd, G., Stark, J. (Eds.) (2011). *Spacecraft Systems Engineering*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119971009>
- Lapchanov, E., Palii, O., Golubek, A. (2022). Determining the degree of effect of heat flows on the deformation of the shell of a space inflatable platform with a payload. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (119)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266161>
- Allen, J. (1964). *The aerodynamic heating of atmosphere entry vehicles – a review*. NASA, Ames Research Center Moffett Field, California, 44.
- Payload user guide. *Electron*. Available at: <https://www.rocketlabusa.com/assets/Uploads/Electron-Payload-User-Guide-7.0.pdf>
- Kositsyna, O. S., Dron', M. M., Yemets, V. V. (2020). The environmental impact assessment of emission from space launches: the promising

- propellants components selection. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (2), 186–193. <https://doi.org/10.15421/082020>
30. Park, S.-H., Mischler, S., Leyland, P. (2021). Re-entry analysis of critical components and materials for design-for-demise techniques. *Advances in Space Research*, 68 (1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.03.019>
31. Park, S.-H., Neeb, D., Plyushchev, G., Leyland, P., Gülhan, A. (2021). A study on heat flux predictions for re-entry flight analysis. *Acta Astronautica*, 187, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.06.025>
32. Tyurenkova, V. V., Smirnova, M. N. (2016). Material combustion in oxidant flows: Self-similar solutions. *Acta Astronautica*, 120, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.11.033>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320494

**JUSTIFICATION OF CHOOSING A REASONABLE DISTANCE BETWEEN THE DRIVER'S CABIN AND THE SEMI-TRAILER TO REDUCE THE AERODYNAMIC RESISTANCE OF THE VEHICLE (p. 44–51)**

**Dmytro Beherskyi**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8357-0038>

**Ivan Vitiuk**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3577-8758>

**Andrii Koval**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6587-5914>

**Andrii Golubovskiy**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9868-5441>

**Mykhailo Perekhuda**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5016-7832>

The object of the study is the aerodynamic resistance of a main road train and its influence on the efficiency of the transportation process.

Reducing the aerodynamic resistance of road trains is an important problem, since fuel consumption and transportation efficiency depend on it. A 2 % reduction in aerodynamic drag reduces fuel consumption by 1 %. Reduction of aerodynamic resistance is achieved by using special aerodynamic devices. But their use creates a number of problems – an increase in the weight of the road train and its overall dimensions, etc.

It is assumed that by choosing a rational distance between the cab and the semi-trailer of the road train, it is possible to significantly reduce fuel consumption.

The obtained results show that the total aerodynamic resistance of the road train significantly depends on the distance between the driver's cabin and the semi-trailer. This is explained by the fact that in the space between the cabin and the semi-trailer, vortices of the air flow occur, which leads to an increase in aerodynamic resistance. The resulting dependence of excess pressure in the space between the cabin and the semi-trailer on the distance between them makes it possible to determine two ranges of distances where this pressure will be minimal. In contrast to known studies, the results of the modeling make it possible to establish a rational distance between the cab and the semi-trailer of the road train from the point of view of obtaining the minimum total aerodynamic resistance. However, changing the distance between the cab and the semi-trailer can affect the controllability and stability of the road train.

The obtained results can be used in the development of semi-trailer structures, which will ensure a reduction of the total aerodynamic

resistance of road trains. And this will lead to a decrease in fuel consumption for the transportation process.

**Keywords:** air resistance, aerodynamics of highway trains, CFD modeling of train aerodynamics, fuel consumption, aerodynamic resistance, influence of the distance between the cabin and the body on aerodynamics.

**References**

- Begerskyi, D. B., Vityk, I. V., Koval, A. O., Tsymbal, S. V. (2024). Influence of the geometric parameters of the vehicle on its aerodynamic characteristics. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 18 (2), 10–15. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-10-15>
- Nesterenko, M., Zhyla, I., Kashuba, D., Marchenko, I. (2022). Research of truck train aerodynamic indicators by using computer simulation. *Academic Journal Industrial Machine Building Civil Engineering*, 1 (58), 5–10. Available at: <https://journals.nupp.edu.ua/zn/article/view/3076>
- Raj, R. T. K., Gupta, A., Gupta, S., Khan, S. (2013). Numerical and experimental study of fluid flow over an automobile body to optimize aerodynamic characteristics using CFD codes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8 (6), 733–744. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/289605929\\_Numerical\\_and\\_experimental\\_study\\_of\\_fluid\\_flow\\_over\\_an\\_automobile\\_body\\_to\\_optimize\\_aerodynamic\\_characteristics\\_using\\_CFD\\_codes](https://www.researchgate.net/publication/289605929_Numerical_and_experimental_study_of_fluid_flow_over_an_automobile_body_to_optimize_aerodynamic_characteristics_using_CFD_codes)
- Salati, L., Schito, P., Cheli, F. (2017). Wind tunnel experiment on a heavy truck equipped with front-rear trailer device. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 171, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2017.09.016>
- Opanasyuk, Ye., Beherskyi, D., Mozharovskiy, M., Opanasyuk, O. (2019). The study of the aerodynamic performance of a train using a physical simulation method. *The Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Engineering*, 1 (83), 25–34. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-25-34](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-25-34)
- Josefsson, E. (2019). Examination of robustness and accuracy of CFD simulations for external aerodynamics of commercial vehicles. *Goteborg*. Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.12380/257069>
- Nasir, M. (2023). A Comparative Analysis of a Scaled Car Model To Determine Drag Effects Using Wind Tunnel and CFD. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10807.50087>
- Hassan, S. M. R., Islam, T., Ali, M., Islam, Md. Q. (2014). Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars. *Procedia Engineering*, 90, 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.854>
- Ilea, L., Iozsa, D., Fratila, G. (2022). Modelling a virtual wind tunnel for vehicle aerodynamic measurements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1220 (1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1220/1/012027>
- Vieru, E. M., Iozsa, D., Ilea, L., Frățilă, G. (2022). Influence of air flow in the lateral areas of a tractor unit on its aerodynamic performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1262 (1), 012075. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1262/1/012075>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320431

**DETERMINING THE BEHAVIOR OF A GLASS PANEL UNDER HEATING CONDITIONS DURING A FIRE (p. 52–61)**

**Valeriia Nekora**

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4354-4422>

**Serhii Pozdieiev**

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9085-0513>

**Olga Nekora**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of the National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-3285>

**Svitlana Fedchenko**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of the National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3294-2214>

**Vadym Nizhnyk**

Institute of Public Administration  
and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3370-9027>

**Alina Novhorodchenko**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of the National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2347-093X>

**Taras Shnal**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>

The object of this study is the processes of heating and destruction of glazing in translucent elements of fencing structures. The paper provides data on the computer simulation of a glass panel behavior when it is heated on one side under the conditions of exposure to the standard fire temperature regime. With the help of computer simulation of a glass panel under conditions of thermal influence, the process of heat transfer was reproduced based on the non-stationary heat conduction equation. The stress-strain state of the glass panel was considered using the finite element method. The thermal effect was combined with the mechanical load due to the excess pressure that can occur in the room where the fire originates and develops. To study the propagation of cracks in glass, the strength criterion according to the Johnson-Holmquist model was applied. As a result of computer simulation based on a mathematical model, data were obtained on the dynamics of the formation and propagation of cracks in a glass panel under conditions of heating according to the standard fire temperature regime. It is shown that the glass panel is destroyed through the formation of a system of branched cracks, which is confirmed by empirical experience. The destruction of the glass panel was associated with the onset of the limit state of loss of integrity, and its fire resistance limit was registered based on this attribute.

In the work, a comparative analysis of the obtained data with the findings from experimental studies has been carried out. As a result of the comparative analysis, it is shown that the results are adequate since their relative error is on average no more than 8 %, and the F-criterion of adequacy at the significance level of 0.05 does not exceed the tabular value. Based on the results, the possibility of its application for a reliable analysis of the fire resistance of enclosing elements in building structures has been proven.

**Keywords:** heat resistance of glass, enclosing building structures, glass panels, fire resistance limit, calculation method.

**References**

- Machalická, K., Charvátová, M., Eliášová, M., Kuklík, P. (2016). The behaviour of Fire Resistant glass under fire. *Structures and Architecture*, 991–997. <https://doi.org/10.1201/b20891-137>
- Ballo, Y., Golikova, S., Sizikov, O., Zhikharev, O., Savchenko, O., Nesenyuk, L. (2021). Fire safety requirements for high-rise public buildings with a conditional height of 100 M to 150 M. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2 (12), 30–42. [https://doi.org/10.33269/nvzc.2021.2\(12\).30-42](https://doi.org/10.33269/nvzc.2021.2(12).30-42)
- EN 1991-1-2:2002. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Available at: [https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5bdb5478-f413-4f23-a3e2-2eba83dc303f/en-1991-1-2-2002?srsltid=AfmBOoq9VENy312\\_Db-vPjprXR-a\\_qrDwsOGIZ9A62I97tnH5GL0GMvAJ](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5bdb5478-f413-4f23-a3e2-2eba83dc303f/en-1991-1-2-2002?srsltid=AfmBOoq9VENy312_Db-vPjprXR-a_qrDwsOGIZ9A62I97tnH5GL0GMvAJ)
- Bedon, C. (2017). Structural Glass Systems under Fire: Overview of Design Issues, Experimental Research, and Developments. *Advances in Civil Engineering*, 2017, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2017/2120570>
- Guidance for European Structural Design of Glass Components. Support to the Implementation, Harmonization and Further Development of the Eurocodes. <https://doi.org/10.2788/55303>
- Dmitriev, I., Lyulikov, V., Bazhenova, O., Bayanov, D. (2019). Calculation of fire resistance of building structures in software packages. *E3S Web of Conferences*, 91, 02007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102007>
- SN EN 15998:2020; SIA 331.182:2020. Glass in building – Safety in case of fire, fire resistance – Glass testing methodology for the purpose of classification. Available at: <https://www.dinmedia.de/en/standard/sn-en-15998/340340580>
- A Guide to Best Practice in the Specification and Use of Fire-Resistant Glazed Systems. Glass and Glazing Federation. Available at: <https://cpdcazenove.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/12/fire20resistant20guide20web2020120august202008.pdf>
- Bedon, C., Kozłowski, M., Honfi, D. (2018). Thermal assessment of glass facade panels under radiant heating - Experimental and preliminary numerical studies. *Journal of Facade Design and Engineering*, 6 (3), 49–64. <https://doi.org/10.7480/jfde.2018.3.2477>
- Pozdieiev, S., Nekora, O., Fedchenko, S., Zaika, N., Shnal, T., Subota, A., Nesukh, M. (2023). Method for identifying the strength characteristics of concrete of a reinforced concrete crossbar during heating under conditions of fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (123)), 26–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282205>
- Nizhnyk, V., Pozdieiev, S., Nekora, V., Teslenko, O. (2023). Substantiation of the Method for Studying the Behavior of Enclosing Structures with Glazing Under Conditions of Fire Thermal Influence. *Proceedings of CEE 2023*, 273–285. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_28)
- Kodur, V., Banerji, S. (2020). Comparative fire behavior of reinforced concrete beams made of different concrete strengths. *Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020)*. <https://doi.org/10.14264/bd10594>
- Rickard, I., Spearpoint, M., Lay, S. (2020). The performance of laminated glass subjected to constant heat fluxes related to building fires. *Fire and Materials*, 45 (2), 283–295. <https://doi.org/10.1002/fam.2939>
- Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Borsuk, O., Binetska, O., Shvydenko, A., Alimov, B. (2020). Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (106)), 39–45. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210710>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320495

DEFINING FEATURES OF DECORATING SANITARY-HYGIENIC PRODUCTS BY THE METHOD OF FLEXOGRAPHIC AND DIGITAL PRINTING (p. 62–72)

**Svitlana Havenko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4973-5174>

**Valentyna Dovhanych**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1975-1871>

**Viktoria Kochubei**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1537-3953>

The intensive use of tissue products encourages manufacturers to search for new technologies for their decoration and researchers to study the factors influencing the quality of finished products.

Flexographic printing is used to decorate sanitary and hygienic products, which is effective for large print runs. Digital printing is recommended for producing tissue products with small print runs. Therefore, the object of this study was flexographic and digital ink-jet imprints. As a result of the research, it was found that in the range from 50 to 100 % of the printed control scale, the optical density of all CMYK colors on a flexographic imprint is twice as high as in digital printing. The optical density of digital imprints increases in proportion to the color saturation.

The optimal amount of luminophore that provides the luminescence effect of printed images on flexographic imprints has been determined. In the process of printing, tissue paper is exposed to temperature conditions. Thermogravimetric studies of printing inks with luminophore additives and corresponding imprints were conducted. Initial thermo-oxidative processes in the ink composition begin to develop at temperatures above 187 °C. A slight loss of mass (1.1 %) of the composition is observed in the range of 187–236 °C, which is accompanied by a deviation of the DTA channel into the region of exothermic effects due to the thermal oxidation of the luminophore.

The influence of tissue products' structure and printing area on punching resistance has been shown. Using the Kendall concordance coefficient, the degree of consistency of experts' opinions regarding the priority of factors influencing the quality of tissue products was determined.

**Keywords:** sanitary and hygienic products, flexographic and digital printing, luminescent impurities, quality of imprints.

## References

- Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
- Mariusz, R. (2021). Valmet Customer Days 2021. Panel tematyczny – bibułka tissue. *Przegląd Papierniczy*, 77 (9), 482–484. Available at: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-8493c35e-3101-4abe-9eeb-b014116ccdaa?q=bwmeta1.element.baztech-15e146e1-bbf0-445b-8ddb-71193991a1f8;1&qt=CHILDREN-STATELESS>
- Stretovych, S. S., Hlushkova, T. H. (2015). Vyznachennia kryteriyiv identyfikatsiyi dlia riznykh vydiv paperu. *Materialy II mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsiyi «Aktualni problemy teorii i praktyky ekspertyzy tovariv»*. Poltava: PUET, 197–200.
- Li, Y. (2010). Characterization of the effect of surface properties of tissue paper on print quality. *Proceedings of the 17th IAPRI World Conference on Packaging*, 68–71. Available at: <https://www.scirp.org/pdf/21-1.18.pdf>
- Morais, F. P., Vieira, J. C., Mendes, A. O., Carta, A. M., Costa, A. P., Fiadeiro, P. T. et al. (2021). Characterization of absorbency properties on tissue paper materials with and without "deco" and "micro" embossing patterns. *Cellulose*, 29 (1), 541–555. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04328-1>
- Nurmalia, S., Pramudyo, C. (2022). Defects Analysis of Printed Tissue Paper Products using Eight Disciplines Method (Case Study of PT IGP Internasional Sleman). *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 3251–3262. <https://doi.org/10.46254/ap03.20220535>
- Tutuş, A., Çiçekler, M., Çali, A. (2016). Tissue Papers in Turkey and Some Physical and Optical Properties. *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20 (1). <https://doi.org/10.19113/sdufbed.98003>
- Klepaczka, A. (2007). Tissue bez cylindra Yankee? Alternatywna dla TAD technologia ADT. *Przegląd Papierniczy*, 63 (2), 101–102.
- de Oliveira Mendes, A., Vieira, J. C., Carta, A. M., Galli, E., Simões, R., Silva, M. J. dos S. et al. (2020). Influence of tissue paper converting conditions on finished product softness. *BioResources*, 15 (3), 7178–7190. <https://doi.org/10.15376/biores.15.3.7178-7190>
- Głowacki, K. (2018). Model oceny jakości papierów higienicznych. *Przegląd Papierniczy*, 1 (3), 65–71. <https://doi.org/10.15199/54.2018.3.1>
- Olejnik, K., Bloch, J.-F., Pelczynski, P. (2019). Measurement of the dynamics of fluid sorption for tissue papers. *TAPPI Journal*, 18 (7), 417–426. <https://doi.org/10.32964/tj18.7.417>
- TV 503 Line. Available at: [http://www.pps.org.ua/tv\\_503\\_line.html](http://www.pps.org.ua/tv_503_line.html)
- Nova tsyfrova drukarska mashyna Ticab Print Printing Machine TICAB PRINT (paper-bags, cardboard boxes). Available at: <https://machineryline.ua/-/prodazh/cifrovi-drukarski-mashini/Ticab-Print-Printing-Machine-TICAB-PRINT-paper-bags-cardboard-boxes-2111241112960281400>
- Portatyvnyi profesionalnyi tsyfrovyy mikroskop x1600. Available at: <https://hapstone.pro/uk/instrumenti/portativniy-cifrovyy-mikroskop-h1600>
- Papir i karton na osnovi makulatury, pryznacheni dlia pakuvannya sukhykh kharchovykh produktiv. *Hihienichni vymohy, kryteriyi otsinky yakosti i bezpechnosti, metody vyznachennia* (45118). Available at: <https://dnaop.com/html/45118/doc-papir-i-karton-na-osnovi-makulaturi-pryznacheni-dlya-pakuvannya-suhikh-kharchovih-produktiv-gigijenichni-vimogi-kriteriji-ocinki>
- Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh pravyl i norm "Papir i karton na osnovi makulatury, pryznacheni dlia pakuvannya sukhykh kharchovykh produktiv. Hihienichni vymohy, kryteriyi otsinky yakosti i bezpechnosti, metody vyznachennia". *Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy vid 13 lystopada 2006 roku No. 746. Zareiestrovano v Ministerstvi yustytisyi Ukrainy 5 hrudnia 2006 r. za No. 1266/13140*. Available at: <https://ips.ligazakon.net/document/RE13140?an=1>
- Kopchak, Y., Lobunets, T., Lukovskiy, R. (2024). SWOT analysis as a crucial tool in business strategy development. *Economy and Society*, 61. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-146>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320426

## DETERMINING THE EFFECT OF REINFORCING ASPHALT-CONCRETE COATING WITH SYNTHETIC NETS ON ITS PERFORMANCE INDICATORS (p. 73–81)

**Artur Onyshchenko**

National Transport University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Vitalii Kovalchuk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

**Dmytro Husev**

Caponier-Group LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-1944>

**Dmitry Anishchenko**

Municipal Corporation "Kyivavtodor", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7721-4644>

**Maksym Tymoshyn**

SE "Dorcenter", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2818-9419>

**Oleg Tsekhansky**

Caponier-Group LLC, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-0720>

**Andrii Rubliov**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4142-1325>

**Ihor Mel'nyk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7702-1083>

The object of this study is an asphalt concrete cover, the upper layer of which is reinforced with the synthetic material GlasGrid. The subject of research is the performance indicators of asphalt concrete coating.

Experimental studies on the effect of reinforced asphalt concrete with synthetic nets on the evolution of rutting and bond strength between layers have been conducted.

It has been established that reinforcing the asphalt concrete coating with synthetic nets reduces rutting. At 10,000 load cycles and a temperature of 50 °C, the average value of the rut depth in slab samples without a reinforcing joint was 3.8 mm, and at a temperature of 60 °C – 3.7 mm. In the case of reinforcing the upper layer with a GlasGrid® GG100 net, the depth of the rut at an operating temperature of 50 °C was 3.3, and at an operating temperature of 60 °C – 2.6 mm. With a total number of 20,000 load cycles, the average value of the rut depth without reinforcement of the slab sample is 7.5 mm, and with reinforcement – 5.9 mm.

It was established that the rutting resistance of slab samples with reinforcing synthetic nets, in comparison with slab samples without reinforcing material, after the first stage of testing was 13.2 % and 29.7 % after the second stage of testing.

It has been established that the maximum vertical shear force that occurs during the destruction of asphalt concrete layers without reinforcement is higher than asphalt concrete layers reinforced with a synthetic mesh. The values of the vertical shear forces without reinforcing the samples are 21.63 kN and 18.46 kN when the samples are reinforced with a synthetic mesh. At the same time, the maximum shear stresses between layers of asphalt concrete core samples without reinforcement are 1.169 MPa, and with reinforcement – 0.988 MPa.

Reinforcing the upper layer of the asphalt concrete coating with synthetic meshes will lead to an increase in the durability of the asphalt concrete coating along road sections.

**Keywords:** asphalt, synthetic grids, reinforcement, rutting, adhesion between asphalt concrete layers.

**References**

- Onyshchenko, A. M., Mozghovyi, V. V., Harkusha, M. V., Aksonov, S. Yu. (2012). Suchasni aspekty pidvyshchennia koliestiykosti nezhorstkoho dorozhnogo odiahu. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 5, 25–30. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/au\\_2012\\_5\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2012_5_8)
- Hameliak, I. P., Raikovskiy, V. F. (2014). Analiz transportno-eksploatatsiynykh pokaznykiv stanu avtomobilnykh dorih derzhavnogo znachennia. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 1, 24–28. Available at: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/au\\_2014\\_1\\_7.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/au_2014_1_7.pdf)
- Gulyayev, V. I., Mozgovyy, V. V., Gustieliev, O. O., Shlyun, N. V., Kutsman, O. M., Baran, S. A. (2019). Analysis of stress-strain state of a road overlay reinforced by support under transverse cracks and SEAMS. *The National Transport University Bulletin*, 1 (43), 26–38. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2019-1-43-026-038>
- Onyshchenko, A. M. (2017). Proektuvannia zernovoho skladu asfaltobetonu pidvyshchenoi koliestiykosti z optymizatsieiu za pokaznykom rozrakhunkovoho stroku sluzhby. *International scientific and practical conference "WORLD SCIENCE"*, 2 (4 (20)), 32–35. Available at: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/424118>
- Shevchuk, L. V., Vashchilina, O. V., Lebedyeva, I. V., Baran, S. A. (2018). Finite element monitoring of straineddeformed road surface with bundle. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics & Mathematics*, 2, 57–60. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU\\_fiz\\_mat\\_2018\\_2\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_fiz_mat_2018_2_9)
- Mozghovyi, V. V., Kutsman, O. M., Baran, S. A., Borovyk, I. I. (2016). The assessment of durability of asphalt pavement asphalt through the test for resistance to permanent deformation accumulation. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 1 (34), 283–293. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu\\_2016\\_1\\_36](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2016_1_36)
- Armuiuchi heohratky dlia asfaltobetonu GlaGrid®. Available at: [https://www.viaduk.net/clients/caponier.nsf/0/2b53f3260fafa98b-c22586f8002cd3aa/\\$FILE/minicatalogue\\_UKR\\_2020.10\\_v6.pdf](https://www.viaduk.net/clients/caponier.nsf/0/2b53f3260fafa98b-c22586f8002cd3aa/$FILE/minicatalogue_UKR_2020.10_v6.pdf)
- Vasileva, H., Koshevyi, O., Mishchenko, O., Cherednichenko, P. (2020). Thermoelastic state of multilayered road pavement. *Urban Development and Spatial Planning*, 73, 29–40. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.73.29-40>
- Gaidaichuk, V., Gustieliev, O., Radkevich, A., Shevchuk, L., Shlyun, N. (2019). Thermal elastic deformation of the layered covering on the concave part of a road. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 102, 180–190. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2019.102.180-190>
- Onyshchenko, A. M., Harkusha, M. V., Aksonov, S. Yu., Bilan, O. O. (2013). Eksperymentalnyi analiz vplyvu mikrovolokon na pidvyshchennia trishchynostiykosti ta koliestiykosti asfaltobetonnoho pokryttia vyprovuvano na kiltsevomu stendi. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 88, 89–100. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/adidb\\_2013\\_88\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/adidb_2013_88_13)
- Kushnir, O. V., Gamelyak, I. P., Raikovskiy, V. F., Klimov, U. M. (2020). Designing of a design of road clothes for transportation of large and especially heavy loads by roads of Ukraine. *Science and Education a New Dimension*, VIII (30), 53–62. <https://doi.org/10.31174/sendnt2020-244viii30-13>
- Dorozhko, Y., Batrakova, A., Tymoshevskiy, V., Zakharova, E. (2021). Ensuring adhesion between the asphalt-concrete road surface and rigid base at the roadbed design stage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 84–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235394>
- Onyshchenko, A. M. (2016). Method of Calculating Strength Grip Coating of Asphalt Roadway Bridge at Shift from Emergency Braking of Vehicle. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 4, 12–19. Available at: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/21577?show=full>
- Onyshchenko, A., Kovalchuk, V., Zagorodniy, O., Moroz, V. (2023). Determining the residual service life of polymer-modified asphalt concrete pavement on road bridges. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 41–51. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279006>
- Kovalchuk, V., Sobolevska, Y., Onyshchenko, A., Fedorenko, O., Tokin, O., Pavliv, A. et al. (2021). Procedure for determining the thermoelastic state of a reinforced concrete bridge beam strengthened with methyl methacrylate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (112)), 26–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238440>
- Al-Hadidy, A. I. (2023). Experimental Investigation on Performance of Asphalt Mixtures with Waste Materials. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 17 (4), 1079–1091. <https://doi.org/10.1007/s42947-023-00288-w>
- Zhou, F., Li, H., Chen, P., Scullion, T. (2014). Research Report FHWA/TX-14/0-6674-1: Laboratory Evaluation of Asphalt Binder Rutting, Fracture, and Adhesion tests. Texas Department of Transportation, Austin. Available at: <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/27289>
- Kim, Y. R., Lee, S., Seo, Y., El-Haggan, O. (2005). Impact of Price Reductions on the Long-Term Pavement Performance of HMA Mixes in North Carolina. Available at: <https://trid.trb.org/View/803337>

19. GLASGRID® GG. Available at: <https://asphaltgroup.co.uk/glasgrid-gg>
20. Asphalt Reinforcement. Available at: <https://eu.adfors.com/asphalt-reinforcement>
21. Investigations into the performance of asphalt inlays (2015). Test Report No. 1408005. Asphalta Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH.
22. DIN 1996-7:1992-12. Testing of asphalt; determination of bulk density, compacted density, void content and degree of compaction. Available at: <https://www.dinmedia.de/en/standard/din-1996-7/1991339>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.312989

### DEVELOPMENT OF AN ENHANCED TORQUE AND DRAG MODEL USING MACHINE LEARNING FOR OPTIMIZING DRILLING EFFICIENCY (p. 82–89)

**Aizada Sharauova**

Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5994-8184>

**Asset Kabdula**

Central European University, Vienna, Austria  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3682-7941>

**Dinara Delikesheva**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5442-4763>

**Sharau Kadirbek**

San Francisco Bay University, Fremont, United States  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0842-1705>

**Nurlan Zaripov**

Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-3885>

The object of this research is drilling process. The key is to ensure safe and efficient drilling operations by proactively identifying and eliminating critical anomalies, such as stuck pipes, that cause downtime, increase costs and degrade performance.

A machine learning model combining Multilayer Perceptron (MLP) and XGBoost was developed to predict critical parameters such as hook weight, minimum weight on bit, effective tension, and torque on bit. The model achieved 86 % accuracy in detecting drilling anomalies, including sinusoidal and spiral buckling. This enabled timely corrective actions and improving drilling efficiency.

The model's accuracy is due to its ability to process large datasets and capture complex, nonlinear relationships between drilling parameters. By training on both historical and real-time field data, it can learn patterns that are difficult to detect with traditional tools which allows to predict of drilling anomalies in real-time.

The distinctive feature of this model is its adaptability to new data, as well as its ability to predict complex phenomena like helical buckling and torque fluctuations, which are challenging for traditional methods. Unlike conventional models that need manual tuning, this model continuously learns from data, improving over time and under varying conditions.

The model can be applied practically in real-time drilling operations to optimize drilling parameters, reduce the risk of stuck pipes, and minimize non-productive time.

**Keywords:** torque and drag, machine learning, drilling efficiency, prediction of drilling parameters, neural network.

#### References

1. Mirhaj, S. A., Kaarstad, E., Aadnoy, B. S. (2016). Torque and Drag Modeling; Soft-string versus Stiff-string Models. SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/178197-ms>

2. Samuel, R., Huang, W. (2020). Dynamic Torque and Drag Model. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/201629-ms>
3. Cao, D., Hender, D., Ariabod, S., Ruddy, K., James, C. (2020). Digital Transformation Strategy Enables Automated Real-Time Torque-and-Drag Modeling. IADC/SPE International Drilling Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/199670-ms>
4. Borjas, R., Creegan, A., Perdomo, A., Caraway, J. (2017). A Synchronized Rigsite-to-Office Approach to the Management of Automated Torque and Drag Data. SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/184691-ms>
5. Brown, C., McCormick, J., Nunez, A. (2014). Improving the Decision Making Process between Drilling and Completion Using Real-Time Torque and Drag Modeling. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/170625-ms>
6. Hegde, C., Wallace, S., Gray, K. (2015). Real Time Prediction and Classification of Torque and Drag During Drilling Using Statistical Learning Methods. SPE Eastern Regional Meeting. <https://doi.org/10.2118/177313-ms>
7. Shahri, M., Wilson, T., Thetford, T., Nelson, B., Behounek, M., Ambrus, A. et al. (2018). Implementation of a Fully Automated Real-Time Torque and Drag Model for Improving Drilling Performance: Case Study. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. <https://doi.org/10.2118/191426-ms>
8. Guo, H., Luo, H., Zhan, G., Wang, B., Zhu, S. (2021). A Real-Time Friction Prediction Model for in Service Drill String Based on Machine Learning Methods Coupling with Mechanical Mechanism Analysis. SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference. <https://doi.org/10.2118/204738-ms>
9. Oyedere, M., Gray, K. (2020). Torque-on-bit (TOB) prediction and optimization using machine learning algorithms. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 84, 103623. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103623>
10. Hegde, C., Pyrcz, M., Millwater, H., Daigle, H., Gray, K. (2020). Fully coupled end-to-end drilling optimization model using machine learning. Journal of Petroleum Science and Engineering, 186, 106681. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106681>
11. Bai, K., Fan, H., Zhang, H., Zhou, F., Tao, X. (2022). Real Time Torque and Drag Analysis by Combining of Physical Model and Machine Learning Method. Proceedings of the 10th Unconventional Resources Technology Conference. <https://doi.org/10.15530/urtec-2022-3723045>
12. Ashok, P., Ambrus, A., Ramos, D., Lutteringer, J., Behounek, M., Yang, Y. L. et al. (2016). A Step by Step Approach to Improving Data Quality in Drilling Operations: Field Trials in North America. All Days. <https://doi.org/10.2118/181076-ms>
13. Pérez-Enciso, M., Zingaretti, L. M. (2019). A Guide on Deep Learning for Complex Trait Genomic Prediction. Genes, 10 (7), 553. <https://doi.org/10.3390/genes10070553>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320430

### PREDICTION OF HYDRAULIC FRACTURING PARAMETERS IN TERRIGENOUS RESERVOIRS AT RAKYTNYANSKE GAS FIELD WITH REGARD TO GEOMECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS (p. 90–98)

**Victoriia Rubel**

National University  
"Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6053-9337>

**Vadym Pshyk**

National University  
"Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9059-7313>

The object of this study is the process of fracture formation in the terrigenous reservoirs at the Rakytnyanske gas field, located in Ukraine in the Kharkiv oblast. The formation of fractures in the productive horizon has been investigated by designing hydraulic fracturing (HF), which is used to stimulate fluid inflow under the conditions of well No. 4. This method involves the use of innovative hydraulic fracturing fluids, which allows for the optimal geometry of the fractured formation, its sufficient conductivity and, ultimately, an increase in the well productivity.

Hydraulic fracturing is one of the most effective methods for improving well production, especially in low-permeability and complex formations. This technology is widely used in the oil and gas industry to develop both conventional and unconventional reservoirs. By creating a system of fractures in the reservoir, hydraulic fracturing makes it possible:

- to improve the permeability in the formation zone around the reservoir;
- to increase the area of fluid filtration through the formation to the well;
- to change the direction of fluid flow in the formation.

The basic hydraulic fracturing operation performed has resulted in a fracture with a half-length of 136.9 m, a total fracture height of 36.5 m, and a width of 0.0 mm to 3.7 mm with an average value of 1.5 mm. Thus, the crack was longer than designed under reduced profile geometry parameters. The crack formed at a high average well-head pressure of 560 kgf/cm<sup>2</sup>. During the basic hydraulic fracturing process, 120 m<sup>3</sup> of fluid and 23.9 tons of propane were injected, thereby achieving an average concentration of 2.57 kg/m<sup>2</sup>, which created conditions for the preservation of the main fracture and channels, their consolidation, as well as enabled good permeability.

The simulation results obtained using FracCADE software were successfully applied to the Rakytnyanske gas field development project in the Kharkiv oblast. By optimizing the hydraulic fracturing process in complex geological structures, it was possible to increase well production rates by more than 35 times and reduce costs.

**Keywords:** hydraulic fracturing, FracCADE, fracture conductivity, fracture geometry, terrigenous reservoir.

## References

1. Yu, J., Li, N., Hui, B., Zhao, W., Li, Y., Kang, J. et al. (2024). Experimental simulation of fracture propagation and extension in hydraulic fracturing: A state-of-the-art review. *Fuel*, 363, 131021. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131021>
2. Sherratt, J., Sharifi Haddad, A., Rafati, R. (2023). Modifying the orientation of hydraulically fractured wells in tight reservoirs: The effect of in-situ stresses and natural fracture toughness. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 36, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2023.100507>
3. Petruniak, M., Rubel, V., Chevhanova, V., Kulakova, S. (2021). Application of grout slurries with the defecate addition for effective well cementing. *Mining of Mineral Deposits*, 15 (1), 59–65. <https://doi.org/10.33271/mining15.01.059>
4. Rubel, V., Rubel, V., Surzhko, T., Goshovskyi, S. (2024). Determining the effect of vibrating wave swabbing on the functional processes in carbonate low-permeability reservoirs. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (128)), 14–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.299970>
5. Sakha, M., Nejati, M., Driesner, T. (2023). On the initiation of hydraulic fractures in anisotropic rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 169, 105429. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105429>
6. Zhao, M., Yuan, B., Liu, Y., Zhang, W., Zhang, X., Guo, W. (2024). Dynamic prediction of fracture propagation in horizontal well hydraulic fracturing: A data-driven approach for geo-energy exploitation. *Geoenergy Science and Engineering*, 241, 213182. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.213182>
7. Sun, Y., Chen, B., Edwards, M. G., Li, C. (2021). Investigation of hydraulic fracture branching in porous media with a hybrid finite element and peridynamic approach. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 116, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103133>
8. Li, X., Lei, X., Li, Q. (2023). Laboratory hydraulic fracturing in layered tight sandstones using acoustic emission monitoring. *Geoenergy Science and Engineering*, 223, 211510. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211510>
9. Li, M., Guo, P., Stolle, D., Sun, S., Liang, L. (2021). Modeling hydraulic fracture propagation in a saturated porous rock media based on EPHF method. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 89, 103887. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2021.103887>
10. Wang, F., Liu, W., Deng, J., Xu, K., Xing, C., Yan, K. (2024). Hydraulic fracture propagation research in layered rocks based on 3D FEM modeling and laboratory experiments. *Geoenergy Science and Engineering*, 234, 212670. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.212670>
11. Biletskyi, V., Horobets, L., Fyk, M., Al-Sultan, M. (2018). Theoretical background of rock failure at hydraulic seam fracture and aftereffect analysis. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (3), 45–55. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.045>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320425

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРЕДИКТИВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА (с. 6–16)**

Т. Г. Баган, В. С. Темчур, В. П. Бунь

Об'єктом дослідження є вібраційні сигнали, які були отримані від двигунів з наявними дефектами. Проблема, яка вирішувалася у рамках даного дослідження, полягає в необхідності створення точної та надійної системи предиктивної діагностики, здатної автоматично розпізнавати несправності електродвигунів, незважаючи на вплив зовнішніх шумів, складні експлуатаційні умови та схожість характеристик сигналів різних типів дефектів.

Суть отриманих результатів полягає у створенні методики, що включає кілька етапів обробки вібраційного сигналу та використання згорткової нейронної мережі (CNN) для ідентифікації та класифікації станів двигуна. На першому етапі сигнал обробляється у часовій області, де аналізуються його основні характеристики. Потім за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT) сигнал перетворюється в частотну область для виділення його спектральних компонентів. Для отримання більш інформативного представлення сигналу застосовується короткочасне перетворення Фур'є (STFT), яке дозволяє отримати частотно-часову характеристику у вигляді спектрограми. Отримані спектрограми представляють вібраційний сигнал у формі, придатній для обробки згортковою нейронною мережею, яка виконує їх подальший аналіз.

Використання CNN як основного інструменту аналізу дозволило досягти високих результатів у класифікації станів двигуна. За результатами експериментів модель показала точність 100 % у виявленні різних типів несправностей двигуна, включно з найскладнішими для діагностики станами. Такий високий рівень точності пояснюється здатністю нейронної мережі ефективно обробляти спектрограми та виявляти приховані закономірності у даних. Крім того, застосування STFT забезпечило збереження критично важливої часово-частотної інформації, яка не доступна при використанні тільки традиційного FFT.

Основною перевагою запропонованого підходу є його універсальність та адаптивність до різних типів двигунів і несправностей. Методика може бути використана у промислових умовах для автоматизованого моніторингу стану обладнання. Це дозволяє своєчасно виявляти несправності, запобігати аварійним ситуаціям, знижувати витрати на обслуговування та підвищувати загальну надійність обладнання. Запропонований підхід є особливо корисним у застосуваннях, де необхідна висока точність діагностики та швидке реагування на зміну стану двигуна.

**Ключові слова:** прогнозне технічне обслуговування, машинне навчання, вібраційний аналіз, частотний аналіз, нейронні мережі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320497

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЗНАЧЕНЬ ПЕРШОЇ ВЛАСНОЇ ЧАСТОТИ ШПИНДЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ ТА АНАЛІЗУ ДИСПЕРСІЇ (с. 17–25)**

Mohammad Alzghoul, Sarka Ferenc, Szabo Janos Ferenc

Об'єктом цього дослідження є динамічні характеристики шпиндельних систем горизонтального токарного верстата, які стикаються з проблемами, пов'язаними з вібрацією та структурною цілісністю під час високоточної обробки. Зокрема, дослідження спрямоване на покращення динамічних характеристик системи шляхом підвищення її першої власної частоти, щоб мінімізувати тріскотіння і підвищити її здатність витримувати робочі навантаження. Процес оптимізації здійснювався за допомогою методології поверхні відгуку в поєднанні з дисперсійним аналізом, двох методологій, які визнані своєю ефективністю в статистичному аналізі та плануванні експерименту. У конструкцію шпинделя було внесено зміни в два етапи: спочатку було оптимізовано розташування заднього підшипника (розташоване на кінці шпинделя навпроти патрона), а потім налаштовано геометрію валу для покращення власної частоти та стійкості до напруги при збереженні загальної маси системи однаковою. Оптимізована конструкція досягла збільшення першої власної частоти (з 529,47 Гц до 852,52 Гц) і зменшення напруги (з 250 МПа до 48,98 МПа), як підтверджено моделюванням ANSYS V19. Завдяки зсуву значення першої власної частоти зменшується ймовірність виникнення тріскотіння. Це забезпечує більш стабільну продуктивність і кращу точність обробки при більших робочих навантаженнях.

Ці висновки важливі для застосування в прецизійній обробці, де контроль вібрації та цілісність конструкції є критично важливими для продуктивності. Стаття завершується детальним порівнянням між оптимізованою та неоптимізованою моделями, а також оцінкою впливу жорсткості опори на динаміку системи. Чисельні вдосконалення підкреслюють ефективність як методології поверхні відгуку, так і дисперсійного аналізу в оптимізації продуктивності механічної системи.

**Ключові слова:** оптимізація шпинделя, зменшення тріскотіння, стабільність обробки, контроль вібрації, шпиндель токарного верстата.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320496

**ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ КУТІВ НАМОТУВАННЯ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИКОВИХ ТРУБ, АРМОВАНИХ ВУГЛЕЦЕВИМ ВОЛОКНОМ (с. 26–32)**

Mohammed Meirbekov, Abussaid Yermekov, Marat Nurguzhin, Arman Kulbekov

У цій статті досліджено армовані вуглецевим волокном пластикові труби, які широко використовуються в більшості технічних галузей промисловості, включаючи аерокосмічну промисловість, з одним і комбінованим кутом намотування (30°, 45°, 60° і 80°), виготовлених методом мокрого намотування на машині X-Winder. Основною проблемою, яка розглядається в цьому дослідженні, є визначення оптимальних кутів намотування пластикових труб, армованих вуглецевим волокном, при яких параметри міцності залишаються у відносній рівновазі. Були проведені випробування на міцність на стиск, міцність на розтяг і ударну міцність.

Результати зразків з одним кутом намотування показали, що максимальна міцність на розрив 630 МПа була досягнута при кути намотування  $\pm 30^\circ$ , а максимальна міцність на стиск 380 МПа була досягнута під кутом  $\pm 80^\circ$ . Максимальне значення ударної міцності було досягнуто при кути намотування  $\pm 60^\circ$ . Для отримання балансу характеристик міцності трубчастих стрижнів досліджувалась комбінована армована намотка з кутами  $\pm 30^\circ/45^\circ$ ,  $\pm 30^\circ/60^\circ$ ,  $\pm 30^\circ/80^\circ$ ,  $\pm 80^\circ/45^\circ$  та  $80^\circ/60^\circ$ . Високі значення міцності на стиск 434 МПа, міцності на розтяг 675 МПа та ударної міцності 165 кДж/м<sup>2</sup> були досягнуті при комбінованому кути намотування  $\pm 30^\circ/80^\circ$ . Волокна матеріалу, які були орієнтовані ближче до напрямку стиснення, призводили до зниження ефективності передачі зусиль стиску між волокнами та зниження міцності на стиск. Цей рівномірний розподіл напруги дозволив рівномірно розподілити навантаження між волокнами, що ефективно використовувало їх міцнісні властивості. Таким чином, результати підтвердили важливість вибору оптимальних кутів намотування для створення пластикових труб, армованих вуглецевим волокном, з необхідними міцнісними властивостями.

**Ключові слова:** вуглепластикові труби, епоксидна смола, міцність волокна, ударна в'язкість, розподіл напружень, кути намотування, волокно, матриця.

DOI 10.15587/1729-4061.2025.319437

#### ОЦІНКА СТЕПЕНІ УТИЛІЗАЦІЇ КОРПУСУ РАКЕТИ-НОСІЯ З ПОЛІОЛЕФІНІВ В АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ (с. 33–43)

М. М. Дронь, Е. О. Лапханов, О. В. Голубек, А. Ю. Дреус, О. С. Косіцина, Л. Г. Дубовик

Об'єктом дослідження є процес утилізації корпусу верхнього ступеня ракети-носія виготовленого з поліолефінів шляхом спалювання в щільних шарах атмосфери Землі при відведенні з навколоземної орбіти. Досліджувалась проблема визначення можливості утилізації корпусів верхніх ступенів ракет-носіїв з поліолефінів під час відведення з орбіти.

Розроблена математична модель дозволяє одночасно враховувати дію балістичних та аеротермодинамічних аспектів. Застосування цієї моделі дає можливість оцінити ступінь утилізації корпусів верхніх ступенів ракет-носіїв з поліолефінів в атмосфері Землі на стадії науково-дослідних робіт. В свою чергу, це дає можливість раціонального вибору проектних параметрів матеріалів корпусів ступенів ракет-носіїв з урахуванням фази утилізації в щільних шарах атмосфери, а також раціонального вибору початкових параметрів орбіт відведення. Це дозволяє максимізувати рівень утилізації та мінімізувати імовірність падіння уламків на незаселені території Землі.

Результати дослідження показали, що корпуси ракет-носіїв з полімерних матеріалів типу поліетилен та поліпропілен можуть згорати на атмосферній ділянці траєкторії на 90–100 % в залежності від масогабаритних характеристик та типу орбіти. В свою чергу, збільшення еліптичності орбіти дозволяє збільшувати крутизну входу верхнього ступеня ракети-носія в щільні шари атмосфери, а звідси, і збільшувати теплові потоки, що сприяють згоранню корпусу. З огляду на це сформовано методичні рекомендації для вибору орбіт необхідної еліптичності із врахуванням місця падіння уламків верхніх ступенів ракет-носіїв, що не згоріли в атмосфері.

**Ключові слова:** утилізація корпусу ракети-носія з поліолефінів, математична модель відведення з орбіти, вплив теплових потоків на нагрівання корпусу, атмосферна ділянка траєкторії, заатмосферна ділянка траєкторії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320494

#### ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ВІДСТАНІ МІЖ КАБІНОЮ ВОДІЯ І НАПІВПРИЧЕПОМ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ АВТОПОЇЗДА (с. 44–51)

Д. Б. Бегерський, І. В. Вітюк, А. О. Коваль, А. В. Голубовський, М. М. Перегуда

Об'єктом дослідження є аеродинамічний опір магістрального автопоїзда та його вплив на ефективність перевізного процесу.

Зменшення аеродинамічного опору автопоїздів є важливою проблемою, оскільки від нього залежить витрата палива і ефективність перевезень. Зменшення аеродинамічного опору на 2 % зменшує витрату палива на 1 %. Зменшення аеродинамічного опору досягається використанням спеціальних аеродинамічних пристроїв. Але їх використання створює ряд проблем – збільшення маси автопоїзда та його габаритних розмірів і ін.

Зроблено припущення, що шляхом підбору раціональної відстані між кабіною і напівпричепом автопоїзда можна суттєво зменшити витрату палива.

Отримані результати показують, що сумарний аеродинамічний опір автопоїзда суттєво залежить від відстані між кабіною водія і напівпричепом. Це пояснюється тим, що у просторі між кабіною і напівпричепом виникають завихрення повітряного потоку, що призводить до збільшення аеродинамічного опору. Отримана залежність надлишкового тиску у просторі між кабіною і напівпричепом від відстані між ними дає можливість визначити два діапазони відстаней де цей тиск буде мінімальним. На відміну від відомих досліджень, результати моделювання дають змогу встановлення раціональної відстані між кабіною і напівпричепом автопоїзда з точки зору отримання мінімального сумарного аеродинамічного опору. Проте, зміна відстані між кабіною і напівпричепом може впливати на показники керованості та стійкості автопоїзда.

Отримані результати можуть бути використані при розробці конструкцій напівпричепів, які забезпечать зменшення сумарного аеродинамічного опору автопоїздів. А це призведе до зменшення витрати палива на виконання перевізного процесу.

**Ключові слова:** сила опору повітря, аеродинаміка магістральних автопоїздів, CFD моделювання аеродинаміки автопоїзда, витрата пального, аеродинамічний опір, вплив відстані між кабіною і кузовом на аеродинаміку.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320431

#### ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕДІНКИ СКЛЯНОЇ ПАНЕЛІ В УМОВАХ НАГРІВУ ПРИ ПОЖЕЖІ (с. 52–61)

В. С. Некора, С. В. Поздеев, О. В. Некора, С. М. Федченко, В. В. Ніжник, А. Ю. Новгородченко, Т. М. Шналь

Об'єктом дослідження є процеси нагріву та деструкції скління у світлопрозорих елементах огорожувальних конструкцій. У статті наведено дані щодо комп'ютерного моделювання поведінки скляної панелі при її односторонньому нагріванні за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі. За допомогою комп'ютерного моделювання скляної панелі в умовах

теплого впливу було відтворено процес теплопередачі на основі використання нестационарного рівняння теплопровідності. Напружено-деформований стан скляної панелі був розглянутий за допомогою методу скінчених елементів. Тепловий вплив був скомбінований із механічним навантаженням за рахунок надлишкового тиску, що може виникати у приміщенні, де виникає та розвивається пожежа. Для дослідження поширення тріщин у склі було застосовано критерій міцності за моделлю Джонсона-Холмквіста. У результаті комп'ютерного моделювання на основі математичної моделі було отримано дані щодо динаміки утворення та поширення тріщин у скляній панелі в умовах нагрівання за стандартним температурним режимом пожежі. Показано, що скляна панель руйнується внаслідок утворення системи розгалужених тріщин, що підтверджується емпіричним досвідом. Руйнування скляної панелі було пов'язано із настанням граничного стану втрати цілісності, і за такою ознакою було зафіксовано її межа вогнестійкості.

У роботі проведений порівняльний аналіз отриманих даних із результатами експериментальних досліджень. У результаті проведеного порівняльного аналізу показано, що отримані результати є адекватними, оскільки їх відносна похибка у середньому складає не більше 8 %, а F-критерій адекватності при рівні значущості 0,05 не перевищує табличного значення. На основі отриманих результатів доведено можливість його застосування для достовірного аналізу вогнестійкості огорожувальних елементів будівельних конструкцій.

**Ключові слова:** термостійкість скла, огорожувальні будівельні конструкції, скляні панелі, межа вогнестійкості, розрахунковий метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320495

### ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОЗДОБЛЕННЯ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ФЛЕКСОГРАФІЧНОГО ТА ЦИФРОВОГО ДРУКУ (с. 62–72)

С. Ф. Гавенко, В. В. Довганич, В. В. Кочубей

Інтенсивне використання виробів тиссю, спонукає виробників продукції до пошуку нових технологій їх оздоблення, а дослідників – до вивчення чинників впливу на якість готової продукції.

При оздобленні санітарно-гігієнічних виробів використовують флексографічний друк, який ефективний при великих накладках. Для задрукування паперу тиссю малих накладів рекомендують цифровий друк. Тому об'єктом дослідження були відбитки флексографічного та цифрового ink-jet друку. У результаті досліджень виявлено, що в діапазоні від 50 до 100 % надрукованої контрольної шкали, оптична щільність на відбитку флексографічного друку для всіх кольорів СМΥК вдвічі більша, ніж в цифровому друці. Оптична щільність відбитків цифрового друку зростає пропорційно насиченості кольору.

Визначено оптимальну кількість люмінофору, який забезпечує ефект люмінесценції надрукованих зображень на відбитках флексографічного друку. У процесі друкування папір тиссю піддається впливу температурних режимів. Проведені термогравіметричні дослідження друкарських фарб з домішками люмінофору та відбитків. Початкові термоокисні процеси у фарбовій композиції починають розвиватись за температур, вищих 187 °С. Спостерігається незначна втрата маси (1,1 %) композиції в інтервалі 187–236 °С, яка супроводжується відхиленням каналу ДТА в область екзотермічних ефектів, що зумовлено термоокисленням люмінофору. Визначено оптимальну кількість люмінофору, який забезпечує ефект люмінесценції на відбитку. Показано вплив структури виробів тиссю та площі їх задрукування на стійкість до продавлювання. За допомогою коефіцієнта конкордації Кендалла визначено ступінь узгодженості думок експертів щодо пріоритетності факторів впливу на якість виробів тиссю.

**Ключові слова:** санітарно-гігієнічні вироби, флексографічний та цифровий друк, люмінесцентні домішки, якість відбитків.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320426

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ АРМУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИВУ СИНТЕТИЧНИМИ СІТКАМИ НА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ (с. 73–81)

А. М. Онищенко, В. В. Ковальчук, Д. Ю. Гусев, Д. В. Аніщенко, М. А. Тимошин, О. Е. Цеханський, А. В. Рубльов, І. В. Мельник

Об'єктом дослідження є асфальтобетонний покрив, верхній шар якого армований синтетичним матеріалом GlasGrid. Предметом досліджень є експлуатаційні показники асфальтобетонного покриття.

Проведено експериментальні дослідження впливу армованого асфальтобетону синтетичними сітками на розвиток колійності та міцності зчеплення між шарами.

Встановлено, що армування асфальтобетонного покриття синтетичними сітками зменшує колійність. При 10 000 циклах навантаження та температурі 50 °С, середнє значення глибини колії в зразках-плитах без армуючої сітки склало 3,8 мм, а при температурі 60 °С – 3,7 мм. У випадку армування верхнього шару сіткою GlasGrid® GG100, глибина колії при робочій температурі 50 °С склала 3,3, а при робочій температурі 60 °С – 2,6 мм. При загальній кількості 20 000 циклів навантажень середнє значення глибини колії, без армування зразку-плити становлять 7,5 мм, а при армуванні – 5,9 мм.

Встановлено, що колієстійкість зразків-плит із армуючими синтетичними сітками, у порівнянні із зразками-плитами без армуючого матеріалу, після першого етапу випробувань склала 13,2 % та 29,7 % після другого етапу випробувань.

Встановлено, що максимальна вертикальна сила зсуву, яка виникає при руйнуванні асфальтобетонних шарів без армування є вищою, за асфальтобетонні шари армовані синтетичною сіткою. Величини вертикальних сил зсуву без армування зразків становить 21,63 кН та 18,46 кН при армування зразків синтетичною сіткою. При цьому максимальні напруження зсуву між шарами асфальтобетонних зразків-кернах без армування складають 1,169 МПа, а з армуванням – 0,988 МПа.

Армування верхнього шару асфальтобетонного покриття синтетичними сітками призведе до підвищення довговічності асфальтобетонного покриття проїзних частин автомобільних доріг.

**Ключові слова:** асфальт, синтетичні сітки, армування, колійність, зчеплення між асфальтобетонними шарами.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.312989

### РОЗРОБКА ПОКРАЩЕНОЇ МОДЕЛІ КРУТНОГО МОМЕНТУ ТА ОПОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СВЕРДЛІННЯ (с. 82–89)

Aizada Sharaouva, Asset Kabdula, Dinara Delikesheva, Sharau Kadirbek, Nurlan Zaripov

Об'єктом дослідження є процес буріння. Головне – забезпечити безпечні та ефективні операції буріння шляхом проактивного виявлення та усунення критичних аномалій, таких як застрягли труби, які спричиняють простой, збільшують витрати та погіршують продуктивність.

Модель машинного навчання, що поєднує багатошаровий перцептрон і XGBoost, була розроблена для прогнозування таких критичних параметрів, як вага гака, мінімальна вага на долоті, ефективне натягнення та крутний момент на долоті. Модель досягла 86 % точності у виявленні аномалій буріння, включаючи синусоїдальний і спіральний вигин. Це дозволило вчасно вжити коригувальних заходів і підвищити ефективність буріння.

Точність моделі зумовлена її здатністю обробляти великі масиви даних і фіксувати складні нелінійні зв'язки між параметрами буріння. Навчаючись як на історичних даних, так і на польових даних у реальному часі, він може вивчати закономірності, які важко виявити за допомогою традиційних інструментів, що дозволяє передбачити аномалії буріння в режимі реального часу.

Відмінною рисою цієї моделі є її адаптивність до нових даних, а також її здатність передбачати складні явища, такі як гвинтові прогинання та коливання крутного моменту, які є складними для традиційних методів. На відміну від звичайних моделей, які потребують ручного налаштування, ця модель постійно навчається на основі даних, удосконалюючи з часом і за різних умов.

Модель може бути застосована практично в бурових операціях у реальному часі для оптимізації параметрів буріння, зниження ризику застрягання труб і мінімізації непродуктивного часу.

**Ключові слова:** крутний момент і опір, машинне навчання, ефективність буріння, прогнозування параметрів буріння, нейронна мережа.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.320430

### ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОРОЗРИВУ ПЛАСТА В ТЕРИГЕННИХ КОЛЕКТОРАХ РАКИТНЯНСЬКОГО РОДОВИЩА З УРАХУВАННЯМ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД (с. 90–98)

В. П. Рубель, В. Я. Пшик

Об'єктом дослідження є процес утворення тріщини в теригенних колекторах Ракитнянського родовища, яке розташовано в Україні на території Харківської області. Досліджується утворення тріщин у продуктивному горизонті, шляхом проектування гідравлічного розриву пласта (ГРП), який використовується для стимуляції припливу флюїду в умовах роботи свердловини № 4. Цей метод передбачає використання інноваційних рідин для проведення ГРП, що дозволяє створити оптимальну геометрію закріпленої тріщини, отримати достатню її провідність та в кінцевому результаті підвищити продуктивність свердловини.

ГРП є одним з найефективніших методів підвищення дебіту свердловин, особливо в умовах низькопроникних і складних за будовою пластів. Ця технологія широко застосовується в нафтогазовій промисловості для розробки як традиційних, так і нетрадиційних колекторів. Завдяки створенню системи тріщин у пласті, ГРП дозволяє:

- покращити проникність навколосвердловинної зони пласта;
- збільшити площу фільтрації флюїду по пласту до свердловини;
- змінити напрямок потоку флюїду в пласті.

В результаті проведеного основного ГРП отримали тріщину, напівдовжиною 136,9 м, загальною висотою розриву 36,5 м та шириною від 0,0 мм до 3,7 мм з середнім значенням 1,5 мм. Таким чином, утворилася довша тріщина ніж проектувалася при зменшених її параметрах геометрії профілю. Тріщина утворилася при високому середньому тиску на усті свердловини 560 кгс/см<sup>2</sup>. У процесі основного ГРП було закачано 120 м<sup>3</sup> рідини і 23,9 т пропанту та досягнуто його середню концентрацію в 2,57 кг/м<sup>3</sup>, що створило умови для збереження основної тріщини і каналів, їх закріплення та забезпечило гарну проникність.

Результати моделювання, отримані за допомогою програмного забезпечення FracCADE, були успішно застосовані в проєкті з розробки Ракитнянського газового родовища в Харківській області. Завдяки оптимізації процесу ГРП в умовах складних геологічних структур вдалося збільшити дебіт свердловин більше ніж у 35 разів і знизити витрати.

**Ключові слова:** гідравлічний розрив пласта, FracCADE, провідність тріщини, геометрія тріщини, теригенний колектор.