

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356924

DEVELOPMENT OF AN ANALYTICAL MODEL OF TRANSIENT AERODYNAMIC LOADING FOR ASSESSING THE STABILITY OF TOWER CRANE METAL STRUCTURES (p. 6–13)

Ievgenii GorbatiukKyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8148-5323>**Oleg Bulavka**«KSM-TRANS» LLC,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4119-174X>**Oleksandr Terentiev**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9499-6635>**Vitalii Borodynia**State Enterprise «V. S. Balytsky Scientific Research Institute of
Construction Production» (SE «NIIBV»), Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9513-9264>**Volodymyr Sliusar**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4332-3144>

This study investigates metal structures of tower cranes that are subjected to intense dynamic impact of the high-speed pressure of extreme wind flow.

The task addressed relates to the insufficient adaptability of existing engineering standards (in particular EN 13001-2) to the assessment of crane stability under short-term extreme aerodynamic loads (squall gusts and remote explosion effects). Classical methods use averaged quasi-static coefficients and do not take into account the synergistic effect of the coincidence of the sudden flow vector with the dynamics of pendulum oscillations of the load.

The results include the analytical model of velocity head built to describe dynamic loads on the boom, tower, and crane load depending on their position. Aerodynamic coefficients for lattice structures have been determined by taking into account a change in the Reynolds number when the flow front passes.

It is shown that the loss of stability is due to the nonlinear interaction of the velocity head with pendulum oscillations of the load and the resistance of the lattice. The maximum overturning moment (up to 451 kNm at a flow velocity of 33 m/s) occurs when the flow velocity vector coincides with the movement of the cargo. Special features of the results involve modification of the classical formula of aerodynamic pressure by integrating the quadratic set of relative velocities. This, in contrast to static approaches, makes it possible to analytically describe the nonlinear amplification of the overturning moment due to the kinetic energy of the swinging cargo under conditions of unsteady flow.

The scope of and conditions for practical implementation of the results include engineering and supervisory organizations. The model could be integrated into automated design systems for developing emergency protection algorithms at facilities with an elevated risk of extreme wind loads.

Keywords: tower crane, unsteady aerodynamics, extreme gust, overturning moment, analytical modeling.

References

1. Hebiba, A. M., Bouferguene, A., Moon, S., Han, S. (2022). Wind-Wise Automated Stability Analysis for Selection of Tower Crane and Location. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148 (11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002377](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002377)
2. Tomasi, I., Solazzi, L. (2025). Dynamic Analysis of an Off-shore Knuckle-Boom Crane Under Different Load Applications Laws. *Applied Sciences*, 15 (14), 8100. <https://doi.org/10.3390/app15148100>
3. Ke, C., Long, H., Jiang, J. (2024). Study on the Anti-Progressive Collapse Behavior of Steel Frame Structures under Close-Range Blast Loading. *Buildings*, 14 (5), 1387. <https://doi.org/10.3390/buildings14051387>
4. Ramos, H., Pickering, E., AlMahri, S., Krishnan, K., Oyebanji, J., Guan, Z. et al. (2023). Experimental evaluation of hybrid lattice structures subjected to blast loading. *Additive Manufacturing*, 76, 103751. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103751>
5. Augustyn, M., Barski, M., Chwał, M., Stawiarski, A. (2023). Experimental and Numerical Estimation of the Aerodynamic Forces Induced by the Wind Acting on a Fast-Erecting Crane. *Applied Sciences*, 13 (19), 10826. <https://doi.org/10.3390/app131910826>
6. Liu, Q., Zhang, R., Sun, S., Zhang, J. (2024). Aerodynamic Load Variation and Wind-Induced Vibration Analysis of Tower Cranes Under Full Wind Angles. *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 29 (2), 101–115. <https://doi.org/10.20855/ijav.2024.29.22016>
7. Horbatiuk, Ye. V., Volianiuk, V. O., Terentiev, O. O., Sviderskyi, A. T. (2021). *Proektuvannia metalokonstruktsiy budivelnykh mashyn*. Kyiv: KNUBA, 276. Available at: <https://elib.knuba.edu.ua/library/DocumentDescription?docid=KvKNUBA.BibRecord.229775>
8. Sliusar, V. (2022). Evaluation of reliability indicators of tower cranes. *Kompleksni kompozytni konstruktsiyi budivel ta sporud v umovakh voiennoho stanu (CSCS-2022): zb. nauk. pr. za materialamy XIV Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Poltava, 111–112*. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/24205/1/Berestianskaya.pdf#page=111>
9. CEN - EN 13001-2. Crane safety - General design - Part 2: Load actions. European Committee for Standardization. Available at: <https://standards.globalspec.com/std/14373127/en-13001-2>
10. Zhang, Q., Mei, B., Wang, K., Hu, X., Yang, H., Xu, Y. et al. (2026). Wind-Induced Dynamic Performance and Fatigue Life of a Flat-Jib Tower Crane Across Various Operating Conditions. *Buildings*, 16 (4), 741. <https://doi.org/10.3390/buildings16040741>
11. Li, Q., Fan, W., Huang, M., Jin, H., Zhang, J., Ma, J. (2023). Machine Learning-Based Prediction of Dynamic Responses of a Tower Crane under Strong Coastal Winds. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11 (4), 803. <https://doi.org/10.3390/jmse11040803>
12. Kang, H., Gao, J., Wang, S., Zhou, K., Huang, C. (2024). Research on Stability of Tower Crane based on ANSYS Software. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 8 (3), 74–79. <https://doi.org/10.54097/dfa06z68>
13. Kobets, A. S., Dyrda, V. I., Kozub, Yu. H., Raksha, S. V., Ovcharenko, Yu. M. (2014). *Pidiomno-transportni mashyny*. Starobilsk, 217. Available at: <https://elib.knuba.edu.ua/library/DocumentDescription?docid=KvKNUBA.BibRecord.210047>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354921

IDENTIFYING REGULARITIES IN THE STRENGTH INDICATORS OF A PASSENGER RAILROAD CAR BODY DEPENDING ON THE USE OF A C-SHAPED PROFILE WITH PERFORATION IN THE GIRDLE BEAM (p. 14–20)

Sergii PanchenkoUkrainian State University of Railway Transport,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-9933>**Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**Iraida Stanovska**Odesa Polytechnic National University,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>**Arsen Muradian**Odesa National Maritime University,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6488-6627>**Ihor Voloshyn**Odesa National Maritime University,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1874-5123>

This study considers processes resulting in the occurrence and acceptance of loads by the body of a passenger railroad car with a girdle beam under operational conditions. The task addressed is to improve the strength indicators of the girdle beam in a passenger car.

To improve the strength of the frame of a passenger car, it is proposed to introduce a C-shaped profile with perforation as a profile for the girdle beam. The mass of the girdle beam using the proposed profile will decrease by more than 20%. At the same time, the moment of resistance of the cross-section of the girdle beam will increase by almost 14%.

To substantiate such an implementation, a calculation was performed for the strength of the body of a passenger car under the main modes of its loading during operation. It was established that the maximum stresses arising in the girdle beam under the most unfavorable loading scheme are lower than the permissible ones by 20.5%. Under other design loading conditions of the body, the strength of its structure is also maintained. As part of the study, a modal analysis of the passenger car body was conducted. The calculations showed that traffic safety from the point of view of modal analysis is observed.

A feature of the proposed improvement of the passenger car body is that it does not complicate the maintenance and repair of the car using the existing base.

The scope of practical use of the results is railroad transport.

The condition for using the research results is compliance with periodic maintenance of the passenger car body during operation.

The study reported here will contribute to compiling recommendations for the design of new passenger car structures with improved technical and economic indicators.

Keywords: railroad transport, passenger car, body improvement, girdle beam, body strength.

References

- Tokarev, D., Tvoronovych, V. (2023). World practices for the development of passenger traffic by railway transport. *Economy and Society*, 52. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-23>
- Li, H., Jiang, Z., Li, C., Gu, J., Wang, B. (2025). Formulation and Evaluation of Rail Transit Passenger Influx Control Schemes Based on Train-Passenger-Station Interactive Simulation. *Urban Rail Transit*, 11 (4), 351–370. <https://doi.org/10.1007/s40864-025-00248-6>
- Fischer, S., Harangozó, D., Németh, D., Kocsis, B., Sysyn, M., Kurhan, D., Brautigam, A. (2024). Investigation of heat-affected zones of thermite rail weldings. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 689. <https://doi.org/10.22190/fume221217008f>
- Baykasoglu, C., Sunbuloglu, E., Bozdog, S. E., Aruk, F., Toprak, T., Mugan, A. (2012). Numerical static and dynamic stress analysis on railway passenger and freight car models. *International Iron & Steel Symposium*. Karabük, 579–586. Available at: https://d1wqtxts1x2le7.cloudfront.net/85453299/cengizbaykasoglu_hitited-utr110920130Y7K9TOV-libre.pdf?1651643639=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNumerical_Static_and_Dynamic_Stress_Anal.pdf&Expires=1774004664&Signature=eMoHIIr6PknKOJ8PIBLb2Smb2bM118UpW5tqC6YaWLHU2AjpSsth8Jd4tpVN8KLMQX2FZfcXLBjd4D4MsvDK9RvcX3A0DPAtilfKtZdYdnauhYwOO-2hSpVz~eXKp3SDKYqfAmQDkqJr66KpuGoRykuD3WShkuMD-bTScj2msmcQ-ZK7VuqG3eSiCZNRGLPruP6Ylv41eJnds-FOBxTilyOuaJZ1AGJHTUVUkLhw~as11PI-Nr1brxsT8TprsBrbFigLLnHx~2Vuj13le6fZXTdNIBCb03S~A03v9sgCBZjv62VP1MVzfzyJasBYCynnYOiQUu3Nuwb-IHk~ETSA__&Key-Pair-Id=APKAJLO-HF5GGSLRBV4ZA
- Lovska, A., Gerlici, J., Dižo, J. (2025). Research of the possibility of using beams with corrugated walls in a passenger rail car frame. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12783-0>
- Tyrell, D., Jacobsen, K., Martinez, E., Perlman, A. B. (2006). Train-to-Train Impact Test of Crash Energy Management Passenger Rail Equipment: Structural Results. *Rail Transportation*, 35–44. <https://doi.org/10.1115/imece2006-13597>
- Kirkpatrick, S. W., MacNeill, R. A. (2002). Development of a computer model for prediction of collision response of a railroad passenger car. *ASME/IEEE Joint Railroad Conference*, 9–16. <https://doi.org/10.1109/rcon.2002.1000085>
- Kuczek, T. (2015). Application of manufacturing constraints to structural optimization of thin-walled structures. *Engineering Optimization*, 48 (2), 351–360. <https://doi.org/10.1080/0305215x.2015.1017350>
- Zairova, D., Kadirov, M. A., Khojiev, N., Khikmatov, F., Shokuchorov, K. (2021). Running quality assessment of a passenger car produced in the Republic of Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 264, 05058. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405058>
- Lovska, A., Stanovska, I., Nerubatskiy, V., Hordiienko, D., Zinchenko, O., Karpenko, N., Semenenko, Y. (2022). Determining features of the stressed state of a passenger car frame with an energy-absorbing material in the girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 44–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265043>
- Radkevich, N. (2022). The influence of the environment on the bearing structures of passenger cars. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series “Transport Systems and Technologies”* 1 (40), 131–138. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-11>
- Dižo, J., Blatnický, M., Harušinec, J., Falendyš, A. (2018). Modification and analyses of structural properties of a goods wagon bogie frame. *Diagnostyka*, 20 (1), 41–48. <https://doi.org/10.29354/diag/99853>
- 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>

14. Kondratiev, A., Pištěk, V., Gajdachuk, V., Kharchenko, M., Nabokina, T., Kučera, P., Kučera, O. (2023). Effect of Ply Orientation on the Mechanical Performance of Carbon Fibre Honeycomb Cores. *Polymers*, 15 (11), 2503. <https://doi.org/10.3390/polym15112503>
15. Kowalski, S., Cieślakowski, B., Barta, D., Dižo, J., Dittrich, A. (2023). Analysis of the Operational Wear of the Combustion Engine Piston Pin. *Lubricants*, 11 (3), 100. <https://doi.org/10.3390/lubricants11030100>
16. Šťastniak, 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>
17. Smetanka, L., Šťastniak, P. (2017). Analysis of Contact Stresses of Theoretical and Worn Profile by Using Computer Simulation. *Manufacturing Technology*, 1 7(4), 580–585. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2017/a/1213-2489/mt/17/4/580>
18. Dižo, J., Blatnický, M., Melnik, R., Karľa, M. (2022). Improvement of Steering and Driving Safety of an Electric Three-Wheeled Vehicle by a Design Modification of its Steering Mechanism. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 13 (1), 49–60. <https://doi.org/10.2478/logi-2022-0005>
19. Ďungel, J., Zvolenský, P., Grenčík, J., Leštinský, L., Krivda, J. (2021). Localization of Increased Noise at Operating Speed of a Passenger Wagon. *Sustainability*, 13 (2), 453. <https://doi.org/10.3390/su13020453>
20. 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>
21. Alizhan, A., Apshevik, B., Alimkulov, M., Goltsev, A., Chernavin, V., Almas, K. (2025). Dynamic Behavior of a Modernized Passenger Coach for Multimodal Transport: Effect of Wheel Wear and Clearance Optimization. *Future Transportation*, 5 (4), 168. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5040168>
22. Fischer, S. (2024). Investigation of the Settlement Behavior of Ballasted Railway Tracks Due to Dynamic Loading. *Spectrum of Mechanical Engineering and Operational Research*, 2 (1), 24–46. <https://doi.org/10.31181/smear21202528>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355671

DETERMINING REGULARITIES IN THE STRESSED-STRAINED STATE OF A GLASS DOME (p. 21–27)

Bogdan Demchyna

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3498-1519>

Roman Tkach

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-3796>

Roman Kotselko

Sklo Forma,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4895-6960>

Khrystyna Demchyna

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-5575>

Two thin-walled glass domes in the form of a spherical segment with a truncated apex have been considered in this study. The task addressed relates to the lack of experimentally confirmed

data on their stressed-strained state and fracture mechanisms, which compromises the reliability of numerical models and limits practical application.

This paper reports experimental results from testing glass dome models subjected to uniformly distributed loading, as well as and their numerical verification using the finite element method implemented in Siemens Simcenter Femap with NX Nastran (USA). The deformation behavior, ultimate load levels, and brittle explosive failure mechanism with crack initiation in the apex zone were identified. The maximum experimental vertical displacement reached 3.1 mm, while the discrepancy between numerical and experimental results did not exceed 12.9%, confirming the adequacy of the numerical model.

The results made it possible to identify tensile stress concentration zones and demonstrated consistency between numerically predicted critical regions and the experimentally observed failure pattern. This was achieved through a combined approach integrating controlled laboratory testing and detailed spatial FEM analysis. The results are attributed to the predominantly membrane behavior of the dome and local stress concentration in the load application zone.

The findings could be applied in the design of transparent dome structures as well as annealed and additively manufactured glass shells intended for special operating conditions, including prospective hermetic modules for extraterrestrial environments such as Mars.

Keywords: glass dome; stressed-strained state; Siemens Simcenter Femap; Martian structures, structural behavior of glass structures.

References

1. Demchyna, B., Surmai, M., Tkach, R. (2019). The experimental study of glass multilayer columns using digital image correlation. *Archives of Materials Science and Engineering*, 1 (96), 32–41. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.1990>
2. Demchyna, B., Vozniuk, L., Surmai, M. (2023). Testing of the Ribbed Dome Which is Manufactured by 3D Printing. *Proceedings of CEE 2023*, 70–77. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_8
3. Demchyna, B., Vozniuk, L., Surmai, M., Havryliak, S., Famulyak, Y. (2023). Experimental study of the dome model made using a 3D printer from PLA plastic. *INTERNATIONAL SCIENTIFIC SESSION ON APPLIED MECHANICS XI: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Mechanics*, 2949, 020025. <https://doi.org/10.1063/5.0165270>
4. Haldimann, M., Luible, A., Overend, M. (2008). Structural use of Glass. *International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*. <https://doi.org/10.2749/sed010>
5. Feldmann, M., Laurs, M., Belis, J., Buljan, N., Criaud, A., Dupont, E. et al. (2023). The new CEN/TS 19100: Design of glass structures. *Glass Structures & Engineering*, 8 (3), 317–337. <https://doi.org/10.1007/s40940-023-00219-y>
6. Demchyna, B., Surmai, M., Tkach, R., Hula, V., Kozak, R. (2020). An analysis of using the method of two-dimensional digital image correlation in glass column research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (12 (106)), 52–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209761>
7. Caiazzo, A., Casaburo, A., Petrone, G., De Rosa, S., Franco, F. (2026). Structures for extraterrestrial habitat: A review. *Acta Astronautica*, 238, 471–493. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.10.029>
8. Razeto, C., Foncheva, D., Trotti, G., Sumini, V. (2024). Optimizing translucent multilayer membrane for lunar habitats: A design study. *Acta Astronautica*, 223, 316–327. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2024.07.007>

9. Demchyna, B., Tkach, R., Kotselko, R. (2024). Analysis of additive manufacturing of glass domes: challenges and prospects for use on Mars. *Archives of Materials Science and Engineering*, 128 (2). <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.9062>
10. Ayvaz, I., Peters, T., Fildhuth, T., Rusenova, G., Buksak, A., Halter, M. et al. (2025). Structural performance of linearly laminated metal fittings for frameless glass shell structures. *Glass Structures & Engineering*, 10 (4). <https://doi.org/10.1007/s40940-025-00312-4>
11. Zaccaria, M., Peters, T., Ebert, J., Lucca, N., Schneider, J., Louter, C. (2022). The clamp bender: a new testing equipment for thin glass. *Glass Structures & Engineering*, 7 (2), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s40940-022-00188-8>
12. Huang, B., Hu, W., Xu, K., Guan, X., Lu, W. (2023). Experimental and numerical investigation on glass panel subjected to pendulum impact. *International Journal of Impact Engineering*, 173, 104457. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2022.104457>
13. Galuppi, L., Riva, E. (2022). Experimental and numerical characterization of twisting response of thin glass. *Glass Structures & Engineering*, 7 (1), 45–69. <https://doi.org/10.1007/s40940-022-00166-0>
14. Le Gourri rec, C., Chang, X., Durand, B., Villey, R., Voillot, B., Brajer, X., Roux, S. (2023). High speed stereo-vision study of laminated glass fragmentation upon impact. *Glass Structures & Engineering*, 8 (3), 423–442. <https://doi.org/10.1007/s40940-023-00231-2>
15. Kozłowski, M., Zemla, K. (2023). Experiments on the Dynamic Behavior of Curved Glass Panes Subjected to Low-Velocity Impact. *Materials*, 16 (23), 7335. <https://doi.org/10.3390/ma16237335>
16. Galuppi, L., Franco, A., Bedon, C. (2023). Architectural Glass under Climatic Actions and Fire: Review of State of the Art, Open Problems and Future Perspectives. *Buildings*, 13 (4), 939. <https://doi.org/10.3390/buildings13040939>
17. Galuppi, L., Riva, E. (2024). Constant-curvature bending response of thin glass: Analytical, numerical and experimental study of “clamp-bending” tests. *Glass Structures & Engineering*, 9 (2), 99–116. <https://doi.org/10.1007/s40940-024-00249-0>
18. Kalapodis, N., Kampas, G., Ktenidou, O.-J. (2020). A review towards the design of extraterrestrial structures: From regolith to human outposts. *Acta Astronautica*, 175, 540–569. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.05.038>
19. Galuppi, L., Royer-Carfagni, G. (2012). The effective thickness of laminated glass plates. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 7 (4), 375–400. <https://doi.org/10.2140/jomms.2012.7.375>
20. Galuppi, L., Royer-Carfagni, G. F. (2012). Effective thickness of laminated glass beams: New expression via a variational approach. *Engineering Structures*, 38, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.12.039>
21. Galuppi, L., Royer-Carfagni, G. (2018). Post-breakage Tensile and Bending Response of Laminated Glass. *Challenging Glass 6: Conference on Architectural and Structural Applications of Glass (Proceedings)*. <https://doi.org/10.7480/cgc.6.2163>
22. Gupta, N. K., Mohamed Sheriff, N., Velmurugan, R. (2008). Experimental and theoretical studies on buckling of thin spherical shells under axial loads. *International Journal of Mechanical Sciences*, 50 (3), 422–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2007.10.002>
23. Terzi, V. G., Makarios, T. K. (2023). Finite Element In-Depth Verification: Base Displacements of a Spherical Dome Loaded by Edge Forces and Moments. *Modelling*, 5 (1), 37–54. <https://doi.org/10.3390/modelling5010003>
24. Vet , D., Sajtos, I. (2017). Theoretical, Numerical and Experimental Analysis of Polygonal Buckling Shapes of Spherical Shells Subjected to Concentrated Load. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 58 (2), 145–158. <https://doi.org/10.20898/j.iass.2017.192.813>
25. Shariati, M., Allahbakhsh, H. R. (2010). Numerical and experimental investigations on the buckling of steel semi-spherical shells under various loadings. *Thin-Walled Structures*, 48 (8), 620–628. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2010.03.002>
26. Fritzsche, K., van der Sluis, W., Smits, E., Bakker, J. (2020). Capital C, geometric optimization of a free-form steel gridshell towards planar quadrilateral glass units. *Challenging Glass 7: Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*. <https://doi.org/10.7480/cgc.7.4493>
27. Bijster, J., Noteboom, C., Eekhout, M. (2016). Glass Entrance Van Gogh Museum Amsterdam. *Glass Structures & Engineering*, 1 (1), 205–231. <https://doi.org/10.1007/s40940-016-0022-5>
28. Goel, S. (2016). Optimal Segmentation of Glass Shell Structures. *Challenging Glass 5: Conference on Architectural and Structural Applications of Glass*. <http://doi.org/10.7480/cgc.5.2225>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355567

DETERMINING PATTERNS THAT INDUCE THE STRESSED-STRAINED STATE OF A PRINTING PLATE DURING INTAGLIO PRINTING (p. 28–43)

Tetiana Kyrychok

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9639-5486>

Olena Korotenko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6439-1192>

Vladyslav Korotenko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6512-5985>

Vladyslav Doroshchuk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9658-3455>

One of the main methods for protecting paper banknotes is intaglio printing, whose key quality factor is the durability of the printing plate. This study investigates the process that induces the stressed-strained state of an engraved printing plate obtained by direct laser engraving with different geometric parameters of printing and non-printing elements of printing plate. The task addressed relates to the lack of understanding of the mechanism behind the influence of geometric engraving parameters on the stress concentration and deformation of engraved elements of intaglio printing plates. This causes their premature wear and a decrease in the stability of the printing process.

Based on modelling the contact interaction of the plate and printing cylinders, the results of the study have established quantitative dependences between the geometric parameters of engraving and the values of equivalent stresses and deformations of engraved strokes. It was found that the stress values vary within the range of 15–550 MPa, and the deformations range from 0.01 to 0.06 mm, depending on the characteristic zone of the engraved elements and their geometric parameters. The optimal geometric parameters of engraving have been determined based on the analysis of simulation results.

A notable feature of the results is that the model accounted for the actual printing conditions during intaglio printing, as well as the presence or absence of paint within the stroke. Compiled recommendations for the selection of geometric parameters of

engraved strokes could be taken into consideration when designing the engraving of intaglio printing plates. The results of this study are valuable for the industrial production of banknote products and securities.

Keywords: intaglio printing plates, direct laser engraving, wear resistance, stressed-strained state, intaglio printing modelling.

References

- Banknote Printing Machine Market. Available at: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/banknote-printing-machine-market>
- Watermarks and intaglio printing remain top security features (2020). Central Banking Staff. Available at: <https://www.centralbanking.com/central-banks/currency/7701186/watermarks-and-intaglio-printing-remain-top-security-features>
- Funk, M., Gillich, E., Hofmann, J., Lohweg, V. (2016). Intaglio quality measurement. Conference: Optical Document Security - The Conference on Optical Security and Counterfeit Detection. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/282327575>
- van der Horst, F., Miedema, J., Snell, J., Theeuwes, J. (2020). Banknote Verification Relies on Vision, Feel and a Single Second. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3581541>
- Kyrychok, T., Kyrychok, P., Havenko, S., Kibirkštis, E., Miliūnas, V. (2014). The influence of pressure during intaglio printing on banknotes durability. *Mechanics*, 20 (3). <https://doi.org/10.5755/j01.mech.20.3.7393>
- Jura and OEBS: Stainless Steel Intaglio Plate Making Process (2024). International Association of Currency Affairs. Available at: <https://currencyaffairs.org/document/stainless-steel-intaglio-plate-making-process/>
- Deinhammer, H., Loos, F., Schwarzbach, D., Fajmann, P. (2004). Direct laser engraving of intaglio printing plates. *Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V*, 5310, 184. <https://doi.org/10.1117/12.526899>
- Hennig, G., Selbmann, K.-H., Brockelt, A. (2005). Laser engraving in gravure industry. *Workshop on Laser Applications in Europe*, 6157, 61570C. <https://doi.org/10.1117/12.660938>
- Kyrychok, T., Bahlai, V., Bezpalyi, A., Rehida, P. (2019). Method of Automated Quality Assessment for Technological Operation of Direct Laser Engraving of Intaglio Printing Plates. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 4 (66), 31–41. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(66\).2019.208868](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(66).2019.208868)
- Kyrychok, T., Bahlai, V., Bezpalyi, A. (2020). Influence of Technological Parameters on the Properties of Printing Elements of Intaglio Printing Forms Obtained by Direct Laser Engraving. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 3 (69), 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.3\(69\).2020.226568](https://doi.org/10.20535/2077-7264.3(69).2020.226568)
- Kyrychok, T., Korotenko, O., Bahlai, V. (2021). The Influence of Printing Elements Parameters of Intaglio Printing Plates Obtained by Direct Laser Engraving on Graphic and Gradation Accuracy of Imprints. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 4 (74), 4–15. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(74\).2021.258285](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(74).2021.258285)
- Al Aboud, A., Dörsam, E., Spiehl, D. (2020). Investigation of printing pad geometry by using FEM simulation. *Journal of Print and Media Technology Research*, 9 (2), 81–93. Available at: <https://jpmtr.net/index.php/journal/article/view/14>
- Rydefalk, C., Hagman, A., Kulachenko, A., Thorman, S. (2025). Simulations of lateral stress variations in a flexographic print nip. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. <https://doi.org/10.1515/npprj-2025-0019>
- Kyrychok, T., Bahlai, V. (2022). Determination of Means of Ensuring the Quality of Intaglio Printing Plates. *Technology and Technique of Typography (Tekhnolohiia I Tekhnika Drukarstva)*, 1 (75), 4–14. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.263575](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.263575)
- Developer documentation. Ansys. Available at: <https://developer.ansys.com/docs>
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R., Zhu, J. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Elsevier. Available at: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9780080531670_A23527211/preview-9780080531670_A23527211.pdf
- Bathe, K.-J. (1996). *Finite Element Procedures*. Upper Saddle River. Available at: <https://soaneemrana.org/onewebmedia/Finite%20Element%20Procedures%20in%20Engineering%20Analysis%20Bathe%20K.J.pdf>
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons. Available at: https://cybertycoons.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/04/robert_d-cook_david_s-malkus_michael_e-plesh-bookos-org-fem.pdf
- HSFLD242. 3D Hydrostatic Fluid. Available at: https://ansyshelp.ansys.com/public/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v242/en/ans_elem/Hlp_E_HSFLD242.html

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354922

WEAR PREDICTION AND MATERIAL SELECTION OF CONTACT INSERTS FOR ELECTRIC TRANSPORT BASED ON ENERGY MODEL USING THE FINITE ELEMENT METHOD (p. 44–61)

Kostiantyn Holenko

Khmelnytskyi National University,
Khmelnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6140-4573>

Oleksandr Dykha

Khmelnytskyi National University,
Khmelnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

Orest Horbay

Lviv Polytechnic National University,
Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-5637>

Oleksii Kovtun

Khmelnytskyi National University,
Khmelnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6036-6723>

Volodymyr Dytyniuk

Khmelnytskyi National University,
Khmelnytsky, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6377-524X>

This study explores the contact pair «trolleybus contact insert «TCI-power wire». The task addressed relates to the lack of consideration of thermal effects, phase changes, and thermal softening of the material in the classical Archard and Karman models, which complicates wear prediction.

To solve this problem, an energy-temperature wear model (ETW) has been constructed, which integrates mechanical, thermal, and energy processes in the contact zone. Unlike existing approaches, the model considers the temperature-dependent hardness $H(T)$ and local fields of contact pressure and frictional stresses, determined by the finite element method (FEM) in the Ansys environment.

The research features involve a hybrid approach to wear prediction – the integration of mathematical modeling and FEM simulation.

The results include von Mises stresses $\sigma_{\max} = 16.24$ MPa (amorphous carbon), 18.99 MPa (electrographite – EG), and 30.53 MPa (copper-graphite composite Cu-40%C(f) 0.90 – CU). Under sliding conditions of $S_{\text{total}} = 0.2$ m at contact pressure $p = 0.5$ MPa, the wear depth for EG is $1.99 \cdot 10^{-5}$ mm, which is extrapolated to 47.8 mm at 450 km and exceeds the permissible 10 mm, while for CU the wear decreases to 2.2 mm. The wear reduction is associated with the greater hardness of CU (120–135 HV) and a uniform distribution of contact stresses, which confirms the ETW effectiveness.

Practical significance of the results is the possibility of a reasonable choice of TCI materials, in particular copper-fullerene composites (Cu-0.5% FS), to increase wear resistance and stability of current collection with priority insert wear over the contact wire. The scope of practical implementation of the results includes the design of materials for current collection systems of electric transport.

Keywords: frictional interaction, fullerene soot, contact insert, wear prediction, energy model.

References

- Wilk, A., Bartłomiejczyk, M., Skibicki, J., Jarzębowski, L., Karkosinski, D. R., Hupka, Ł. et al. (2025). Processing and analysis of trolleybus traction data using LINQ technology. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 73 (4), 154144–154144. <https://doi.org/10.24425/bpasts.2025.154144>
- Jakubowski, A., Jarzebowski, L., Bartłomiejczyk, M., Skibicki, J., Judek, S., Wilk, A., Plonka, M. (2021). Modeling of Electrified Transportation Systems Featuring Multiple Vehicles and Complex Power Supply Layout. *Energies*, 14 (24), 8196. <https://doi.org/10.3390/en14248196>
- Apostolidou, N., Papanikolaou, N. (2018). Energy Saving Estimation of Athens Trolleybuses Considering Regenerative Braking and Improved Control Scheme. *Resources*, 7 (3), 43. <https://doi.org/10.3390/resources7030043>
- Barbone, R., Mandrioli, R., Ricco, M., Paternost, R. F. P., Franco, F. L., Grandi, G. (2022). Flexible and Modular Model for Smart Trolleybus Grids. 2022 IEEE 16th International Conference on Compatibility, Power Electronics, and Power Engineering (CPE-POWERENG), 1–6. <https://doi.org/10.1109/cpe-powereng54966.2022.9880904>
- Paternost, R. F., Mandrioli, R., Barbone, R., Ricco, M., Cirimele, V., Grandi, G. (2022). Catenary-Powered Electric Traction Network Modeling: A Data-Driven Analysis for Trolleybus System Simulation. *World Electric Vehicle Journal*, 13 (9), 169. <https://doi.org/10.3390/wevj13090169>
- Skurikhin, V. (2014). Determination of wearproofness of contact wire by the method of complete factor experiment. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (15)), 26–30. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.21251>
- Bolshakov, Yu. L., Antonov, A. V. (2015). Investigation of properties of current collector elements and their effect on the performance of tribosystem «contact wire - current collector element». *Science and Transport Progress*, 6 (60), 35–44. <https://doi.org/10.15802/stp2015/57006>
- Chen, M., Allen, T. (2021). Trolleybus Catenary-Pantograph Self-generation Contact Force Under Preload. *World Journal of Applied Physics*, 6 (4), 60. <https://doi.org/10.11648/j.wjap.20210604.12>
- Dykha, A., Aulin, V., Makovkin, O., Posonskiy, S. (2017). Determining the characteristics of viscous friction in the sliding supports using the method of pendulum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 4–10. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99823>
- Pan, L., Yang, C., Xing, T., Yu, Q. (2025). An Experimental Investigation of the Electrical Tribological Characteristics of a Copper–Silver Alloy Contact Wire/Novel Pure Carbon Slider. *Lubricants*, 13 (2), 87. <https://doi.org/10.3390/lubricants13020087>
- Chen, T., Song, C., Liu, Z., Wang, L., Hou, X., Lu, H., Zhang, Y. (2023). Current-carrying tribological properties of an elastic roll ring under different currents. *Wear*, 514-515, 204590. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204590>
- Holenko, K., Dykha, O., Koda, E., Kernytskyy, I., Horbay, O. et al. (2025). Peculiarities of Assessing Body Strength When Converting a Bus from Diesel to Electric Traction Following the UNECE R100 Regulation. *Applied Sciences*, 15 (14), 8115. <https://doi.org/10.3390/app15148115>
- Cao, Z., Li, R., Shou, M., Luo, R., Wei, B., Wang, T. (2024). Mechanical properties and tribological behaviors of Ag/graphene composite coating under sliding friction and current-carrying fretting. *Tribology International*, 197, 109811. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109811>
- Li, S., Yang, X., Kang, Y., Li, Z., Li, H. (2022). Progress on Current-Carry Friction and Wear: An Overview from Measurements to Mechanism. *Coatings*, 12 (9), 1345. <https://doi.org/10.3390/coatings12091345>
- Ogasawara, T., Ishida, Y., Kasai, T. (2009). Mechanical properties of carbon fiber/fullerene-dispersed epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 69 (11-12), 2002–2007. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.05.003>
- Kubo, S., Tsuchiya, H. (2005). Wear Properties of Metal-Impregnated Carbon Fiber-Reinforced Carbon Composite Sliding Against a Copper Plate Under an Electric Current. *World Tribology Congress III, Volume 1*, 85–86. <https://doi.org/10.1115/wtc2005-63457>
- Zhu, W., Miser, D. E., Geoffrey Chan, W., Hajjaligol, M. R. (2004). Characterization of combustion fullerene soot, C60, and mixed fullerene. *Carbon*, 42 (8-9), 1463–1471. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2004.01.076>
- Bucca, G., Collina, A. (2009). A procedure for the wear prediction of collector strip and contact wire in pantograph-catenary system. *Wear*, 266 (1-2), 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.05.006>
- P., A. K., V., V. N., Joshi, G., Mehta, K. P. (2021). Fabrication and applications of fullerene-based metal nanocomposites: A review. *Journal of Materials Research*, 36 (1), 114–128. <https://doi.org/10.1557/s43578-020-00094-1>
- Zhao, H., Barber, G. C., Liu, J. (2001). Friction and wear in high speed sliding with and without electrical current. *Wear*, 249 (5-6), 409–414. [https://doi.org/10.1016/s0043-1648\(01\)00545-2](https://doi.org/10.1016/s0043-1648(01)00545-2)
- Fals, A. E., Hadjiev, V. G., Robles Hernández, F. C. (2012). Multi-functional fullerene soot/alumina composites with improved toughness and electrical conductivity. *Materials Science and Engineering: A*, 558, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.07.027>
- Dub, S. N., Haftaoglu, C., Kindrachuk, V. M. (2021). Estimate of theoretical shear strength of C60 single crystal by nanoindentation. *Journal of Materials Science*, 56 (18), 10905–10914. <https://doi.org/10.1007/s10853-021-05991-2>
- Holenko, K., Dykha, A., Dytyniuk, V., Dykha, M., Horbay, O. (2025). Simulation of the Shaft Surface Strengthening as a Result of Discrete Electro-Mechanical Processing. *Advanced Manufacturing Processes VI*, 525–534. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_46
- Dykha, A. V., Zaspas, Yu. P., Slashchuk, V. O. (2018). Triboacoustic Control of Fretting. *Journal of Friction and Wear*, 39 (2), 169–172. <https://doi.org/10.3103/s1068366618020046>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358194

ASSESSING THE STABILITY OF A PROTECTIVE SOIL-CEMENT STRUCTURE IN THE SOIL MASSIF UNDER THE ACTION OF CRITICAL EXPLOSIVE IMPACTS (p. 62–71)

Natalia Remez

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8646-6527>

Hennadii Haiko

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4263-5958>

Vadym Bronytskyi

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3092-3418>

Tetiana Hrebeniuk

National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9287-2919>

Svitlana Haiko

Institute of Telecommunications and Global Information Space
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3564-475X>

This study investigates dynamic interaction between the soil and an obstacle under explosive loading. The task addressed is to protect underground structures with shallow laying in the soil massif from the effect of critical explosive influences, which is becoming increasingly relevant under conditions of military threats.

A methodology has been devised to numerically solve the problem of a cylindrical warhead explosion on the surface of the soil massif, taking into account the interaction with the foundation-cement obstacle. That has made it possible to investigate the patterns of change in wave processes in the soil and obstacle depending on time, charge mass, and depth of the screen.

The wave interaction between the explosion and the soil massif with an obstacle was numerically simulated. The isobar field was determined at different times and velocity isoseisms were defined, which show the dynamics of wave propagation deep into the soil massif and changes in their velocity. Dependences of the peak stress on the depth for different warhead masses (50, 150, and 500 kg) were derived, as well as the resulting peak stresses and the minimum safe horizontal distances to the epicenter of the explosion for the obstacle. The dependences between the deflection and pressure of the protective soil-cement structure were determined, which makes it possible to predict the stability of the protective screen at its different thickness.

It has been established that the peak stress decreases rapidly with distance from the epicenter of the explosion. For $R < 3.7$ m, the screen (obstacle) is in the zone of high tensile stresses ($\sigma_{\max} > 2$ MPa), which leads to crushing, loss of shape, and stability of the structure. For $R \approx 7.4$ m, the tensile stress decreases to approximately 0.3–0.5 MPa. These values should be considered as a threshold value for maintaining the holding (protective) function of the soil-cement obstacle.

A nomogram has been constructed to assess the mechanical properties of a soil-cement barrier located at a certain depth during a surface explosion of a warhead of different mass depending on the cement content. This facilitates practical management of the stability of the protective structure by adjusting the parameters of the bonding mixture.

The prospects of engineering protection of underground facilities by forming a continuous soil-cement screen in the path of the blast wave, formed by jet cementing of soils, have been proven.

Keywords: blast waves, soil massif, soil-cement screen, mathematical modeling, stability prediction.

References

- Remez, N., Bronytskyi, V., Hrebeniuk, T. (2024). Risk assessment for the development of the exemplified territories. POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology, 1. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2024.300835>
- Remez, N., Dychko, A., Bronytskyi, V., Hrebeniuk, T., Bambirra Pereira, R., Ekel, P. (2021). Simulation of the influence of dynamic loading on the stress-strain state of the natural and geoenvironment environment. E3S Web of Conferences, 280, 01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001008>
- Remez, N. S., Dychko, A. O., Hrebeniuk, T. V., Kraichuk, S. O., Pereira, R. B. (2022). Interaction behaviors of longitudinal and transverse seismic waves with underground objects. Book of Abstracts of the 3rd International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters, 25. Available at: https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/05/book-of-abstracts_icsf-2022.pdf
- Haiko, H., Savchenko, I., Shelestov, A. (2025). Ensuring resilience and safety of the transportation system of Kyiv in planning the network of road tunnels. Case Studies on Transport Policy, 19, 101355. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101355>
- Haiko, H., Hollander, J. B., Savchenko, I. (2025). Priority ranking of alternative Odesa metro plan variants: using modified morphological analysis method. International Journal of Urban Sciences, 29 (4), 910–938. <https://doi.org/10.1080/12265934.2025.2452509>
- Lin, Q., Feng, C., Gan, Y., Yuan, J., Jiao, W., Yang, Y. (2024). Study of Difference in Dynamic Response of Underground Structure at Different Blast Angles. Advances in Frontier Research on Engineering Structures II, 393–401. https://doi.org/10.1007/978-981-97-6238-5_32
- Krauthammer, T. (2008). Modern Protective Structures (Civil and Environmental Engineering). CRC Press. Available at: https://openlibrary.org/books/OL8125346M/Modern_Protective_Structures_%28Civil_and_Environmental_Engineering%29
- UFC 3-340-02. Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions (2008). Washington. Available at: https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ARCHIVES/ufc_3_340_02.pdf
- Belytschko, T., Liu, W. K., Moran, B., Elkhodary, K. I. (2014). Nonlinear finite elements for continua and structures. John Wiley & Sons. Available at: <https://download.e-bookshelf.de/download/0004/0349/97/L-G-0004034997-0002588474.pdf>
- Johnson, G. R., Holmquist, T. J. (1993). A computational constitutive model for concrete subjected to large strains, high strain rates, and high pressures. In: 14th International Symposium on Ballistics. Available at: https://ftp.lstc.com/anonymous/outgoing/jday/concrete/scanned_mat111.pdf
- Dowding, C. H. (2000). Construction Vibrations. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. Available at: <https://openlibrary.org/books/OL8526402M/>
- Mandal, J., Agarwal, A. K., Goel, M. D. (2020). Numerical Modeling of Shallow Buried Tunnel Subject to Surface Blast Loading. Journal of Performance of Constructed Facilities, 34 (6). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001518](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001518)
- Zhou, Q., He, H., Liu, S., Chen, X., Tang, Z., Liu, Y. et al. (2021). Blast resistance evaluation of urban utility tunnel reinforced with BFRP bars. Defence Technology, 17 (2), 512–530. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.03.015>
- Kolsky, H. (1949). An Investigation of the Mechanical Properties of Materials at very High Rates of Loading. Proceedings of the Physical Society. Section B, 62 (11), 676–700. <https://doi.org/10.1088/0370-1301/62/11/302>
- Zhao, H., Yu, H., Yuan, Y., Zhu, H. (2015). Blast mitigation effect of the foamed cement-base sacrificial cladding for tunnel structures. Construction and Building Materials, 94, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.076>
- Remez, N. S., Dychko, A. O., Sini, L., Minaieva, Yu. Yu. (2025). Recovery of bomb-turated and unstable soils by drilling mixing technology.

Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 2 (1), 284–290. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.2/41>

17. Remez, N. S. (2019). Vzaiemodiya vybukhovoykh khvyl z gruntamy i elementamy tekhnobosystem. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 334.
18. Remez, N., Haiko, H., Dychko, A., Boiko, V., Haiko, S., Antoniuk, O. (2024). Development of a mathematical model of dynamic soil deformation taking into account the variable coefficient of volumetric viscosity. E3S Web of Conferences, 567, 01010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456701010>
19. Remez, N., Haiko, H., Hrebeniuk, T., Woźniak, G. (2025). Assessment of the risks of dispersion of harmful gases during the detonation of non-Tentyl emulsion explosives. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1457 (1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1457/1/012020>
20. Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., Suddeepong, A. (2010). Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. Construction and Building Materials, 24 (10), 2011–2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.03.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356828

CONSTRUCTION OF A THEORETICAL MODEL OF OSCILLATIONS OF A TILLAGE (SEEDING) IMPLEMENT WITH INDEPENDENT MOUNTING AND TWO SUPPORT ROLLERS (p. 72–80)

Viacheslav Padalka

Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4135-3318>

Oleksandr Gorbenko

Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2473-0801>

Dmytro Khvostenko

Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3664-021X>

Andrii Lazorenko

Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3586-5656>

Vladyslav Alpidovskiy

Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5797-7983>

This study investigates natural harmonic vibrations of a working implement equipped with a lever-type hitching system to the traction mechanisms and two support points on the surface. The task addressed relates to the absence of a generalized theoretical model for quantitative prediction of amplitude-frequency characteristics of such systems. This complicates the substantiation of rational structural and geometric parameters to enable technologically acceptable vertical deviations of working bodies under field irregularities and variable soil properties.

A calculation scheme of a two-support lever mechanism has been devised, separating the implement's intrinsic dynamics from the power unit motion and considering roller-soil contact as an excitation source. An energy-based mathematical model using Lagrange equations of the second kind has been constructed; parametric modeling revealed the decisive influence of attachment

geometry and made it possible to determine rational parameter values. The length of the hitch lever to the power unit is 0.5 m, and the distance from the oscillatory system's center of mass to the hitch point is 0.25 m.

The advantage of the results involves the analytical relationship between the mechanism geometry, contact parameters, and vibration characteristics, which enables structural minimization of vertical deviations without mandatory use of active control. The identified regularities are explained by changes in the reduced inertial-elastic characteristics of the system when varying the lever arms and the position of the hitch point relative to the center of mass.

The results could be practically applied at the stages of designing and adjusting implements provided that equivalent elastic-damping parameters of the “roller-soil” contact are identified for specific field and soil conditions and operating speeds.

Keywords: tillage (seeding) implement, aggregation, support rollers, parallelogram oscillatory system, soil surface following, tillage (seeding) depth accuracy.

References

1. Kim, Y.-S., Lee, S.-D., Baek, S.-M., Baek, S.-Y., Jeon, H.-H., Lee, J.-H. et al. (2022). Analysis of the Effect of Tillage Depth on the Working Performance of Tractor-Moldboard Plow System under Various Field Environments. *Sensors*, 22 (7), 2750. <https://doi.org/10.3390/s22072750>
2. Rud, A. (2025). Analysis of deformation characteristics of spring elements of tillage tools under dynamic loads. *Naukovij Žurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 16 (1), 43–53. <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.43>
3. Bauer, F., Porteš, P., Slimařík, D., Čupera, J., Fajman, M. (2017). Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing. *Soil and Tillage Research*, 172, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.007>
4. Martelli, M., Chiarabelli, D., Gessi, S., Marani, P., Mucchi, E., Polastri, M. (2023). Comprehensive lumped parameter and multibody approach for the dynamic simulation of agricultural tractors with tyre–soil interaction. *IET Cyber-Systems and Robotics*, 5 (3). <https://doi.org/10.1049/csy2.12092>
5. Kim, Y.-S., Kim, T.-J., Kim, Y.-J., Lee, S.-D., Park, S.-U., Kim, W.-S. (2020). Development of a Real-Time Tillage Depth Measurement System for Agricultural Tractors: Application to the Effect Analysis of Tillage Depth on Draft Force during Plow Tillage. *Sensors*, 20 (3), 912. <https://doi.org/10.3390/s20030912>
6. Zhu, Y., Cui, B., Yu, Z., Gao, Y., Wei, X. (2024). Tillage Depth Detection and Control Based on Attitude Estimation and Online Calibration of Model Parameters. *Agriculture*, 14 (12), 2130. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122130>
7. Xiao, M., Ma, Y., Wang, C., Chen, J., Zhu, Y., Bartos, P., Geng, G. (2023). Design and experiment of fuzzy-PID based tillage depth control system for a self-propelled electric tiller. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 16 (4), 116–125. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231604.8116>
8. Wang, A., Ji, X., Zhu, Y., Wang, Q., Wei, X., Zhang, S. (2023). Tillage depth regulation system via depth measurement feedback and composite sliding mode control: A field comparison validation study. *Measurement and Control*, 57 (6), 685–702. <https://doi.org/10.1177/00202940231216139>
9. Shang, J., Liu, D., Song, X., Han, Y., He, S., Zhang, Y. et al. (2024). Sowing depth stability analysis and test verification of no-tillage planter parallel 4-bar row unit. *Heliyon*, 10 (19), e36721. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36721>

10. Sharipov, G. M., Paraforos, D. S., Griepentrog, H. W. (2018). Implementation of a magnetorheological damper on a no-till seeding assembly for optimising seeding depth. *Computers and Electronics in Agriculture*, 150, 465–475. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.024>
11. Xu, T., Zhang, R., Wang, Y., Jiang, X., Feng, W., Wang, J. (2022). Simulation and Analysis of the Working Process of Soil Covering and Compacting of Precision Seeding Units Based on the Coupling Model of DEM with MBD. *Processes*, 10 (6), 1103. <https://doi.org/10.3390/pr10061103>
12. Zhang, C., Wang, X., Guo, M., Zhao, J., Li, M. (2024). A compacting device of rice dry direct-seeding planter based on DEM-MFBD coupling simulation significantly improves the seedbed uniformity and seedling emergence rate. *Biosystems Engineering*, 246, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2024.07.018>
13. Horabik, J., Molenda, M. (2016). Parameters and contact models for DEM simulations of agricultural granular materials: A review. *Biosystems Engineering*, 147, 206–225. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.02.017>
14. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Nadykto, V., Ivanovs, S. (2018). A Mathematical Model of the Plane-Parallel Movement of an Asymmetric Machine-and-Tractor Aggregate. *Agriculture*, 8 (10), 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100151>
15. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Ivanovs, S., Kaletnik, G., Yanovich, V. (2018). Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems Engineering*, 171, 155–164. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.04.021>
16. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Nadykto, V., Ivanovs, S., Adamchuk, V. (2021). Experimental study of the implement-and-tractor aggregate used for laying tracks of permanent traffic lanes inside controlled traffic farming systems. *Soil and Tillage Research*, 208, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104895>
17. Padalka, V., Liashenko, S., Kalinichenko, A., Burlaka, O., Sakalo, V., Padalka, Y. (2021). Modeling of Resonance Phenomena in Self-Oscillating System of Agricultural Machines. 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 1–6. <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598763>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356924**РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ НЕСТАЦІОНАРНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ БАШТОВОГО КРАНА (с. 6–13)****Є. В. Горбатюк, О. О. Булавка, О. О. Терентьев, В. В. Бородиня, В. С. Слюсар**

Об'єкт дослідження – металокопструкції баштових кранів, які зазнають інтенсивного динамічного впливу швидкісного напору екстремального вітрового потоку.

Проблема, що вирішувалася, полягає в недостатній адаптованості існуючих інженерних норм (зокрема EN 13001-2) до оцінки стійкості кранів при дії короткочасних екстремальних аеродинамічних навантажень (шквалистих поривів та віддалених ефектів вибухів). Класичні методи використовують усереднені квазістатичні коефіцієнти і не враховують синергетичний ефект від збігу вектора раптового потоку з динаміки маятникових коливань вантажу.

Отримані результати включають розроблену аналітичну модель швидкісного напору, яка описує динамічні навантаження на стрілу, башту та вантаж крана залежно від їх положення. Визначено аеродинамічні коефіцієнти для ґратчастих копструкцій із урахуванням зміни числа Рейнольдса під час проходження фронту потоку.

Показано, що втрата стійкості зумовлена нелінійною взаємодією швидкісного напору з маятниковими коливаннями вантажу та опором ґратки. Максимальний перекидний момент (до 451 кНм при швидкості потоку 33 м/с) виникає при збігу вектора швидкості потоку з рухом вантажу. Особливості та відмінні риси отриманих результатів полягають у модифікації класичної формули аеродинамічного тиску шляхом інтеграції квадратичного комплексу відносних швидкостей. На відміну від статичних підходів, це дозволяє аналітично описати нелінійне підсилення перекидного моменту внаслідок кінетичної енергії розгойданого вантажу в умовах нестационарного обтікання.

Сфера та умови практичного використання отриманих результатів охоплюють інжинірингові та наглядові організації. Модель може бути інтегрована в системи автоматизованого проектування для розробки алгоритмів протиаварійного захисту на об'єктах з підвищеним ризиком екстремальних вітрових навантажень.

Ключові слова: баштовий кран, нестационарна аеродинаміка, екстремальний порив, перекидний момент, аналітичне моделювання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354921**ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ КУЗОВА ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ВІД ВИКОРИСТАННЯ С-ПОДІБНОГО ПРОФІЛЮ З ПЕРФОРАЦІЄЮ В ХРЕБТОВІЙ БАЛЦІ (с. 14–20)****С. В. Панченко, А. О. Ловська, І. І. Становська, А. О. Мурад'ян, І. О. Волошин**

Об'єктом дослідження є процеси виникнення та сприйняття навантажень кузовом пасажирського вагона з хребтовою балкою при експлуатаційних режимах. Проблема, що вирішувалась, полягає у покращенні показників міцності хребтової балки пасажирського вагона. Для покращення міцності рами пасажирського вагона пропонується впровадження у якості профілю виконання хребтової балки С-подібного профілю з перфорацією. Маса хребтової балки із використанням запропонованого профілю зменшиться більше ніж на 20%. При цьому момент опору поперечного перерізу хребтової балки збільшиться майже на 14%. Для обґрунтування такого впровадження проведено розрахунок на міцність кузова пасажирського вагона при основних режимах його навантаження в експлуатації. Встановлено, що максимальні напруження, що виникають у хребтовій балці при найбільш несприятливій схемі навантаження, є нижчими за допустимі на 20,5%. При інших розрахункових режимах навантаження кузова міцність його копструкції також дотримується. В рамках дослідження проведено модальний аналіз кузова пасажирського вагона. Проведені розрахунки показали, що безпека руху з точки зору модального аналізу дотримується.

Особливістю запропонованого удосконалення кузова пасажирського вагона є те, що воно не ускладнює технічного обслуговування та ремонт вагона із використанням існуючої бази.

Сферою практичного використання отриманих результатів є залізничний транспорт.

Умовою використання результатів дослідження є дотримання періодичного технічного обслуговування кузова пасажирського вагона у експлуатації.

Проведені дослідження сприятимуть формуванню рекомендацій щодо проектування нових копструкцій пасажирських вагонів із покращеними техніко-економічними показниками.

Ключові слова: залізничний транспорт, пасажирський вагон, удосконалення кузова, хребтова балка, міцність кузова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355671**ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СКЛЯНОГО КУПОЛА (с. 21–27)****Б. Г. Демчина, Р. О. Ткач, Р. С. Коцелко, Х. Б. Демчина**

Об'єкт дослідження – два тонкостінні скляні куполи у формі сферичного сегмента зі зрізаною вершиною. Проблема полягає у відсутності експериментально підтверджених даних про їх напружено-деформований стан і механізми руйнування, що знижує достовірність числових моделей та обмежує практичне застосування.

У роботі наведено результати експериментальних випробувань моделей скляного купола під дією рівномірно розподіленого навантаження та виконано їх числову верифікацію методом скінчених елементів із використанням програмного комплексу Siemens Simcenter Femap with NX Nastran (США). Встановлено характер деформування оболонки, рівень граничних навантажень і крихкий, вибухоподібний механізм руйнування з ініціацією тріщин у вершинній зоні. Максимальне експериментальне вертикальне переміщення становило 3,1 мм, а різниця між розрахунковими та експериментальними значеннями не перевищила 12,9%, що підтверджує адекватність числової моделі.

Отримані результати дозволили ідентифікувати зони концентрації розтягуючих напружень і встановити відповідність між чисельно прогнозованими критичними зонами та фактичними зонами руйнування. Це стало можливим завдяки поєднанню контрольованого лабораторного експерименту з детальним просторовим МКЕ-аналізом оболонки. Результати пояснюються переважно мембранною роботою купольної форми та локальною концентрацією напружень у зоні прикладання навантаження.

Практичне використання отриманих результатів можливе при проектуванні світлопрозорих купольних конструкцій, а також віддалених і адитивно сформованих скляних оболонок для спеціальних умов експлуатації, зокрема перспективних герметичних модулів для позаземних середовищ, включаючи марсіанську інфраструктуру.

Ключові слова: скляний купол, напружено-деформований стан, Siemens Simcenter Femap, марсіанські конструкції, робота скляних конструкцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.355567

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДРУКАРСЬКОЇ ФОРМИ ПІД ЧАС ІНТАГЛІОДРУКУ (с. 28–43)

Т. Ю. Киричок, О. В. Коротенко, В. В. Коротенко, В. Р. Дорошук

Одним із основних методів захисту паперових банкнот є інтагліодрук, ключовим фактором якості якого є зносостійкість друкарської форми. Об'єктом дослідження є процес формування напружено-деформованого стану гравійованої друкарської форми, отриманої методом прямого лазерного гравіювання при різних геометричних параметрах друкувальних та пробільних елементів. Проблема, що вирішувалась, полягала у відсутності розуміння механізму впливу геометричних параметрів гравіювання на концентрацію напружень та деформацію гравійованих елементів форм інтагліодруку. Це зумовлює передчасне їх зношування та зниження стабільності друкарського процесу. Отримані результати полягають у тому, що на основі моделювання контактної взаємодії формного і друкарського циліндрів встановлені кількісні залежності між геометричними параметрами гравіювання та величинами еквівалентних напружень і деформацій гравійованих штрихів. Моделювання здійснено за допомогою використання методу скінчених елементів із використанням комплексу ANSYS (США). Встановлено, що значення напружень змінюються у межах від 15–550 МПа, а деформації – 0,01–0,06 мм, залежно від характерної зони гравійованих елементів та їхніх геометричних параметрів. На основі аналізу результатів моделювання визначено оптимальні геометричні параметри гравіювання. Особливістю отриманих результатів є те, що для їх отримання модель враховувала реальні умови друкарського контакту при інтагліодруці, а також наявність та відсутність фарби всередині штриха. Сформульовані рекомендації щодо вибору геометричних параметрів гравійованих штрихів можуть бути враховані при проектуванні гравіювання форм інтагліодруку. Результати дослідження є цінними для промислового виробництва банкнотної продукції та цінних паперів.

Ключові слова: форми інтагліодруку, пряме лазерне гравіювання, зносостійкість, напружено-деформований стан, моделювання інтагліодруку.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.354922

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ КОНТАКТНИХ ВСТАВОК ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (с. 44–61)

К. Е. Голенко, О. В. Диха, О. З. Горбай, О. С. Ковтун, В. О. Дитинюк

Об'єктом дослідження виступала контактна пара «вставка контактна тролейбусна «ВКТ»-дріт живлення». Проблема, що вирішувалась, пов'язана з відсутністю у класичних моделях Archard і Karman урахування теплових ефектів, фазових змін і термом'якшення матеріалу, що ускладнює прогнозування зносу в реальних умовах. Для розв'язання цієї проблеми розроблено енергетично-температурну модель зносу (ETW), яка інтегрує механічні, термічні та енергетичні процеси у зоні контакту. На відміну від існуючих підходів, модель враховує температурозалежну твердість $H(T)$ та локальні поля контактного тиску і фрикційних напружень, визначені методом скінчених елементів (FEM) у середовищі Ansys. Особливості дослідження полягають у гібридному підході до прогнозування зносу – інтеграції математичного та FEM-моделювання. Отримані результати включають напруження за Мізесом $\sigma_{\max} = 16.24$ МПа (аморфний вуглець), 18.99 МПа (електрографіт – EG) та 30.53 МПа (мідно-графітовий композит Cu-40%С(f) 0,90 – CU). За умов ковзання $S_{total} = 0.2$ м при контактному тиску $p = 0.5$ МПа глибина зносу для EG становить $1.99 \cdot 10^{-5}$ мм, що екстраполюється до 47.8 мм на 450 км і перевищує допустимі 10 мм, тоді як для CU знос зменшується до 2.2 мм. Показано, що зниження зносу зумовлене більшою твердістю CU (120–135 HV) і рівномірнішим розподілом контактних напружень, що підтверджує ефективність ETW-моделі. Практична значущість результатів полягає у можливості обґрунтованого вибору матеріалів ВКТ, зокрема мідно-фулеренових композитів (Cu-0.5% FS), для підвищення зносостійкості та стабільності струмознімання за умови пріоритетного зносу вставки порівняно з контактним дротом. Сфера практичного використання результатів охоплює проектування матеріалів струмоприймальних систем електротранспорту.

Ключові слова: фрикційна взаємодія, фулеренова сажа, контактна вставка, прогнозування зносу, енергетична модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.358194**ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗАХИСНОЇ ҐРУНТОЦЕМЕНТНОЇ КОНСТРУКЦІЇ В ҐРУНТОВОМУ МАСИВІ ПРИ ДІЇ КРИТИЧНИХ ВИБУХОВИХ ВПЛИВІВ (с. 62–71)****Н. С. Ремез, Г. І. Гайко, В. О. Броницький, Т. В. Гребенюк, С. І. Гайко**

Об'єктом дослідження є динамічна взаємодія ґрунту з перешкодою при вибуховому навантаженні. Розглянута проблема захисту підземних споруд мілкою закладання в ґрунтовому масиві від дії критичних вибухових впливів, актуальність якої значно зростає в умовах воєнних загроз. Розроблено методика чисельного вирішення завдання про вибух циліндричного боезаряду на поверхні ґрунтового масиву з урахуванням взаємодії з ґрунтоцементною перешкодою. Це дозволило дослідити закономірності зміни хвильових процесів у ґрунті та перешкоді залежно від часу, маси заряду та глибини закладання екрану. Проведене чисельне моделювання хвильової взаємодії вибуху з ґрунтовим масивом та перешкодою. Визначене поле ізобар в різні моменти часу та визначені ізосейсми швидкості, які показують динаміку поширення хвиль вглиб ґрунтового масиву та зміни їх швидкості. Отримані залежності пікового напруження від глибини для різних мас боезаряду (50, 150 і 500 кг), а також виникаючі пікові напруження та мінімальні безпечні горизонтальні відстані до епіцентру вибуху для перешкоди. Визначені залежності між прогином і тиском захисної ґрунтоцементної конструкції, що дає можливість прогнозувати стійкість захисного екрану при різній його товщині. Встановлено, що пікове напруження швидко спадає в міру віддалення від епіцентру вибуху. Для $R < 3,7$ м екран (перешкода) знаходиться в зоні високих напружень розтягання ($\sigma_{\max} > 2$ МПа), що призводить до дроблення, втрати форми та стійкості конструкції. Для $R \approx 7,4$ м напруження розтягання знижується приблизно до 0,3–0,5 МПа. Ці величини слід розглядати як порогове значення для збереження тримальної (захисної) функції ґрунтоцементної перешкоди. Побудовано номограму для оцінки механічних властивостей ґрунтоцементної перешкоди, розташованої на визначеній глибині, при поверхневому вибуху боезаряду різної маси в залежності від вмісту цементу. Це сприяє практичному управлінню стійкістю захисної конструкції шляхом корегування параметрів скріплювальної суміші. Доведена перспективність інженерного захисту підземних об'єктів шляхом утворення на шляху дії вибухової хвилі суцільного ґрунтоцементного екрану, утвореного шляхом струминної цементації ґрунтів.

Ключові слова: вибухові хвилі, ґрунтовий масив, ґрунтоцементний екран, математичне моделювання, прогнозування стійкості.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.356828**РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОЛИВАНЬ ҐРУНТООБРОБНОГО (ПОСІВНОГО) ЗНАРЯДДЯ З НЕЗАЛЕЖНИМ КРІПЛЕННЯМ І ДВОМА ОПОРНИМИ КАТКАМИ (с. 72–80)****В. В. Падалка, О. В. Горбенко, Д. В. Хвостенко, А. І. Лазоренко, В. В. Альпідовський**

Об'єктом дослідження є гармонійні коливання робочого знаряддя, яке має важільну систему приєднання до тягових механізмів та дві точки опори на поверхню. Проблема, що вирішувалася, полягає у відсутності узагальненої теоретичної моделі для кількісного прогнозування амплітудно-частотних характеристик таких систем. Це ускладнює обґрунтування раціональних конструктивно-геометричних параметрів для забезпечення технологічно допустимих вертикальних відхилень робочих органів під дією нерівностей поля та змінних властивостей ґрунту. Отримано розрахункову схему важільного механізму з двома опорами, яка відокремлює власну динаміку знаряддя від руху енергозасобу та враховує контакт «каток-ґрунт» як джерело збурень. Розроблено енергетичну математичну модель на основі рівнянь Лагранжа другого роду та виконано параметричне моделювання, що виявило визначальний вплив геометрії приєднання й дозволило встановити раціональні значення параметрів. Довжина важеля кріплення до енергозасобу – 0,5 м, а відстань від центра мас коливної системи до вузла кріплення – 0,25 м. Перевага результатів полягає в аналітичному зв'язку між геометрією механізму, параметрами контакту та коливальними характеристиками, що забезпечує конструктивну мінімізацію вертикальних відхилень без обов'язкового застосування активного керування. Отримані закономірності пояснюються зміною приведених інерційно-пружних характеристик системи при варіюванні плечей важеля та положення вузла приєднання відносно центра мас. Практичне використання результатів можливе на етапі проектування та налаштування знарядь за умови ідентифікації еквівалентних пружно-демпферних параметрів контакту «каток-ґрунт» для конкретних ґрунтово-польових умов, робочих швидкостей.

Ключові слова: ґрунтообробне (посівне) знаряддя, агрегування, опорні котки, паралелограма коливна система, копіювання поверхні ґрунту, точність глибини обробітку (посіву).