

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349977

DETERMINING PATTERNS IN THE LONGITUDINAL LOADING OF THE MODERNIZED CARRIER STRUCTURE OF AN OPEN WAGON FOR TRANSPORTING LONG CARGOES (p. 6–12)

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

Nurlana Karimova

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5387-9782>

This study investigates processes related to the occurrence, acceptance, and redistribution of loads in the modernized supporting structure of a railroad open wagon. The task addressed is to improve the efficiency of transporting long-length cargo by rail.

The work proposes that the bearing structure of an open wagon should be modernized by dismantling the end walls or doors. This makes it possible to reduce the sprung mass of the bearing structure of the gondola by more than 1 t and, accordingly, to increase the load capacity by the same amount.

To substantiate the proposed modernization, the strength of the bearing structure of an open wagon moving in a train was calculated. The longitudinal loads acting on the bearing structure of the open wagon were determined by mathematical modeling. The calculated acceleration value was taken into account when studying the stress state of the bearing structure of the open wagon. It was established that its strength is maintained as the calculated stresses are 14.5% lower than the permissible ones. In addition, as part of the study, a modal analysis of the bearing structure of the open wagon was conducted. The calculation results showed that traffic safety from the point of view of modal analysis is observed.

A feature of the proposed modernization is that, if necessary, the bearing structure of the open wagon can be returned to the original version.

The scope of practical application of the reported results is the transportation industry, in particular railroad transport.

A condition for practical use of the results is symmetrical loading of the bearing structure of the open wagon with cargo.

This study could contribute to compiling recommendations for increasing the efficiency of transportation of long-length cargo by rail.

Keywords: railroad transport, open wagon, structural modernization, stressed state of the structure, transportation of long-length cargo.

References

- Reidemeister, A., Muradian, L., Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Kyryl'chuk, O., Kalashnyk, V. (2020). Improvement of the open wagon for cargoes which imply loading with a "hat." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 985 (1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012034>
- Baranovskyi, D., Bulakh, M., Bulakh, M. (2026). Determining the service life of a gondola car with an increased floor body safety factor. Reliability Engineering & System Safety, 266, 111670. <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.111670>
- Liu, W., Zhang, L., Bi, C., Gao, Z., Pu, X. (2022). Correlation Research between Asymmetry Coefficient of Gondola Car Body and Stress Distribution of Cross Bearer Weld. Processes, 11 (1), 98. <https://doi.org/10.3390/pr11010098>
- Stoilov, V., Purgic, S. (2025). Optimization of the Technical Parameters of Universal Freight Wagons. Applied Sciences, 15 (23), 12673. <https://doi.org/10.3390/app152312673>
- Bulakh, M. (2025). Freight wagon body design with increased load capacity. Scientific Reports, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97152-7>
- Banić, M., Purgić, S., Miltenović, A., Slavchev, S., Maznichki, V. (2019). Lightweight design of high sided open freight wagon series EAMNO. Machine design, 11 (1), 13–16. Available at: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/94306187/p4-libre.pdf?1668548677=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLIGHTWEIGHT_DESIGN_OF_HIGH_SIDED_OPEN_FR.pdf&Expires=1768562879&Signature=EltkX35R9VW2ed1Z5mlJ1PBjfiZAJca-7Z8aeSoLVwt1ACwktwbZ2p1Lrqn1BhoRS4KsrbyVmvAc0xRT4HKN73PwPGOLqT5QyrMu~TXZeWgv26rVq8Xt7nud6G-ueipA5~pM-DCFQ8RIN~cpCyKSj4pTAyvRDYOWau0sRFH4qSWqbRb1h12JgIZvOGCAdubyzEgd7XXYewy8sFFcFZkhIzUWFLNE7LCLL~82W~oFbKeRFm25OLI10FiUQlrYQ-ARKnIvLSVpkhcalJ6GI~y8-zDwup4hTcdEWCyj3wRR5O-typ8Pd3cBF3bhDruU08RAjKqSwYN14GPCovg6Oyw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Tang, J., Zhou, Z., Chen, H., Wang, S., Gutiérrez, A. (2022). Research on the lightweight design of GFRP fabric pultrusion panels for railway vehicle. Composite Structures, 286, 115221. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115221>
- Lee, W. G., Kim, J.-S., Sun, S.-J., Lim, J.-Y. (2016). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 232 (1), 25–42. <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>
- Kondratiev, A. V., Kovalenko, V. O. (2019). Optimization of design parameters of the main composite fairing of the launch vehicle under simultaneous force and thermal loading. Space Science and Technology, 25 (4), 3–21. <https://doi.org/10.15407/knit2019.04.003>
- Fang, J., Li, X., Zhang, D., Zhang, X., Shao, W. (2022). Research on Load Reverse Engineering and Vibration Fatigue Analysis Technology of Rapid Box Wagon. Materials, 15 (23), 8322. <https://doi.org/10.3390/ma15238322>
- Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad. Vinnytsia, 106. Available at: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/600>
- Siasiev, A. V. (2004). Vstup do systemy MathCad. Dnipropetrovsk, 108. Available at: https://mmf.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2020/01/mathcad_sayt.pdf
- Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (120)), 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
- Koshel, O., Saponova, S., Kara, S. (2023). Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling stock to further improve them. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (7 (124)), 30–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894>
- Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2017). Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame. MATEC Web of Conferences, 134, 00010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400010>

16. Dizo, J., Blatnický, M., Skocilasova, B. (2015). Computational Modeling of the Rail Vehicle Multibody System Including Flexible Bodies. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 17 (3), 31–36. <https://doi.org/10.26552/com.c.2015.3.31-36>
17. Štastniak, P., Rakár, M., Tižek, J. (2023). Design of a Height-Adjustable Boarding System for a New Double-Deck Railway Vehicle. *Acta Mechanica et Automatica*, 17 (1), 44–51. <https://doi.org/10.2478/ama-2023-0005>
18. Yang, R., Zhang, W., Li, S., Xu, M., Huang, W., Qin, Z. (2023). Finite Element Analysis and Optimization of Hydrogen Fuel Cell City Bus Body Frame Structure. *Applied Sciences*, 13 (19), 10964. <https://doi.org/10.3390/app131910964>
19. Silva, R., Ribeiro, D., Bragança, C., Costa, C., Arêde, A., Calçada, R. (2021). Model Updating of a Freight Wagon Based on Dynamic Tests under Different Loading Scenarios. *Applied Sciences*, 11 (22), 10691. <https://doi.org/10.3390/app112210691>
20. Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2015). Multibody System of a Rail Vehicle Bogie with a Flexible Body. *Manufacturing Technology*, 15 (5), 781–788. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2015/a/1213-2489/mt/15/5/781>
21. Dižo, J., Steišunas, S., Blatnický, M. (2017). Vibration Analysis of a Coach with the Wheel-flat Due to Suspension Parameters Changes. *Procedia Engineering*, 192, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.019>
22. Smetanka, L., Hřeček, S., Štastniak, P. (2019). Investigation of railway wheelset profile wear by using computer simulation. *MATEC Web of Conferences*, 254, 02041. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402041>
23. Dizo, J., Blatnický, M. (2019). Evaluation of Vibrational Properties of a Three-wheeled Vehicle in Terms of Comfort. *Manufacturing Technology*, 19 (2), 197–203. <https://doi.org/10.21062/ujep/269.2019/a/1213-2489/mt/19/2/197>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353102

DEFINITION OF RELIABILITY PARAMETERS OF THE SPACER PLATE OF A JAW CRUSHER DEPENDING ON THE CHARACTERISTICS OF THE WORKING ENVIRONMENT AND THE MATERIAL OF MANUFACTURE (p. 13–25)

Ivan Nazarenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

Yevhen Mishchuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7850-0975>

Viktor Nechiporuk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8091-2420>

Dmytro Albeshchenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7809-124X>

Ivan Pereginets

Academy of Construction of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3812-6509>

The object of the study is the spacer plate of a Jaw crusher. The Jaw crusher is the main machine in the crushing and sorting

scheme. An unexpected failure of one of the crusher parts leads to a stoppage of the entire scheme. One of the important parts of the crusher is the spacer plate, which is in a complex, alternating stress state.

The paper investigates the reliability parameters of the spacer plate of a jaw crusher in the processes of crushing crushed stone, which is an aggregate in the manufacture of concrete. The calculation of the strength of the spacer plate in existing methods is carried out using empirical formulas. A number of functional methods are also used. However, most functional methods have inherent shortcomings that are built on statistical approaches, which can lead to inaccurate reproduction of the picture of the failure of machine elements. In the work, the problem is solved by using a combined model, namely the linear damage accumulation algorithm in combination with a finite element model to which the Weibull distribution is added, which is the most universal method of functional distribution for determining the limit states of parts and machine assemblies. Such a solution allows to determine the reliability parameters and establish a real picture of the process. A solid-state model of a jaw crusher has been developed and the loads applied to the spacer plate have been calculated.

Using the nCode EN Constant and nCode EN TimeSeries presets, which are built into the ncode DesignLife product of Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (Germany), the parameters of the failure life and fatigue strength of the crusher spacer plate were determined. In the nCode EN TimeSeries preset, the WeibullAnalysis glyph was used for data analysis. The results of the study can be used in studies of a wide range of machines to determine the limit states of machine parts and assemblies.

Keywords: jaw crusher, spacer plate, model, Weibull distribution, parameters, failure, reliability.

References

1. Fang, K.-T., Lin, Y.-X., Deng, Y.-H. (2025). A Review: Construction of Statistical Distributions. *Entropy*, 27 (12), 1188. <https://doi.org/10.3390/e27121188>
2. Li, Z., Fu, H., Guo, J. (2025). Reliability Assessment of a Series System with Weibull-Distributed Components Based on Zero-Failure Data. *Applied Sciences*, 15 (5), 2869. <https://doi.org/10.3390/app15052869>
3. Li, H. L. (2015). A Reliability Analysis of NC Machine Tools Based on the Weibull Distribution. *Applied Mechanics and Materials*, 741, 763–767. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.741.763>
4. Yu, N. H., Zhang, Z. X., Wang, Z., Zhang, X. P. (2011). Weibull-Distribution-Based Method of Bayesian Reliability Evaluation for Machining Center. *Advanced Materials Research*, 317-319, 1949–1953. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.317-319.1949>
5. Wang, Z. M., Yang, J. G. (2011). Reliability Assessment of Numerical Control Machine Tools Using Weibull Mixture Models. *Advanced Materials Research*, 181-182, 161–165. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.181-182.161>
6. Chen, C. H., Yang, Z. J., Chen, F., Hao, Q. B., Xu, B. B., Kan, Y. N., Li, G. F. (2013). The Study of Reliability Modeling of Machining Center Based on Blocks and Weibull++. *Applied Mechanics and Materials*, 274, 49–52. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.274.49>
7. Barraza-Contreras, J. M., Piña-Monarez, M. R., Torres-Villaseñor, R. C. (2023). Reliability by Using Weibull Distribution Based on Vibration Fatigue Damage. *Applied Sciences*, 13 (18), 10291. <https://doi.org/10.3390/app131810291>
8. Zhang, C. W. (2021). Weibull parameter estimation and reliability analysis with zero-failure data from high-quality products. *Reliability*

- Engineering & System Safety, 207, 107321. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107321>
9. Pasanisi, A., Roero, C., Remy, E., Bousquet, N. (2015). On the Practical Interest of Discrete Inverse Pólya and Weibull-1 Models in Industrial Reliability Studies. *Quality and Reliability Engineering International*, 31 (7), 1161–1175. <https://doi.org/10.1002/qre.1845>
 10. Zhang, Q., Hua, C., Xu, G. (2014). A mixture Weibull proportional hazard model for mechanical system failure prediction utilising lifetime and monitoring data. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 43 (1-2), 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2013.10.013>
 11. Biały, W., Prostański, D., Korbiel, T., Kuric, I. (2024). Weibull distribution as a criterion of emergency levels. *Acta Montanistica Slovaca*, 29 (1), 216–226. <https://doi.org/10.46544/ams.v29i1.19>
 12. Nazarenko, I., Dedov, O., Mishchuk, Y., Slipetskyi, V., Delembovskyi, M., Zalisko, I., Nesterenko, M. (2021). Research of stress-strain state of elements of technological technical constructions. *Dynamic Processes In Technological Technical Systems*, 140–179. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch8>
 13. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, I., Zapryvoda, A., Ruchynskyi, M., Bondarenko, A. (2025). Determining the rational energy level for processing environments of different structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (137)), 55–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341458>
 14. Gómez, Y. M., Gallardo, D. I., Marchant, C., Sánchez, L., Bourguignon, M. (2023). An In-Depth Review of the Weibull Model with a Focus on Various Parameterizations. *Mathematics*, 12 (1), 56. <https://doi.org/10.3390/math12010056>
 15. Mu, F. S., Li, H., Li, X. X., Xiong, H. Z. (2013). Jaw Crusher Based on Discrete Element Method. *Applied Mechanics and Materials*, 312, 101–105. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.312.101>
 16. Oloyede, O., Cochrane, R. F., Mullis, A. M. (2017). Effect of rapid solidification on the microstructure and microhardness of BS1452 grade 250 hypoeutectic grey cast iron. *Journal of Alloys and Compounds*, 707, 347–350. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.08.214>
 17. Boardman, B. E. (1982). Crack Initiation Fatigue – Data, Analysis, Trends and Estimation. *SAE Technical Paper Series*, 1. <https://doi.org/10.4271/820682>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353019

EFFECT OF CONCENTRATED IMPULSE LOADING (IMPACT) ON MASSIVE, GLULAM, AND CROSS-LAMINATED TIMBER BEAMS (p. 26–37)

Dmytro Bitiukov

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1438-7595>

Serhiy Bilyk

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

In this study, massive, glulam, and cross-laminated timber beams of rectangular cross-section were examined under a concentrated impulse loading (impact).

The task addressed was to determine and compare the deformation and dynamic characteristics of beams made of different types of timber under short-term impact.

During experimental studies, dependences of displacements over time were established; oscillation oscillograms were constructed; spectral analysis was performed, and the frequencies of free os-

cillations ($f_{MT,exp} = 75$ Hz, $f_{GLT,exp} = 73$ Hz, $f_{CLT,exp} = 67$ Hz) and logarithmic damping decrements ($\beta_{MT,mean} = 0.222$, $\beta_{GLT,mean} = 0.100$, $\beta_{CLT,mean} = 0.092$) were determined for each type of beam. It was found that a cross-laminated timber beam is characterized by the lowest deformation resistance and the lowest oscillation damping rate. Glue-laminated timber (glulam), in comparison with solid timber, demonstrates a smaller maximum displacement and a lower oscillation damping rate.

The results are attributed to the peculiarities of internal structure of the materials, the orientation of the fibers, the presence of adhesive layers, and the nature of the interlayer interaction, which significantly affect the stiffness, damping properties, and distribution of impact energy.

A distinctive feature of the findings is the experimentally confirmed comparison of the dynamic response of beams made of different wooden based materials under the same loading conditions, which made it possible to reasonably assess their effectiveness under the action of impulse influences and solve the research problem.

This study's results could be used in the design of timber load-bearing elements of buildings and structures subjected to dynamic or impact loads, as well as to refine calculation models, determine dynamic coefficients, and assess the effectiveness of using solid, glued, and cross-glued wood.

Keywords: timber beams, natural vibrations, damping decrement, impact, dynamic loading.

References

1. Mykhailovskyi, D., Komar, O., Komar, M. (2022). Engineering method of calculating laminated timber elements reinforced with composite tapes. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 109, 239–262. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.239-262>
2. Komar, M., Mykhailovskyi, D. (2024). Definition of the stress-strain state of a glued laminated timber beam reinforced with composite strips using experimental method. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 112, 43–51. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.43-51>
3. Polishchuk, M. V. (2023). Napruzhenno-deformovanyi stan zghynalnykh elementiv z kleiatoi derevyny z kombinovanyim armuvanniam. *Rivne*, 168. Available at: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/25048>
4. Gomon, S. S., Gomon, P. S., Homon, S. S., Puhach, Y. V. (2024). Concerning the need to use the deformation model in the calculation of wooden structures. *Resource-saving materials, structures, buildings and structures*, 46, 185–191. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.21>
5. Mykhaylovskyi, D., Komar, M. (2022). Analysis of the stress-strain state of laminated timber beams reinforced with composite tapes. *Academic Journal Industrial Machine Building Civil Engineering*, 2 (57), 90–97. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2590>
6. Mykhaylovsky, D., Komar, M. (2020). Engineering method of calculation of elements made of glued timber reinforced with composite reinforcement. *Building Constructions. Theory and Practice*, 7, 93–100. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.93-100>
7. Mykhailovskyi, D. (2021). Method of calculation of panel buildings from cross-laminated timber. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 107, 75–88. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.75-88>
8. Mykhailovskyi, D. (2023). Modeling and calculation of panel buildings made of cross-laminated timber. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, 164–177. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.164-177>
9. Karagöz İşleyen, Ü., Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Anıl, Ö., Tuğrul Erdem, R. (2023). Investigation of impact behavior of glulam beam

- strengthened with CFRP. Structures, 51, 196–214. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.038>
10. Böhm, N., Vogelsberg, A., Kühn, B. (2024). Bending and Vibration Behaviour of CLT-Steel Composite Beams. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 34 (1), 75–88. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.34.1.35467>
 11. Kara Alaşalvar, M. A. (2025). Effects of Loading Type and Loading Rate on Glulam Sipo Timber Beams for Flexural Loading. Black Sea Journal of Engineering and Science, 8 (1), 1–10. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1557319>
 12. Chapman, J., Reynolds, T., Harris, R. (2012). A 30 level cross laminated timber building system and analysis of the eurocode dynamic wind loads. 12th World Conference on Timber Engineering. Available at: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rc=1&op=89978449&url=https://reynoldstom.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/08/30-level-clt-building.pdf&ved=2ahUKewjju_xw7CSAxWfORAIHdUZIRYQfnoECBsQAQ&usg=AOvVaw3BLn3vQumkQi7-GlcfVTOB
 13. Nuzhnyj, V., Bilyk, S. (2024). Revealing the influence of wind vortex shedding on the stressed-strained state of steel tower structures with solid cross-section. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (1 (129)), 69–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306181>
 14. Ternoviy, M., Bilyk, A. (2025). Selection of the rational height of the steel roof trusses taking into account the effect of the impulse load. Strength of Materials and Theory of Structures, 114, 231–240. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.114.231-240>
 15. DSTU-N B EN 1991-1-4:2010 Yevrokod 1. Diyi na konstruktivniy. Chasty-na 1-4. Zahalni diyi. Vitrovi navantazhennia (EN 1991-1-4:2005, IDT). Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26648
 16. Bitiukov, D., Bilyk, S. (2025). Determination and analysis of physical and mechanical properties of solid, glued laminated and cross-laminated timber beams. Spatial Development, 11, 265–281. Available at: <https://spd.knuba.edu.ua/article/view/348696>
 17. Bilyk, S., Bitiukov, D. (2025). Comparison of experimentally obtained and theoretically determined in the Dlubal RFEM 5 software physical and mechanical properties of massive, glued laminated and cross-laminated timber beams. Strength of Materials and Theory of Structures, 114, 101–110. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.114.101-110>
 18. Bitiukov, D. (2025). Comparison of theoretical calculated deflections according to the Euler-Bernoulli and Eymoshenko beam models with experimentally obtained. Building Constructions. Theory and Practice, 16, 100–109. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.16.2025.100-109>
 19. Tolasa, D. G. (2025). Theoretical Analysis of a Simple Pendulum Experiment. International Journal of Current Research in Science, Engineering & Technology, 8 (1), 214–218. <https://doi.org/10.30967/ijcset/diriba-gonfa-tolasa/168>
 20. Artomov, V. (2025). Yak vyznachyty chastoty i period vlasnykh kolyvan balky. Dystlab. Available at: <https://dystlab.store/uk/blog/engineering/203-20230403>
 21. Timoshenko, S. (1937). Vibration Problems in Engineering. New York: D. Van Nostrand Company, Inc. Available at: <https://archive.org/details/vibrationproblem031611mbp/page/n3/mode/2up>
 22. Ozymok, Y., Pavlyuk, R., Kapral, Y. (2022). Calculation of optimal parameters of the foundation for woodworking machines with large dynamic loads. Strength of Materials and Theory of Structures, 109, 473–484. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.109.473-484>
 23. Biselli, A., Coleman, M. P. (2020). The Exact Frequency Equations for the Euler-Bernoulli Beam Subject to Boundary Damping. The International Journal of Acoustics and Vibration, 25 (2), 183–189. <https://doi.org/10.20855/ijav.2020.25.21574>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350413

**PATTERNS IN THE FORMATION AND
PARAMETERIZATION OF THE FRACTURE SYSTEM
EMERGING DURING A MULTI-STAGE HYDRAULIC
FRACTURING IN TIGHT RESERVOIRS UNDER
DIFFERENT MODELING APPROACHES (p. 38–48)**

Oleh LukinIvano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5194-628X>**Oleksandr Kondrat**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
Ivano-Frankivsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4406-3890>

A system of artificially created fractures formed during multi-stage hydraulic fracturing in a low-permeable gas-saturated reservoir has been investigated in this study. The task addressed is to parameterize the object under consideration given limited input geomechanical information.

The results of hydraulic fractures modeling have been obtained, as well as their geometric and filtration parameters, by using analytical and explicit numerical methods. Interpretation of the findings revealed the limitations in analytical methods when considering the geomechanical properties of rocks; specifically, their reservoir and geomechanical heterogeneities and stimulation design. The consequence is the greatly increased uncertainty in production forecasting because fractures are represented by average values of key parameters ($L = 120\text{--}330\text{ m}$, $w = 2.4\text{--}7.8\text{ mm}$) for determining well productivity.

The explicit method demonstrated higher flexibility and adaptability depending on the available input data. The average results, which were obtained by applying both methods, showed similarity between key parameters ($L = 199\text{--}339\text{ m}$, $w = 7\text{--}10\text{ mm}$, $C_f = 774\text{--}1098\text{ mD}\cdot\text{m}$), which confirms these methods' validity. However, the ability of the explicit modeling approach to provide a detailed description of key fracture parameters, including 3D geometry, variation of fracture width ($w = 3\text{--}11\text{ mm}$), and proppant saturation over the fractured area ($C_p = 75\%$), gives a higher priority to this method during research.

The use of an explicit method, in contrast to the analytical one, makes it possible to determine the asymmetry of the fracture flanks, relative to the direction of the minimum horizontal stress, the change in thickness and permeability along the fracture, the distribution and concentration of proppant. All this leads to an uncertainty ranges reduction in the production forecast from horizontal wells with multi-stage hydraulic fracturing, during the development of shale reservoirs. This is the next step for further use of the results.

Keywords: explicit modeling, reservoirs with low permeability, multi-stage hydraulic fracturing, shadow fracturing effect.

References

1. Chen, B., Barboza, B. R., Sun, Y., Bai, J., Thomas, H. R., Dutko, M., Cottrell, M., Li, C. (2021). A Review of Hydraulic Fracturing Simulation. Archives of Computational Methods in Engineering, 29 (4), 1–58. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09653-z>
2. Ju, Y., Wu, G., Wang, Y., Liu, P., Yang, Y. (2021). 3D Numerical Model for Hydraulic Fracture Propagation in Tight Ductile Reservoirs, Considering Multiple Influencing Factors via the Entropy Weight Method. SPE Journal, 26 (05), 2685–2702. <https://doi.org/10.2118/205385-pa>

3. Hu, Y., Li, X., Zhang, Z., He, J., Li, G. (2021). Numerical modeling of complex hydraulic fracture networks based on the discontinuous deformation analysis (DDA) method. *Energy Exploration & Exploitation*, 39 (5), 1640–1665. <https://doi.org/10.1177/0144598720981532>
4. Liu, C., Wang, Z. (2022). Numerical simulation of hydraulic fracture propagation in shale with plastic deformation. *International Journal of Fracture*, 238 (2), 115–132. <https://doi.org/10.1007/s10704-022-00659-7>
5. State Research and Development Enterprise “State Geological Information Fund of Ukraine”. Available at: <https://geoinf.kiev.ua/wp/index-eng.html>
6. Ukraine Oil & Gas Industry Guide 2021. Embracing investment opportunities. Available at: <https://www.geo.gov.ua/wp-content/uploads/presentations/en/oil-and-gas-guide-2021.pdf>
7. Adachi, J., Siebrits, E., Peirce, A., Desroches, J. (2007). Computer simulation of hydraulic fractures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44 (5), 739–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2006.11.006>
8. Li, W., Liang, Z., Zhao, C. (2025). Hydraulic fracturing of reservoirs containing rough discrete fracture networks: FDEM-UPM approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.05.023>
9. Zhang, R.-H., Zhang, L.-H., Wang, R.-H., Zhao, Y.-L., Huang, R. (2018). Simulation of a multistage fractured horizontal well in a water-bearing tight fractured gas reservoir under non-Darcy flow. *Journal of Geophysics and Engineering*, 15 (3), 877–894. <https://doi.org/10.1088/1742-2140/aaa5ce>
10. Suri, Y., Zahidul Islam, S., Hossain, M. (2020). Numerical Modeling of Proppant Transport in Hydraulic Fractures. *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 16 (2), 297–337. <https://doi.org/10.32604/fdmp.2020.08421>
11. Shi, X., Huang, H., Zeng, B., Guo, T., Jiang, S. (2022). Perforation cluster spacing optimization with hydraulic fracturing-reservoir simulation modeling in shale gas reservoir. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 8 (5). <https://doi.org/10.1007/s40948-022-00448-5>
12. Krasnikova, O., Lisny, G., Vyzhva, S. (2021). Current state of application of hydraulic fracturing microseismic monitoring methods. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (95), 64–71. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.95.08>
13. Nasiri, A. (2015). A Comparison Study of KGD, PKN and a Modified P3D Model. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3860.7201>
14. Al Mteiri, S., Suboyin, A., Rahman, M. M., Haroun, M. (2020). Hydraulic Fracture Propagation and Analysis in Heterogeneous Middle Eastern Tight Gas Reservoirs: Influence of Natural Fractures and Well Placement. *ACS Omega*, 6 (1), 799–815. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05380>
15. Ibrahim, A. F. (2024). Optimizing cluster spacing in multistage hydraulically fractured shale gas wells: balancing fracture interference and stress shadow impact. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 14 (7), 2297–2313. <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01831-6>
16. Al-Attar, H., Alshadafan, H., Al Kaabi, M., Al Hassani, A., Al Mheiri, S. (2020). Integrated optimum design of hydraulic fracturing for tight hydrocarbon-bearing reservoirs. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 10 (8), 3347–3361. <https://doi.org/10.1007/s13202-020-00990-6>
17. Shi, X., Ge, X., Gao, Q., Han, S., Zhang, Y., Kong, X. (2024). Numerical simulation of hydraulic fracture propagation from recompletion in refracturing with dynamic stress modeling. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 10 (1). <https://doi.org/10.1007/s40948-024-00880-9>
18. Sun, C., Zhang, Y., Han, L., Liu, M., Hu, J. (2025). Impacts of fracturing fluid viscosity and injection rate variations on the fracture network propagation in deep coalbed reservoirs. *AIP Advances*, 15 (6). <https://doi.org/10.1063/5.0278402>
19. Wang, J., Peng, G., Cong, Z., Hu, B. (2023). Hydraulic Fracture Propagation and Proppant Transport Mechanism in Interlayered Reservoir. *Energies*, 16 (13), 5017. <https://doi.org/10.3390/en16135017>
20. Alajmei, S. (2023). Accurate Prediction of the Proppant Distribution in a Hydraulically Fractured Stage. *ACS Omega*, 8 (40), 37080–37089. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04509>
21. Lukin, O., Kondrat, O. (2024). Utilizing well-reservoir pseudo-connections for multi-stage hydraulic fracturing modeling in tight gas saturated formations. *Mining of Mineral Deposits*, 18 (2), 113–121. <https://doi.org/10.33271/mining18.02.113>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353245

CONSTRUCTION OF THE DISCRETE-CONTINUOUS MATHEMATICAL MODEL OF A HYSTERESIS DAMPER IMPACT DEVICE (p. 49–60)

Viktor Slidenko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9313-331X>

Oleksandr Slidenko

LLC “Tajm_Bud”,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7000-9286>

Oksana Zamarajeva

HEAVY MACHINERY GROUP LLC,
Aventura, Florida, USA
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2961-7730>

Vladyslav Tkachenko

Limited Liability Company BUREVII Design Bureau,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8123-0638>

Oleksandr Balaniuk

HEAVY MACHINERY GROUP LLC, Aventura,
Florida, USA
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2263-8387>

This study investigates the process of interaction between the impact device tool and its body elements during an impulse response from the processing medium in the presence of a hysteretic damper of mechanical vibrations. The task addressed is to build a mathematical model with hysteresis damping of oscillations of the impact device elements.

In the mathematical model, the tool is represented by a rod of variable cross-section, and the body parts of the hydraulic hammer are represented by a discrete element with a reduced mass. To damp mechanical oscillations, a rheological model of the hysteresis type is used. The impact interaction of the device elements is modeled by the presence of rigid and dissipative connections. The motion of the impact device elements is described by a system of nonlinear differential equations.

The combination of discrete and continuous types of models has made it possible to solve the task of synthesizing a mathematical model. A comparison for the discrete-continuous model and the discrete model of hysteresis curves justifies their correctness. The proposed model makes it possible to estimate the energy consumption for damping and the distribution of stresses along the length of the tool. When the recoil force changes in the range of 50–500 kN for 1 ms, the energy losses were up to 500 J, and the stress in the conical part of the tool was up to 560 MPa.

To solve the initial-boundary problem, a numerical method is used, which includes the finite difference method and the Euler

scheme with linearization. The parameters of the numerical method were determined using a discrete two-mass model. The length step is 0.005–0.01 of the tool length, the time step is 0.001–0.05 ms.

The model could be used in the design of rock development devices and impact systems to increase hydrocarbon production in the oil industry.

Keywords: impact device, pulse process, rheological model, energy efficiency, Euler scheme with linearization.

References

- Denysiuk, S. P., Han, A. L., Danilin, O. V. et al. (2022). Navchalno-naukovyi instytut enerhoberezhennia ta enerhomenedzhmentu. 25 rokiv stanovlennia ta rozvytku. Kyiv, 419. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63165>
- Goldsmith, W. (1960). Impact. The theory and physical behaviour of colliding solids. London: Edvard Arnold LTD, 393. Available at: https://ia800802.us.archive.org/8/items/in.ernet.dli.2015.140646/2015.140646.Impact-The-Theory-And-Physical-Behaviour-Of-Colliding-Solids_text.pdf
- Batako, A. D., Babitsky, V. I., Halliwell, N. A. (2004). Modelling of vibro-impact penetration of self-exciting percussive-rotary drill bit. *Journal of Sound and Vibration*, 271 (1-2), 209–225. [https://doi.org/10.1016/s0022-460x\(03\)00642-4](https://doi.org/10.1016/s0022-460x(03)00642-4)
- Slidenko, V. M., Shevchuk, S. P., Zamaraieva, O. V., Listovshchik, L. K. (2013). Adaptivne funkcionuvannia impulsnykh vykonavchykh orhaniv hirnychykh mashyn. Kyiv: NTUU «KPI», 180.
- Slidenko, V., Slidenko, O., Marchuk, L., But, V. (2023). Development of a discreet-continuous mathematical model of a percussion device with parameters of influence on the characteristics of an impact pulse. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (125)), 70–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290029>
- Slidenko, A. M., Slidenko, V. M., Valyukhov, S. G. (2021). Discrete-continuous three-element model of impact device. *Journal of Physics: Conference Series*, 2131 (3), 032091. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/3/032091>
- Eroshenko, V. A., Grosu, Ya. G. (2013). Maxwell's relations and thermal coefficients for repulsive clathrates. *Technical Physics*, 58 (8), 1087–1093. <https://doi.org/10.1134/s1063784213080124>
- Eroshenko, V. A. (2007). A new paradigm of mechanical energy dissipation. Part 1: Theoretical aspects and practical solutions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 221 (3), 285–300. <https://doi.org/10.1243/09544070d01505>
- Eroshenko, V., Slidenko, V. (2015). Heterogeneous lyophobic systems – the powerful dissipaters of energy oscillation in the hydro-mechanical systems. *Enerhetyka*, 2, 16–21. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2015_2_4
- Danilin, A. N., Shalashilin, V. I. (2010). A method to identify hysteresis by an example of an antigaloping device. *International Applied Mechanics*, 46 (5), 588–595. <https://doi.org/10.1007/s10778-010-0345-x>
- Semenov, M. E., Solovyov, A. M., Meleshenko, P. A., Reshetova, O. O. (2020). Efficiency of hysteretic damper in oscillating systems. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*, 15, 43. <https://doi.org/10.1051/mmnp/2019053>
- Semenov, M. E., Solovyov, A. M., Rukavitsyn, A. G., Gorlov, V. A., Meleshenko, P. A. (2016). Hysteretic damper based on the Ishlinsky-Prandtl model. *MATEC Web of Conferences*, 83, 01008. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168301008>
- Krasnosel'skii, M. A., Pokrovskii, A. V. (2011). *Systems with Hysteresis*. Springer, 428.
- Borman, V. D., Belogorlov, A. A., Byrkin, V. A., Lisichkin, G. V., Tronin, V. N., Troyan, V. I. (2011). The infiltration of nonwetting liquid into nanoporous media and the thermal effect. *Journal of Physics: Conference Series*, 291, 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/291/1/012044>
- Eroshenko, V. A., Lazarev, Yu. F. (2012). Rheology and dynamics of repulsive clathrates. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 53 (1), 98–112. <https://doi.org/10.1134/s0021894412010130>
- Samarskii, A. A. (2001). *The Theory of Difference Schemes*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203908518>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352152

CONSTRUCTION OF A GENERALIZED MATHEMATICAL MODEL FOR PARTICLE SLIDING ON THE SURFACE OF A ROTATING VERTICAL STRAIGHT HELICOID (p. 61–69)

Tetiana Volina

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>

Serhii Pylypaka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>

Ivan Rogovskii

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Mykhailo Kalenyk

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,
Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7416-4233>

Vitalii Ploskyi

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>

Natalia Ausheva

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0816-2971>

Olga Shoman

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3660-0441>

Vitaliy Babka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4971-4285>

Oleksandr Tatsenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1762-8219>

Larysa Korzh-Usenko

Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,
Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9538-4147>

The object of this study is the complex motion of a particle on the surface of a vertical straight helicoid rotating around its own axis. In screw conveyors, closed helicoids are used as well-known technical helical surfaces. An issue is not the disadvantages of using classical closed helicoids but the limitations of existing mathematical models of particle motion, which essentially reduce engineering research only to this type of surfaces. The lack of a generalized

model for other helical surfaces makes their analysis and practical application impossible. The proposed approach expands the class of helicoids under consideration and creates the prerequisites for finding new design solutions.

The derived second-order differential equations describe the trajectory of particle sliding on the surface. Depending on the structural parameters, such a surface can be an open or closed helicoid, as well as a special case of rotation of a horizontal flat disk. That has made it possible to define the parameters of particle motion on different surfaces and compare the results. In particular, the particle sliding trajectories along closed and open helicoids rotating with angular velocity $\omega = 10 \text{ s}^{-1}$ and $\omega = 20 \text{ s}^{-1}$ were constructed. In this case, the friction coefficient $f = 0.3$ and the lift angle $\beta = 15^\circ$ of the outer edge of the surface were assumed at a radius of $R = 0.1 \text{ m}$ of the limiting cylinder. The particle sliding trajectories were constructed within the surface compartment, as well as under the condition that it is not limited by the cylinder.

The practical significance of the results is the possibility of using the model built for designing energy-efficient screw conveyors without an external casing. This makes it possible to reduce the metal content of structures by 15–20% and prevent jamming during the transportation of fractional materials. The resulting analytical dependences make it possible to calculate the optimal screw pitch and shaft radius to ensure a given material movement trajectory.

Keywords: vertical helicoid, generalized model, sliding trajectory, complex motion, particle motion.

References

- Diachun, A., Gevko, I., Lyashuk, O., Stanko, A., Pik, A., Omelyan-skiy, Y. (2024). Study of fiber deformation of elastic brush-like screws during grain material transportation. *INMATEH Agricultural Engineering*, 72 (1), 579–588. <https://doi.org/10.35633/inmateh-72-51>
- Novitskiy, A., Banniy, O., Novitskiy, Y., Antal, M. (2023). A study of mixer-feeder equipment operational reliability. *Machinery & Energetics*, 14 (4), 101–110. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.101>
- Minglani, D., Sharma, A., Pandey, H., Dayal, R., Joshi, J. B., Subramaniam, S. (2020). A review of granular flow in screw feeders and conveyors. *Powder Technology*, 366, 369–381. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.066>
- Wulantuya, Wang, H., Wang, C., Qinglin. (2020). Theoretical analysis and experimental study on the process of conveying agricultural fiber materials by screw conveyors. *Engenharia Agricola*, 40 (5), 589–594. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n5p589-594/2020>
- Mei, X., Xue, Y., Zhang, L. (2022). Determination of the optimal working performance matching through theoretical analysis and experimental study for a screw conveyor. *PLOS ONE*, 17 (6), e0266948. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266948>
- Moelder, K., Lillerand, T. (2025). Design and feasibility analysis of vertical static flight screw conveyor usage in granulated fertilizer transportation. 24th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Proceedings, 24. <https://doi.org/10.22616/erdev.2025.24.tf090>
- Karwat, B., Rubacha, P., Stańczyk, E. (2020). Simulational and experimental determination of the exploitation parameters of a screw conveyor. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 22 (4), 741–747. <https://doi.org/10.17531/ein.2020.4.18>
- Wenwu, Y., Longyu, F., Xiwen, L., Hui, L., Yangqing, Y., Zhanhao, L. (2020). Experimental study of the effects of discharge port parameters on the fertilizing performance for fertilizer distribution apparatus with screw. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 36 (17). <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2020.17.001>
- Pylypaka, S., Volina, T., Hryshchenko, I., Dieniezhnikov, S., Rybenko, I. (2022). Mathematical Model of Lifting Particles of Technological Material by Vertical Auger. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V*, 112–122. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_11
- Pylypaka, S., Babka, V., Hryshchenko, I., Kresan, T. (2018). Mathematical model of moving particle by vertical screw in stationary mode. *Machinery & Energetics*, 9 (4), 31–36. Available at: <https://technicalscience.com.ua/uk/journals/t-9-4-2018/matyematchna-modyel-pyeryemishchyennya-chastinki-vyvertikalnim-shnyekom-pri-statsionarnomu-ryezhimi>
- Kresan, T. A. (2020). Calculation of gravitation descent formed by surface of skew closed helicoid. *Machinery & Energetics*, 11 (2), 49–57. <https://doi.org/10.31548/machenergy2020.02.049>
- Klendii, M., Logusch, I., Dragan, A., Tsvartazkii, I., Grabar, A. (2022). Justification and calculation of design and strength parameters of screw loaders. *Machinery & Energetics*, 13 (4), 48–59. [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(4\).2022.48-59](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(4).2022.48-59)
- Bidas, M., Galecki, G. (2021). The concept of a screw conveyor for the vertical transport of bulk materials. *Mining Machines*, 39 (3), 28–33. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2021.3.3>
- Tarelnyk, V. B., Konoplianchenko, Ie. V., Gaponova, O. P., Tarelnyk, N. V., Martsynkovskyy, V. S., Sarzhanov, B. O. et al. (2020). Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 58 (11-12), 703–713. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>
- Lytvynenko, A., Yukhymenko, M., Pavlenko, I., Pitel, J., Mizakova, J., Lytvynenko, O. et al. (2019). Ensuring the Reliability of Pneumatic Classification Process for Granular Material in a Rhomb-Shaped Apparatus. *Applied Sciences*, 9 (8), 1604. <https://doi.org/10.3390/app9081604>
- Yuan, J., Li, M., Ye, F., Zhou, Z. (2020). Dynamic characteristic analysis of vertical screw conveyor in variable screw section condition. *Science Progress*, 103 (3). <https://doi.org/10.1177/0036850420951056>
- Rademacher, F. J. C. (1974). Some aspects of the characteristics of vertical screw conveyors for granular material. *Powder Technology*, 9 (2-3), 71–89. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(74\)85011-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(74)85011-4)
- Diachun, A. Y., Dmytriv, O. R., Hevko, B. R., Koval, S. O., Tsapyk, R. P. (2024). Experimental automated equipment of the screw conveyor with the rotating casing for bulk materials mixing. *Perspective technologies and devices*, 1 (24), 38–44. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-24-06>
- Zareiforouh, H., Komarizadeh, M. H., Alizadeh, M. R., Masoomi, M. (2010). Screw Conveyors Power and Throughput Analysis during Horizontal Handling of Paddy Grains. *Journal of Agricultural Science*, 2 (2). <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p147>
- Bulgakov, V., Trokhaniak, O., Holovach, I., Adamchuk, V., Klendii, M., Ivanovs, S. (2022). Investigation of the performance of a screw conveyor with a working body, made in the form of a shaft with inclined flat blades. *INMATEH Agricultural Engineering*, 67 (2), 406–411. <https://doi.org/10.35633/inmateh-67-41>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352115

DESIGN OF A TUMBLING MACHINE (MIXER) USING A STATICALLY DETERMINATE SPATIAL MECHANISM AND DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRIC PARAMETERS (p. 70–80)

Mark Zalyubovskiy

Kyiv National University of Technologies and Design,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9183-2771>

Oleksii Volianyk

Kyiv National University of Technologies and Design,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7278-0910>

Mykola Rubanka

Kyiv National University of Technologies and Design,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2367-0333>

Sergey Koshel

Kyiv National University of Technologies and Design,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7481-0186>

Hanna Koshel

Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative Applied Arts
and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1862-1553>

Serhiy Popovichenko

Mykhailo Boichuk Kyiv State Academy of Decorative Applied Arts
and Design, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8971-9892>

The object of this study is tumbling equipment in which working containers execute a complex spatial motion.

Articulated spatial mechanisms are widely used in various branches of industry, particularly in mechanical engineering, including mechanisms that contain passive constraints in their structure. The presence of passive constraints can cause operational problems and negatively affect equipment reliability. Therefore, an important task is the synthesis of articulated spatial mechanisms through modification of existing structures in order to eliminate passive constraints.

This paper reports the synthesis of a statically determined seven-link articulated spatial mechanism with revolute kinematic pairs. A technique for eliminating a passive constraint in the structure of an articulated spatial mechanism has been proposed, which allows for its static determinacy. As a result, the need to compensate for inaccuracies in geometric relationships between the links by means of clearances in the kinematic pairs is eliminated, making it possible to improve operational characteristics and prolong service life.

The introduction of an auxiliary link into the spatial kinematic chain creates conditions for effective implementation of tumbling technological operations by increasing the amplitude of spatial displacement of the container.

Analytical relationships between the main geometric parameters of the seven-link spatial mechanism that determine its operability have been established. The derived mathematical dependences allow a justified selection of rational geometric parameters at the design stage and provide a basis for calculating key geometric characteristics for further engineering application in industrial practice.

Keywords: articulated spatial mechanism, kinematic pair, degree of freedom, mixing of bulk materials.

References

- Marigo, M., Cairns, D. L., Davies, M., Ingram, A., Stitt, E. H. (2012). A numerical comparison of mixing efficiencies of solids in a cylindrical vessel subject to a range of motions. *Powder Technology*, 217, 540–547. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.11.016>
- Jadhav, P. S., Jadhav, B. R. (2013). A study on mixing of composite solids in the three dimensional turbula mixer. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 2 (3). Available at: https://www.academia.edu/30694299/A_STUDY_ON_MIXING_OF_COMPOSITE_SOLIDS_IN_THE_THREE_DIMENSIONAL_TURBULA_MIXER_Address_for_Correspondence
- Murithi, M., Keraita, J. N., Obiko, J. O., Mwema, F. M., Wambua, J. M., Jen, T.-C. (2022). Optimisation of the swinging jaw design for a single toggle jaw crusher using finite element analysis. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 18 (9), 6351–6358. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-01044-3>
- Antonyuk, E. Ya., Sakharnov, V. A., Koval', N. I. (2011). Dynamic system of an engine with spatially rocking links: a mathematical model. *International Applied Mechanics*, 46 (9), 1039–1049. <https://doi.org/10.1007/s10778-011-0396-7>
- Han, B., Zhou, Y., Han, M., Hu, X., Xu, Y., Yao, J. (2025). Kinematics and dynamics characteristics of a double-ring truss deployable antenna mechanism based on triangular prism deployable unit. *Thin-Walled Structures*, 206, 112608. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.112608>
- Zalyubovskii, M., Panasyuk, I., Koshel, S., Koshel, O., Akimova, L. (2024). Synthesis and research of the spatial eight-link mechanism of the barreling machine. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 42–49. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/042>
- Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Koshel', S. O., Lychov, D. O. (2022). Design Parameters of the Four-Link Hinged Mechanism of Barreling Machine Drive. *International Applied Mechanics*, 58 (6), 725–731. <https://doi.org/10.1007/s10778-023-01196-z>
- Zalyubovskii, M. G., Panasyuk, I. V. (2020). Studying the Main Design Parameters of Linkage Mechanisms of Part-Processing Machines with Two Working Barrels. *International Applied Mechanics*, 56 (6), 762–772. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01053-x>
- Antonyuk, E. Ya., Zabuga, A. T. (2016). Motion of an Articulated Vehicle with Two-Dimensional Sections Subject to Lateral Obstacles. *International Applied Mechanics*, 52 (4), 404–412. <https://doi.org/10.1007/s10778-016-0765-3>
- Deepak, B. B. V. L., Bahubalendruni, M. V. A. R. (2017). Numerical analysis for force distribution along the swing jaw plate of a single toggle jaw crusher. *World Journal of Engineering*, 14 (3), 255–260. <https://doi.org/10.1108/wje-07-2016-0025>
- Mochner, M., Schatz, P. (2016). *Technik und Verwandlung: Der Weg zu einer menschen- und naturgemäßen Technik*. Verlag am Goetheanum, 456.
- Bhoite, K., Kakandikar, G. M., Nandedkar, V. M. (2015). Schatz Mechanism with 3D-Motion Mixer-A Review. *Materials Today: Proceedings*, 2 (4-5), 1700–1706. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.003>
- Gundale, V. (2015). Kinematics of an overconstrained mechanism in practice. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, 4 (12), 9–15. Available at: https://www.academia.edu/87428870/Kinematics_of_an_overconstrained_mechanism_in_practice?utm_source=chatgpt.com
- McCarthy, J. M., Soh, G. S. (2011). *Geometric Design of Linkages*. In *Interdisciplinary Applied Mathematics*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7892-9>
- Shih, A. J., Yan, H.-S. (2002). Synthesis of a single-loop, overconstrained six revolute joint spatial mechanism for two-position cylindrical rigid body guidance. *Mechanism and Machine Theory*, 37 (1), 61–73. [https://doi.org/10.1016/s0094-114x\(01\)00055-6](https://doi.org/10.1016/s0094-114x(01)00055-6)
- Zalyubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Smirnov, Yu. I., Malyshev, V. V. (2020). Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 69–75. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/069>
- Zalyubovskiy, M. G., Panasyuk, I. V., Koshel', S. O., Koshel', G. V. (2021). Synthesis and Analysis of Redundant-Free Seven-Link Spatial Mechanisms of Part Processing Machine. *International Applied Mechanics*, 57 (4), 466–476. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01098-y>

18. Marigo, M., Cairns, D. L., Davies, M., Cook, M., Ingram, A., Stitt, E. H. (2010). Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbula® Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking. *ech Science Press*, 59 (3), 217–238. Available at: <https://www.techscience.com/CMES/v59n3/25502/pdf>
19. Marigo, M., Cairns, D. L., Davies, M., Ingram, A., Stitt, E. H. (2011). Developing mechanistic understanding of granular behaviour in complex moving geometry using the Discrete Element Method. *Powder Technology*, 212 (1), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.04.009>
20. Zalyubovskii, M. G., Panasyuk, I. V., Koshel', S. O., Koshel', G. V. (2022). Modeling and Designing the Barreling Machine Drive with Complex Spatial Motion of the Container. *International Applied Mechanics*, 58 (4), 472–480. <https://doi.org/10.1007/s10778-022-01172-z>
21. Marigo, M., Davies, M., Leadbeater, T., Cairns, D. L., Ingram, A., Stitt, E. H. (2013). Application of Positron Emission Particle Tracking (PEPT) to validate a Discrete Element Method (DEM) model of granular flow and mixing in the Turbula mixer. *International Journal of Pharmaceutics*, 446 (1-2), 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.01.030>
22. Abdreshova, S., Zhauyt, A., Alipbayev, K., Kosbolov, S., Aden, A., Orazaliyeva, A. (2025). Synthesis of Four-Link Initial Kinematic Chains with Spherical Pairs for Spatial Mechanisms. *Applied Sciences*, 15 (7), 3602. <https://doi.org/10.3390/app15073602>
23. Vo, D. T., Kheylo, S., Nguyen, V. Q. (2022). Kinematic and dynamic accuracy of spherical mechanisms. *Mechanical Sciences*, 13 (1), 23–30. <https://doi.org/10.5194/ms-13-23-2022>
24. Uicker, J. J., Pennock, G. R., Shigley, J. E. (2011). *Theory of Machines and Mechanisms*. Oxford University Press, 950. Available at: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/DESIGN%20SISTEM%20DAYA%20GERAK/Theory%20of%20Machines%20and%20Mechanisms%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/DESIGN%20SISTEM%20DAYA%20GERAK/Theory%20of%20Machines%20and%20Mechanisms%20(%20PDFDrive%20).pdf)

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.349977

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВЗДОВЖНЬОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВВАГОНА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ (с. 6–12)

А. О. Ловська, Nurlana Karimova

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в модернізованій несучій конструкції напіввагона. Проблема, що вирішувалась, полягає у підвищенні ефективності перевезень довгомірних вантажів залізничним транспортом. У зв'язку із цим, запропоновано модернізацію несучої конструкції напіввагона шляхом демонтажу торцевих стін або дверей. Це дозволяє зменшити підресорену масу несучої конструкції напіввагона більше ніж на 1 т, а відповідно підвищити вантажопідйомність на цю ж величину. Для обґрунтування запропонованої модернізації проведено розрахунок на міцність несучої конструкції напіввагона при русі у складі поїзда. Визначення повздовжніх навантажень, які діють на несучу конструкцію напіввагона, проведено математичним моделюванням. Розрахована величина прискорення враховано при дослідженні напруженого стану несучої конструкції напіввагона. Встановлено, що його міцність дотримується, адже розрахункові напруження на 14,5% є нижчими за допустимі. Також в рамках дослідження проведено модальний аналіз несучої конструкції напіввагона. Результати розрахунку показали, що безпека руху з точки зору модального аналізу дотримується.

Особливістю запропонованої модернізації є те, що при необхідності несуча конструкція напіввагона може бути повернена до початкового варіанту.

Сферою практичного використання отриманих результатів є транспортна галузь, зокрема залізничний транспорт.

Умовою практичного використання результатів є симетричне завантаження несучої конструкції напіввагона вантажем.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо підвищення ефективності перевезень довгомірних вантажів залізничним транспортом.

Ключові слова: залізничний транспорт, напіввагон, модернізація конструкції, напружений стан конструкції, перевезення довгомірних вантажів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353102

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ РОЗПІРНОЇ ПЛИТИ ЩОКОВОЇ ДРОБАРКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА МАТЕРІАЛУ ВИГОТОВЛЕННЯ (с. 13–25)

І. І. Назаренко, Є. О. Міщук, В. Г. Нечипорук, Д. А. Альбещенко, І. І. Перегінєць

Об'єктом дослідження є розпірна плита щокової дробарки. Щокова дробарка є головною машиною в дробильно – сортувальній схемі. Неочікуваний вихід із ладу однієї із деталей дробарки приводить до зупинки всієї схеми. Однією із важливих деталей дробарки є розпірна плита, яка знаходиться в складному, знакозмінному напруженому стані.

В роботі досліджені параметри надійності розпірної плити щокової дробарки в процесах подрібнення щебню, який є заповнювачем в процесі виготовлення бетонних конструкцій. Розрахунок на міцність розпірної плити в існуючих методах здійснюється на використанні емпіричних формул. Застосовуються також ряд функціональних методів. Проте більшості функціональних методів притаманні недоліки, які побудовані на статистичних підходах, що може призводити до неточного відтворення картини виходу із ладу елементів машин. В роботі проблема вирішується шляхом використання комбінованої моделі, а саме алгоритму лінійного накопичення пошкодження в поєднанні із скінченно-елементною моделлю до якої додається розподіл Вейбулла, що є найбільш універсальним методом функціонального розподілу для визначення граничних станів деталей та вузлів машин. Таке рішення дозволяє визначити параметри надійності та встановити реальну картину процесу. Розроблена твердотільна модель щокової дробарки та розраховані навантаження, що прикладаються до розпірної плити. З використанням пресетів nCode EN Constant та nCode EN TimeSeries, що вбудовані до продукту ncode DesignLife компанії Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (Німеччина) були визначені параметри довговічності на відмову та втомної міцності розпірної плити дробарки. В пресеті nCode EN TimeSeries для аналізу даних був використаний гліф WeibullAnalysis. Результати досліджень можуть бути використані в дослідженнях широкого кола машин для визначення граничних станів деталей та вузлів машин.

Ключові слова: щокова дробарка, розпірна плита, модель, розподіл Вейбулла, параметри, відмова, надійність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353019

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДІЇ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ІМПУЛЬСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ (УДАРУ) НА БАЛКИ З МАСИВНОЇ, КЛЕЄНОЇ ТА ПЕРЕХРЕСНО-КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ (с. 26–37)

Д. О. Бітюков, С. І. Білик

Об'єктом дослідження є балки з масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини прямокутного поперечного перерізу, що зазнають дії зосередженого імпульсного навантаження (удару).

Проблема, що вирішувалась, полягала у визначенні та порівняльному аналізі деформаційних і динамічних характеристик балок з різних типів деревини при короткочасному ударному впливі.

У ході експериментальних досліджень отримано залежності переміщень з часом, побудовано осцилограми коливань, виконано спектральний аналіз, визначено частоти вільних коливань ($f_{MT,exp} = 75$ Hz, $f_{GLT,exp} = 73$ Hz, $f_{CLT,exp} = 67$ Hz) і логарифмічні декременти затухання ($\beta_{MT,mean} = 0.222$, $\beta_{GLT,mean} = 0.100$, $\beta_{CLT,mean} = 0.092$) для кожного типу балки. Встановлено, що перехресно-клеєна дерев'яна балка характеризується найменшою деформаційною стійкістю та найнижчою швидкістю затухання коливань. Клеєна деревина, у порівнянні з масивною, демонструє менше максимальне переміщення і нижчу швидкість затухання коливань.

Отримані результати пояснюються особливостями внутрішньої структури матеріалів, орієнтацією волокон, наявністю клейових прошарків та характером міжшарової взаємодії, які істотно впливають на жорсткість, демпфувальні властивості та розподіл енергії удару.

Відмінною рисою отриманих результатів є експериментально підтверджене порівняння динамічного відгуку балок з різних матеріалів на основі деревини в однакових умовах навантаження, що дозволило обґрунтовано оцінити їхню ефективність при дії імпульсних впливів і вирішити поставлену дослідницьку проблему.

Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні дерев'яних несучих елементів будівель і споруд, що зазнають динамічних або ударних навантажень, а також для уточнення розрахункових моделей, визначення коефіцієнтів динамічності та оцінки ефективності застосування масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини.

Ключові слова: дерев'яні балки, власні коливання, декремент затухання, ударний вплив, динамічне навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.350413

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ПАРАМЕТРИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТРІЩИН БАГАТОСТАДІЙНОГО ГІДРОРОЗРИВУ В УЩІЛЬНЕНИХ КОЛЕКТОРАХ ЗА РІЗНИХ ПІДХОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ (с. 38–48)

О. А. Лукін, О. Р. Кондрат

Об'єктом дослідження є система штучно створених тріщин під час проведення багатостадійного гідророзриву пласта у низькопроникних газонасичених колекторах. Вирішується проблема параметризації об'єкту дослідження при обмеженій вхідній геомеханічній інформації. Отримано результати моделювання тріщин, їх геометричних та фільтраційних параметрів, використовуючи аналітичні та явні числові методи. Інтерпретація отриманих результатів показала обмеженість аналітичних методів при врахуванні геомеханічних властивостей порід, а саме їх колекторські та геомеханічні неоднорідності та дизайну стимуляції. Як результат – значно вища невизначеність при прогнозуванні видобутку, тому що тріщини представлені усередненими значеннями ключових параметрів ($L = 120\text{--}330$ м, $w = 2.4\text{--}7.8$ мм) для визначення продуктивності свердловин. Явний метод продемонстрував вищу гнучкість та адаптивність у залежності від наявності вхідних даних. Отримані усереднені результати показали схожість ключових параметрів ($L = 199\text{--}339$ м, $w = 7\text{--}10$ мм, $Cf = 774\text{--}1098$ мД*м), що підтверджує валідність обох методів. Проте можливість детального опису ключових параметрів тріщин в явному методі представлення, зокрема 3D-геометрії, зміни товщини ($w = 3\text{--}11$ мм) та розподілу пропанту по площі тріщини ($Cp = 75\%$), робить цей метод більш пріоритетним для проведення досліджень.

Використання явного методу, на відміну від аналітичного, дозволяє визначити асиметричність флангів тріщини відносно напрямку мінімального горизонтального напруження, зміну товщини та провідності вздовж тріщини, розподіл та концентрацію пропанту. Це все призводить до звуження поля невизначеностей при подальшому прогнозуванні видобутку із горизонтальних свердловин із багатостадійним гідророзривом під час розробки ущільнених колекторів, що є практичною задачею подальшого використання отриманих результатів.

Ключові слова: явне моделювання, низько проникні колектори, багатостадійний ГРП (гідророзрив пласта), тінювий ефект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.353245

РОЗРОБКА ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ УДАРНОГО ПРИСТРОЮ З ГІСТЕРЕЗИСНИМ ДЕМПФЕРОМ (с. 49–60)

В. М. Сліденко, О. М. Сліденко, О. В. Замаєва, В. О. Ткаченко, О. В. Баланюк

Об'єктом дослідження є процес взаємодії інструменту ударного пристрою з елементами корпусу при імпульсній реакції з боку оброблювального середовища при наявності гістерезисного демпфера механічних коливань. Вирішувалась проблема створення математичної моделі з гістерезисним демпфіруванням коливань елементів ударного пристрою. В математичній моделі інструмент представлений стержнем змінного перерізу, а корпусні деталі гідромолота – дискретним елементом із зведеною масою. Для демпфірування коливань використовується реологічна модель гістерезисного типу. Ударна взаємодія елементів пристрою моделюється наявністю жорстких та дисипативних зв'язків. Рух елементів ударного пристрою описується системою нелінійних диференціальних рівнянь. Поєднання моделей дискретного та континуального типів дозволило вирішити проблему синтезу математичної моделі. Порівняння для дискретно-континуальної моделі та дискретної моделі гістерезисних кривих обґрунтує їх коректність. Запропонована модель дозволяє оцінити затрати енергії на демпфірування та розподіл напружень по довжині інструменту. При зміні сили віддачі в діапазоні 50–500 кН за час 1мс втрати енергії становили до 500 Дж, а напруження в конусній частині інструменту до 560 МПа. Для вирішення початково-крайової задачі застосовується числовий метод, що включає метод скінчених різниць та схему Ейлера з лінеаризацією. Параметри числового методу визначались з допомогою дискретної двомасової моделі. Крок по довжині становить 0.005–0.01 від довжини інструменту, крок по часу 0.001–0.05 ms. Модель може використовуватись при проектуванні пристроїв розробки гірських порід та ударних систем для підвищення видобутку вуглеводів в нафтовидобувній промисловості.

Ключові слова: ударний пристрій, імпульсний процес, реологічна модель, енергетична ефективність, схема Ейлера з лінеаризацією.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352152**РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОВЗАННЯ ЧАСТИНКИ ПО ПОВЕРХНІ ОБЕРТОВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРЯМОГО ГЕЛІКОЇДА (с. 61–69)****Т. М. Воліна, С. Ф. Пилипака, І. Л. Роговський, М. В. Каленик, В. О. Плоский, Н. М. Аушева, О. В. Шоман, В. М. Бабка, О. В. Таценко, Л. В. Корж-Усенко**

Об'єктом дослідження є складний рух частинки по поверхні вертикального прямого гелікоїда, який обертається навколо власної осі. У гвинтових конвеєрах застосовуються закриті гелікоїди як загальновідомі технічні гвинтові поверхні. Проблема полягає не в недоліках використання класичних закритих гелікоїдів, а в обмеженості існуючих математичних моделей руху частинки, які фактично зводять інженерні дослідження лише до цього типу поверхонь. Відсутність узагальненої моделі для інших гвинтових поверхонь унеможливило їх аналіз і практичне застосування. Запропонований підхід розширює клас розглядуваних гелікоїдів і створює передумови для пошуку нових конструктивних рішень.

Отримані диференціальні рівняння другого порядку описують траєкторію ковзання частинки по поверхні. В залежності від конструктивних параметрів такою поверхнею може бути відкритий або закритий гелікоїд, а також частковий випадок обертання горизонтального плоского диска. Це дозволило отримати параметри руху частинки по різних поверхнях та порівняти одержані результати. Зокрема, побудовано траєкторії ковзання частинки по закритому і відкритому гелікоїдах, які обертаються із кутовою швидкістю $\omega = 10 \text{ c}^{-1}$ і $\omega = 20 \text{ c}^{-1}$. При цьому було прийнято коефіцієнт тертя $f = 0,3$ і кут підйому $\beta = 15^\circ$ зовнішньої крайки поверхні при радіусі $R = 0,1$ м обмежувального циліндра. Траєкторії ковзання частинки побудовано в межах відсіку поверхні, а також за умови, що вона не обмежена циліндром.

Практична значущість результатів полягає у можливості використання розробленої моделі для проектування енергоефективних гвинтових конвеєрів без зовнішнього кожуха. Це дозволяє зменшити металоємність конструкцій на 15–20% та запобігти заклинюванню при транспортуванні фракційних матеріалів. Отримані аналітичні залежності дозволяють розраховувати оптимальний крок гвинта та радіус вала для забезпечення заданої траєкторії руху матеріалу.

Ключові слова: вертикальний гелікоїд, узагальнена модель, траєкторія ковзання, складний рух, рух частинки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352115**РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ (ЗМІШУВАЧА) З ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОГО ПРОСТОРОВОГО МЕХАНІЗМУ ТА ВИЗНАЧЕННЯМ РАЦІОНАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ (с. 70–80)****М. Г. Залюбовський, О. Ю. Воляник, М. М. Рубанка, С. О. Кошель, Г. В. Кошель, С. А. Поповіченко**

Об'єкт дослідження – галтувальне обладнання, у якому робочі ємності здійснюють складний просторовий рух.

У різних галузях промисловості та, зокрема, машинобудуванні широко застосовують шарнірні просторові механізми, в тому числі, з наявністю пасивних зв'язків у їх структурі. Пасивні зв'язки здатні викликати ряд експлуатаційних проблем, негативно вплинути на надійність обладнання. Необхідним та важливим кроком є синтез шарнірних просторових механізмів, що заключається у зміні структури вже існуючих, з метою подальшої ліквідації наявних пасивних зв'язків.

Розглядається синтез статично визначеного семиланкового шарнірного просторового механізму з обертальними кінематичними парами. Запропоновано один із можливих способів ліквідації пасивного зв'язку у структурі шарнірного просторового механізму, що забезпечує його статичну визначеність. У результаті усунення пасивного зв'язку виключається необхідність компенсації неточності геометричних співвідношень між ланками за рахунок зазорів у кінематичних парах, що дозволяє підвищити експлуатаційні властивості машини та її довговічність.

Застосування у ланцюзі просторового механізму допоміжної ланки створює умови для успішного використання машини для реалізації галтувальних технологічних операцій за рахунок збільшення амплітуди просторового переміщення ємності.

Аналітично встановлено взаємозв'язки між основними геометричними параметрами семиланкового просторового механізму, які визначають умови його працездатності. Отримані математичні залежності дозволяють здійснювати обґрунтований вибір раціональних геометричних параметрів машини на стадії проектування, дають можливість розраховувати основні геометричні параметри машини, які в подальшому можуть бути успішно використані інженерами на стадії проектування даного обладнання.

Ключові слова: шарнірний просторовий механізм, кінематична пара, ступінь вільності, змішування сипких речовин.