

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317338

DETERMINING THE DEFORMATION OF AN ABSOLUTELY ELASTIC AXIS OF CURVED RODS UNDER BENDING (p. 6–13)**Serhii Pylypaka**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>**Victor Nesvidomin**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1495-1718>**Tetiana Volina**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>**Iryna Hryshchenko**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-9805>**Taras Pylypaka**National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5582-1859>**Yaroslav Kremets**Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroliov,
Zhytomyr, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2120-4438>**Serhii Andrukh**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5041-885X>**Oleksandr Savoiskyi**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6459-4931>**Larysa Korzh-Usenko**Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko,
Sumy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9538-4147>**Yuriy Semirnenko**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4230-4614>

The object of this study is the deformation of an elastic axis with a large deflection of a cantilever clamped absolutely elastic rod under the action of an applied concentrated force. The rod in the free state can have a rectilinear or curved elastic axis. This fact implies a difference in the analytical description of the bending process. However, there is a factor by which some similarity can be found between the bending of rectilinear and curved rods. This factor is the curvature of the elastic axis of the rod in a free state. According to this feature, they can be divided into rods of constant and variable curvature of the elastic axis. The former include rectilinear rods and those that in the free state have the shape of an arc of a circle, and the latter – rods with a variable curvature of the elastic axis. There is a difference between the bending of these groups of rods: in the first case, the deformation of the elastic axis of the rod during its bending will be the same regardless of which end will be cantilever pinched.

A distinctive feature of the current research is that the bending of rods with variable curvature of the elastic axis was carried out by alternate pinching of their opposite ends. Moreover, the rods of constant and variable curvature were of the same length $s=0.314$ m, the same cross-section of 0.005×0.02 m. That has made it possible to visually show the difference between the shape of the elastic axis of the bent rod under the action of the same force when the pinch end is changed. When attached to the rods of the working bodies of agricultural machines, pulsating dynamic loads are smoothed out due to their elasticity. It is important for practice to be able to calculate the value of their deviation, which should be within the given limits.

The results are explained by the fact that in the analytical description of the shape of the elastic axis of a curved rod, a technique was proposed in which the length of the axis can start counting both from one end and from the opposite end.

Keywords: arc length, concentrated force, pulsating loads, axis curvature, cantilever fastening.

References

1. Kobets, A., Aliiev, E., Tesliuk, H., Aliieva, O. (2023). Simulation of the process of interaction of the working bodies of tillage machines with the soil in Simcenter STAR-CCM+. *Naukovij Žurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 14 (1). <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.09>
2. Budzaniivskiy, M. (2022). Mathematical modelling of oscillations of a machine for cutting tops of root crops. *Naukovij Žurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 13 (4). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(4\).2022.16-27](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(4).2022.16-27)
3. Kozachenko, O. V., Syedykh, K. V. (2020). Dynamic model of process of deformation of elastic rack of disk cultivator. *Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika»*, 11 (3), 31–39. <https://doi.org/10.31548/machenergy2020.03.031>
4. Sereda, L., Kovalchuk, D. (2021). Mathematical modeling soil tilling unit in the system “soil-aggregate-energy means” for Strip-Till technology soil treatment. *Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika»*, 12 (4), 103–108. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.103>
5. Zhang, X., Hu, J., Chen, S. (2023). Study on Stability of Elastic Compression Bending Bar in Viscoelastic Medium. *Applied Sciences*, 13 (19), 11111. <https://doi.org/10.3390/app131911111>
6. Pylypaka, S., Volina, T., Hropost, V., Babka, V., Hryshchenko, I. (2023). Determination of the form of a spiral spring in a free state. *ScienceRise*, 3, 3–9. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2023.003213>
7. Pagani, A., Carrera, E. (2017). Large-deflection and post-buckling analyses of laminated composite beams by Carrera Unified Formulation. *Composite Structures*, 170, 40–52. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.03.008>
8. Ghuku, S., Saha, K. (2020). Large Deflection of Clamped Curved Beam Under Finite Clamping and Different Combinations of Bending-Stretching. *Engineering Science & Technology*, 121–134. <https://doi.org/10.37256/est.212021548>
9. Wu, K., Zheng, G. (2022). Insight into numerical solutions of static large deflection of general planar beams for Compliant Mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 172, 104757. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.104757>
10. Wu, K., Zheng, G. (2021). Theoretical Analysis on Nonlinear Buckling, Post-Buckling of Slender Beams and Bi-Stable Mechanisms. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 14 (3). <https://doi.org/10.1115/1.4053047>
11. Eroglu, U. (2016). Large deflection analysis of planar curved beams made of Functionally Graded Materials using Variational

- Iterational Method. *Composite Structures*, 136, 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.10.017>
12. Nadykto, V. T., Tikhovod, M. A. (2020). Harrow section movement sustainability analysis. *Naukovij Žurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 11 (2), 95–105. <https://doi.org/10.31548/machenergy2020.02.095>
 13. Gaponova, O., Kundera, Cz., Kirik, G., Tarelnyk, V., Martsynkovskyy, V., Konoplianchenko, Ie. et al. (2019). Estimating Qualitative Parameters of Aluminized Coating Obtained by Electric Spark Alloying Method. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*, 249–266. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_25
 14. Tarelnyk, V. B., Gaponova, O. P., Loboda, V. B., Konoplyanchenko, E. V., Martsinkovskii, V. S., Semirnenko, Yu. I. et al. (2021). Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57 (2), 173–184. <https://doi.org/10.3103/s1068375521020113>
 15. Wadi, K. J., Yadeem, J. M., Mustafa khazaal, S., Al-Ansari, L. S., Abdulsamad, H. J. (2022). Static deflection calculation for axially FG cantilever beam under uniformly distributed and transverse tip loads. *Results in Engineering*, 14, 100395. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100395>
 16. Diwan, A. A., Al-Ansari, L. S., Al-Saffar, A. A., Al-Ansari, Q. S. (2019). Experimental and theoretical investigation of static deflection and natural frequency of stepped cantilever beam. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20 (2), 303–315. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1704494>
 17. Alansari, L. S., Abdulsamad, H. J., Wadi, K. J., Al-Raheem, S. Kh. (2021). Investigation of static deflection in internal stepped cantilever beam. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44 (5), 87–125.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318616

DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF CONTACT INTERACTION BETWEEN STRUCTURAL ELEMENTS WITH VARIED PROPERTIES OF SURFACE LAYERS (p. 14–35)

Mykola M. Tkachuk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
Karlstad University, Karlstad, Sweden
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4753-4267>

Natalia Domina

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,
Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1118-1834>

Ganna Tkachuk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0435-1847>

Andriy Grabovskiy

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6116-0572>

Mykola A. Tkachuk

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>

Olexandr Shut

State Enterprize “V. A. Malyshev Plan”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8392-7124>

Anton Zavorotnii

State Enterprize “V. A. Malyshev Plan”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6195-5183>

Andrii Lipeiko

State Enterprize “V. A. Malyshev Plan”, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0866-3698>

The object of this study is the stressed-strained state of contacting elements of close-shaped machine-building structures. The presence and flexibility of surface layers and coatings are modeled. There are cases of the matching shape of the contacting surfaces of bodies, as well as the perturbation of the shape of these surfaces. The task being solved relates to the fact that the analysis methods of such bodies contact interaction are not yet sufficiently developed.

It was established that for the case of the matching shape of contacting surfaces, the contact area does not depend on the level of loads. In this case, the contact pressure distribution is proportional to the operating load. Such features of the solution do not depend on the properties of the materials of surface layers. A different case is when the shape of the contacting surfaces of bodies is disturbed. In particular, it was established that the properties of the materials of surface layers exert a strong influence on the shape and dimensions of bodies contact area, as well as on the distribution of contact pressure (the difference is 1.5–2.5 times or more).

The theory of variational inequalities is used to model the stressed-strained state of contacting bodies. As a result, the problem about contact interaction of bodies with surfaces of close shape is reduced to the problem of minimizing the modified energy functionality. The minimization is carried out on a set of distributions of displacements, which describes conditions of bodies not penetrating each other. The finite element method is used to discretize the problem of determining the stressed-strained state of contacting bodies. The parametric model built makes it possible to determine the stressed-strained state of contacting bodies when the disturbance of the nominal shape of the bodies and the properties of their surface layers is varied.

Keywords: contact interaction, intermediate layer, contact area, contact pressure, separation die.

References

1. Atroshenko, O., Tkachuk, M. A., Martynenko, O., Tkachuk, M. M., Saverska, M., Hrechka, I., Khovanskyi, S. (2019). The study of multicomponent loading effect on thin-walled structures with bolted connections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 15–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154378>
2. Tkachuk, M. M., Grabovskiy, A., Tkachuk, A., M., Hrechka, I., Ishchenko, O., Domina, N. (2019). Investigation of multiple contact interaction of elements of shearing dies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (100)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174086>
3. Johnson, K. L. (1985). *Contact Mechanics*. Cambridge University Press, 462. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139171731>
4. Popov, V. L. (2017) *Contact Mechanics and Friction*. Heidelberg: Springer Berlin, 391. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53081-8>
5. Barber, J. R. (2018). *Contact Mechanics*. Springer, 585. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70939-0>
6. Grabovskiy, A., Tkachuk, M. A., Domina, N., Tkachuk, G., Ishchenko, O., Tkachuk, M. M. et al. (2021). Numerical analysis of contact interaction of bodies with nearly form surfaces. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Engineering and CAD*, 2, 29–38. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2021.2.05>
7. Popp, A., Wriggers, P. (Eds.) (2018). *Contact Modeling for Solids and Particles*. Cham: Springer, 228. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90155-8>

8. Ciarlet, P., Luneville, E. (2023). *The Finite Element Method: From Theory to Practice*. Wiley-ISTE, 400. <https://doi.org/10.1002/9781394229758>
9. Martynyak, R. M., Prokopyshyn, I. A., Prokopyshyn, I. I. (2015). Contact of Elastic Bodies with Nonlinear Winkler Surface Layers. *Journal of Mathematical Sciences*, 205 (4), 535–553. <https://doi.org/10.1007/s10958-015-2265-0>
10. Huang, K., Zhang, S. (2023). Beyond Monotone Variational Inequalities: Solution Methods and Iteration Complexities. *Pacific Journal of Optimization*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.04153>
11. Trémolières, R., Lions, J.-L., Glowinski, R. (2011). *Numerical Analysis of Variational Inequalities*. Amsterdam: Elsevier. 775.
12. Kalker, J. J. (1977). Variational Principles of Contact Elastostatics. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 20 (2), 199–219. <https://doi.org/10.1093/imamat/20.2.199>
13. Ciavarella, M., Papangelo, A. (2021). On the Interaction of Viscoelasticity and Waviness in Enhancing the Pull-Off Force in Sphere/Flat Contacts. *Tribology Letters*, 69 (4). <https://doi.org/10.1007/s11249-021-01488-w>
14. Pohrt, R., Popov, V. L. (2013). Contact Mechanics of Rough Spheres: Crossover from Fractal to Hertzian Behavior. *Advances in Tribology*, 2013, 1–4. <https://doi.org/10.1155/2013/974178>
15. Ciavarella, M. (2015). Adhesive rough contacts near complete contact. *International Journal of Mechanical Sciences*, 104, 104–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2015.10.005>
16. Pohrt, R., Li, Q. (2014). Complete boundary element formulation for normal and tangential contact problems. *Physical Mesomechanics*, 17 (4), 334–340. <https://doi.org/10.1134/s1029959914040109>
17. Persson, B. N. J. (2001). Elastoplastic Contact between Randomly Rough Surfaces. *Physical Review Letters*, 87 (11). <https://doi.org/10.1103/physrevlett.87.116101>
18. Subbotin, O., Bilozero, V., Volkov, O., Subbotina, V., Shevtsov, V. (2022). Friction properties of mao coatings on aluminum alloys. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Engineering and CAD*, 2, 59–63. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.2.07>
19. Agureev, L., Savushkina, S., Ashmarin, A., Borisov, A., Apelfeld, A., Anikin, K. (2018). Study of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Aluminum Composites. *Metals*, 8 (6), 459. <https://doi.org/10.3390/met8060459>
20. Subbotina, V., Al-Qawabeha, U. F., Belozero, V., Sobol, O., Subbotin, A., Tabaza, T. A., Al-Qawabah, S. M. (2019). Determination of influence of electrolyte composition and impurities on the content of α - Al_2O_3 phase in MAO-coatings on aluminum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (102)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185674>
21. Belozero, V., Sobol, O., Mahatlova, A., Subbotina, V., Tabaza, T. A., Al-Qawabeha, U. F., Al-Qawabah, S. M. (2018). Effect of electrolysis regimes on the structure and properties of coatings on aluminum alloys formed by anode-cathode micro arc oxidation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (91)), 43–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121744>
22. Tkachuk, N. A., Diachenko, S. S., Posviatenko, E. K., Kravchenko, S. A. et al. (2015). *Kontynualnaia y dyskretno-kontynualnaia modyfykatsiia poverkhnosti detalei*. Kharkiv: Shchedra sadybaplius, 259.
23. Tkachuk, M. M. (2023). *Kontaktna mekhanika til iz urakhuvanniam neliiniykh vlastyvostei poverkhnivykh ta promizhnykh shariv*. Dnipro: Vydavets Obdymko Olha Stanislavivna, 255.
24. Grabovskiy, A., Tkachuk, M. A., Kokhanovska, O., Tkachuk, M. M., Domina, N., Tkachuk, G. et al. (2022). Contact interaction of similar shape bodies at small disturbance of initial gap distribution. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Engineering and CAD*, 2, 23–34. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.2.03>
25. Washizu, K. (1975). *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*. Pergamon Press, 420.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315059

DETERMINING THE VERTICAL LOAD ON A CONTAINER WITH A FLOOR MADE OF SANDWICH PANELS TRANSPORTED BY A FLAT WAGON (p. 36–44)

Alyona Lovska

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

Iraida Stanovska

Odesa Polytechnic National University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

Valeriia Kyrillova

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0738-0408>

Andrii Okorokov

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5519>

Roman Vernigora

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7618-4617>

The object of this study is the processes of perception and redistribution of vertical loads in the structure of a container with a floor made of sandwich panels under operational modes.

To ensure the strength of the container, as well as the safety of the cargo transported in it, it is proposed to design a floor based on sandwich panels. It is assumed that each of these panels is made of two metal sheets in a layer between which an energy-absorbing material is placed. Given the presence of energy-absorbing material in the structure of the sandwich panel, the vertical dynamic loads acting on the cargo container during its transportation will be reduced.

To substantiate the proposed solution, mathematical modeling of the vertical load on the container during its transportation by a flat wagon was carried out. It is found that the accelerations acting on the container of the improved design are 5.7 % lower than those acting on the container of standard design.

The calculation of the strength of the container was carried out under operational schemes of its loads. It has been established that the strength of the container is ensured.

A special feature of the results is that the reduction of the load on the container is achieved not by strengthening its structure but by introducing flexible connections into it.

The field of practical application of the results is railroad transport. The conditions for the practical use of the findings are the use of energy-absorbing material in the structure of sandwich panels that form the floor of the container.

The results of the research will contribute to improving the strength of containers under operating conditions, the safety of the cargo transported in them, as well as increasing the efficiency of the functioning of container transportation.

Keywords: transport container, container improvement, container load, container strength, container transportation.

References

1. Russo, F., Comi, A., Chilà, G. (2024). Dynamic Approach to Update Utility and Choice by Emerging Technologies to Reduce Risk in

- Urban Road Transportation Systems. *Future Transportation*, 4 (3), 1078–1099. <https://doi.org/10.3390/futuretransp4030052>
2. Čižiūnienė, K., Matijošius, J., Sokolovskij, E., Balevičiūtė, J. (2024). Assessment of Implementing Green Logistics Principles in Railway Transport: The Case of Lithuania. *Sustainability*, 16 (7), 2716. <https://doi.org/10.3390/su16072716>
 3. Dižo, J., Blatnický, M. (2019). Investigation of ride properties of a three-wheeled electric vehicle in terms of driving safety. *Transportation Research Procedia*, 40, 663–670. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.094>
 4. Steišūnas, S., Dižo, J., Bureika, G., Žuraulis, V. (2017). Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters. *Procedia Engineering*, 187, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.370>
 5. Vatulja, G., Lovska, A., Myamlin, S., Stanovska, I., Holofieieva, M., Horobets, V. et al. (2023). Revealing the effect of structural components made of sandwich panels on loading the container transported by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (121)), 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272316>
 6. Vatulja, G. L., Lovska, A. O., Krasnokutskiy, Y. S. (2023). Research into the transverse loading of the container with sandwich-panel walls when transported by rail. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012140. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012140>
 7. Zha, X., Zuo, Y. (2016). Theoretical and experimental studies on in-plane stiffness of integrated container structure. *Advances in Mechanical Engineering*, 8 (3). <https://doi.org/10.1177/1687814016637522>
 8. Oterkus, S., Wang, B., Oterkus, E., Galadima, Y. K., Cocard, M., Stefanos, S. et al. (2022). Structural Integrity Analysis of Containers Lost at Sea Using Finite Element Method. *Sustainable Marine Structures*, 4 (2), 11–17. <https://doi.org/10.36956/sms.v4i2.505>
 9. Yildiz, T. (2019). Design and Analysis of a Lightweight Composite Shipping Container Made of Carbon Fiber Laminates. *Logistics*, 3 (3), 18. <https://doi.org/10.3390/logistics3030018>
 10. Fariña, E. A., Panait, M., Lago-Cabo, J. M., Fernández-González, R. (2024). Energy Analysis of Standardized Shipping Containers for Housing. *Inventions*, 9 (5), 106. <https://doi.org/10.3390/inventions9050106>
 11. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulja, G., Lovska, A., Rybin, A., Kravchenko, O. (2023). Strength Assessment of an Improved Design of a Tank Container under Operating Conditions. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 25 (3), B186–B193. <https://doi.org/10.26552/com.c.2023.047>
 12. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulja, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13 (1), 79. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
 13. Antala, D. K., Satasiya, R. M., Chauhan, P. M. (2020). Design, development and performance evaluation of transportation container for sapota fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 58 (10), 4024–4033. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04865-w>
 14. Rzczycki, A., Wiśnicki, B. (2016). Strength Analysis of Shipping Container Floor with Gooseneck Tunnel under Heavy Cargo Load. *Solid State Phenomena*, 252, 81–90. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.252.81>
 15. Kondratiev, A., Potapov, O., Tsaritsynskiy, A., Nabokina, T. (2021). Optimal Design of Composite Shelled Sandwich Structures with a Honeycomb Filler. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 546–555. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_54
 16. 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>
 17. Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230 (4), 1283–1296. <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
 18. 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>
 19. Vatulja, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskiy, 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>
 20. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). Комп'ютерна графіка: SolidWorks. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%27ютерна%20графіка.pdf>
 21. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., Klak, Yu. V. (2018). Інженерна графіка в SolidWorks. Lutsk: Vezha, 172. Available at: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/Інженерна%20графіка%20в%20SolidWorks.pdf>
 22. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulja, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Harusinec, J. (2023). Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 155–167. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002994>
 23. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
 24. Bohach, I. V., Krakovetskiy, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozv'iazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad. *Vynnytsia*, 106. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf
 25. Siasiev, A. V. (2004). *Vstup do systemy MathCad*. Dnipropetrovsk, 108.
 26. Dižo, J., Blatnický, M., Harušinec, J., Suchánek, A. (2022). Assessment of Dynamics of a Rail Vehicle in Terms of Running Properties While Moving on a Real Track Model. *Symmetry*, 14 (3), 536. <https://doi.org/10.3390/sym14030536>
 27. Manuel, C. J. T., Santos, M. M. D., Tuset, A. M. (2021). Mathematical modeling attributed to kinematics and dynamics of a vehicle with 4-wheels. *The European Physical Journal Special Topics*, 230 (18-20), 3663–3672. <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-021-00238-2>
 28. Djabbarov, S. B., Saidivaliev, S. U., Abdullayev, B. A., Abdullaev, R. Y., Tursunkhodjaeva, R. Y. (2022). Mathematical model of the dynamics of a freight car on the descent part of the marshaling yard. *Neuroquantology*, 20 (12), 3025–3036. Available at: https://www.neuroquantology.com/open-access/Mathematical+model+of+the+dynamics+of+a+freight+car+on+the++descent+part+of+the+marshaling+yard_10559/?download=true
 29. 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>
 30. Gerlici, J., Lovska, A., Vatulja, G., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, O., Solčanský, S. (2023). Situational Adaptation of the Open Wagon Body to Container Transportation. *Applied Sciences*, 13 (15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313795

DEVELOPING OF NEURAL NETWORK COMPUTING METHODS FOR SOLVING INVERSE ELASTICITY PROBLEMS (p. 45–52)

Anastasiia Kaliuzhniak

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4837-7566>

Oleksii Kudin

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5917-9127>

Yuriy Belokon

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9327-5219>

Dmytro Kruglyak

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7812-8360>

This paper examines the use of neural network methods to solve inverse problems in the mechanics of elastic materials.

The aim is to design physics-informed neural networks that can predict the parameters of structural components, and the physical properties of materials based on a specified displacement distribution.

A key feature of the specified neural networks is the integration of differential equations and boundary conditions into the loss function calculation. This approach ensures that the error in approximating unknown functions has a direct impact on optimizing the network's weights. As a result, the resulting neural network approximations of unknown functions comply with the differential equations and boundary conditions.

To test the capabilities of the designed neural networks, inverse problems involving the bending of plates and beams have been solved, focusing on determining one or two unknown parameters. Comparison of predicted and exact values demonstrates high accuracy of the constructed neural network models, with a relative prediction error of less than 3 % across all cases.

Unlike analytical methods for solving inverse problems, the primary advantage of physics-informed neural networks is their flexibility when addressing both linear and nonlinear problems. For instance, the same network architecture can be employed to solve various boundary-value problems without modification. Compared to classical numerical methods, the parallelization capability of neural networks is inherently supported by modern software libraries.

Therefore, the application of physics-informed neural networks for solving inverse elasticity problems of plates and beams is effective, as evidenced by the achieved relative errors and the computational robustness of the method. In practice, the proposed solution can be used for relevant calculations during the design of structural elements. The developed software code can also be integrated into automated design systems or computer algebra systems.

Keywords: physics-informed neural networks, inverse problems, geometric nonlinearity.

References

- Edwards, C. H., Penney, D. E., Calvis, D. T. (2014). *Differential Equations and Boundary Value Problems: Computing and Modeling*. Boston: Pearson, 797.
- Pinder, G. F. (2018). *Numerical Methods for Solving Partial Differential Equations*. Wiley, 304.
- Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., Yang, L. (2021). Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics*, 3 (6), 422–440. <https://doi.org/10.1038/s42254-021-00314-5>
- Willard, J., Jia, X., Xu, S., Steinbach, M., Kumar, V. (2022). Integrating Scientific Knowledge with Machine Learning for Engineering and Environmental Systems. *ACM Computing Surveys*, 55 (4), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3514228>
- Cybenko, G. (1989). Approximation by superpositions of a sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2 (4), 303–314. <https://doi.org/10.1007/bf02551274>
- Lagaris, I. E., Likas, A., Fotiadis, D. I. (1998). Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equations. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 9 (5), 987–1000. <https://doi.org/10.1109/72.712178>
- Raissi, M., Perdikaris, P., Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378, 686–707. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045>
- Yarosh, A. O., Kudin, O. V. (2024). Neural network methods for solving elasticity problems. *Visnyk of Kherson National Technical University*, 1 (88), 295–305. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.41>
- Meethal, R. E., Kodakkal, A., Khalil, M., Ghantasala, A., Obst, B., Bletzinger, K.-U., Wüchner, R. (2023). Finite element method-enhanced neural network for forward and inverse problems. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 10 (1). <https://doi.org/10.1186/s40323-023-00243-1>
- Lu, L., Meng, X., Mao, Z., Karniadakis, G. E. (2021). DeepXDE: A Deep Learning Library for Solving Differential Equations. *SIAM Review*, 63 (1), 208–228. <https://doi.org/10.1137/19m1274067>
- Zhou, H., Pu, J., Chen, Y. (2023). Data-driven forward–inverse problems for the variable coefficients Hirota equation using deep learning method. *Nonlinear Dynamics*, 111 (16), 14667–14693. <https://doi.org/10.1007/s11071-023-08641-1>
- Zhong, M., Yan, Z. (2023). Data-driven forward and inverse problems for chaotic and hyperchaotic dynamic systems based on two machine learning architectures. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 446, 133656. <https://doi.org/10.1016/j.physd.2023.133656>
- Depina, I., Jain, S., Mar Valsson, S., Gotovac, H. (2021). Application of physics-informed neural networks to inverse problems in unsaturated groundwater flow. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 16 (1), 21–36. <https://doi.org/10.1080/17499518.2021.1971251>
- Garay, J., Dunstan, J., Uribe, S., Costabal, F. S. (2023). Physics-informed neural networks for blood flow inverse problems. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.00927>
- Mao, Z., Jagtap, A. D., Karniadakis, G. E. (2020). Physics-informed neural networks for high-speed flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 360, 112789. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2019.112789>
- Wang, Z. Q., Jiang, J., Tang, B. T., Zheng, W. (2014). High Precision Numerical Analysis of Nonlinear Beam Bending Problems under Large Deflection. *Applied Mechanics and Materials*, 638-640, 1705–1709. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.638-640.1705>
- Wu, C., Zhu, M., Tan, Q., Kartha, Y., Lu, L. (2023). A comprehensive study of non-adaptive and residual-based adaptive sampling for physics-informed neural networks. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 403, 115671. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.115671>
- AutoPINN. Available at: <https://github.com/avk256/AutoPINN>
- Segall, A. E. (2023). The Search for a Generalized Analytical Solution for the Inverse Problem; Some Surprisingly Simple Approximate Methods for Problems of Practical Importance. *Journal of Physics: Conference Series*, 2444 (1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2444/1/012013>

20. Kern, M. (2016). Numerical Methods for Inverse Problems. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119136941>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316778

ESTIMATING THE INFLUENCE OF THE RIGIDITY OF SUPPORT ASSEMBLIES ON THE RESONANCE PHENOMENA AND THE VIBRATION STATE OF A HYDRAULIC UNIT (p. 53–64)

Oleksii Tretiak

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7295-5784>

Anton Kovryga

JSC “Ukrainian Energy Machines”, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5843-8349>

Stanislav Kravchenko

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6409-4767>

Denys Shpitalnyi

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4255-7935>

Anton Zhukov

Limited Liability Company
«Kharkov Electric Machine-Building Plant», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5229-1685>

Serhii Serhiienko

Limited Liability Company
«Kharkov Electric Machine-Building Plant», Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6377-209X>

Mariia Arefieva

Private Institution of General Secondary Education
“Kharkiv Lyceum “IT STEP SCHOOL Kharkiv”, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2569-0194>

Nataliia Penkovska

National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0830-2446>

Andrii Madonych

LLC SkyUp Airlines, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3116-6416>

Many factors affect the vibration of the hydraulic unit, including the natural oscillation frequencies of the structural elements, which in some cases may contribute to an increase in vibration because of the occurrence of resonance phenomena.

In this work, the case of design optimization of the support assemblies of the shaft pipeline of the hydrogenerator-motor was considered, installed at HSPP during its reconstruction in order to improve vibration parameters. The effect of increasing the stiffness of the upper crosspiece and reducing the weight of the rotating parts on the value of the first and second critical rotation frequencies was analyzed. Based on the results of computations, operability of the proposed new reinforced structure of the upper crosspiece of the hydrogenerator-motor with increased rigidity was confirmed. Using this design could increase the first critical rotation frequency from 9 Hz (540 rpm) to 17.6 Hz (1056 rpm). This would lead to the avoidance of resonance phenomena caused by the proximity of the first critical rotation frequency of the rotor to the rated rotation frequency (600 rpm).

The computations were performed in a three-dimensional setting in two stages for each of the considered design cases. At the first stage, the supporting elements rigidity of the shaft line of the hydrogenerator-motor were studied by determining the structural element elastic deformations when it was loaded by a transverse force. At the second stage, these determined stiffnesses of the support elements were used as input data for calculating the critical rotation frequencies of the hydraulic unit rotor.

Keywords: umbrella-type hydrogenerator, rotor, vibration, stiffness, critical rotation frequency, three-dimensional computation, flexibility of hydrogenerator supports, hydrogenerator crosshead.

References

1. Lei, Y., Lin, J., He, Z., Zuo, M. J. (2013). A review on empirical mode decomposition in fault diagnosis of rotating machinery. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 35 (1-2), 108–126. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.09.015>
2. Melfi, M. J., Umans, S. D. (2023). DC machines. *Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering*, 264–279. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821204-2.00005-2>
3. Werner, U. (2024). Active vibration control for rotating machines with current-controlled electrodynamic actuators and velocity feedback of the machine feet based on a generalized mathematical formulation. *Control Theory and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11768-024-00230-w>
4. Tan, X., Deng, P., Chen, W., Zucca, S., Berruti, T. M., Wang, T., He, H. (2024). Parametric instability analysis of rotors under anisotropic boundary conditions. *International Journal of Mechanical Sciences*, 284, 109739. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2024.109739>
5. Gerling, D. (2014). DC-Machines. *Electrical Machines*, 37–88. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17584-8_2
6. Mollet, Y., Barbierato, G., Gyselinck, J. (2016). Finite-element and magnetic-equivalent-circuit modelling of brushed wound-field DC machines with cross-saturation. 2016 XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM), 350–356. <https://doi.org/10.1109/icelmach.2016.7732550>
7. Zhang, H., Wang, L., Wang, A. (2023). Vibration response analysis of gas generator rotor system with squeeze film damper based on dynamic similarity. *Results in Engineering*, 20, 101618. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101618>
8. Sukma Nugraha, A., Djunaedi, I., Alam, H. S. (2015). Evaluation of Critical Speed of the Rotor Generator System Based on ANSYS. *Applied Mechanics and Materials*, 799-800, 625–628. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.799-800.625>
9. Subbiah, R., Littleton, J. E. (2018). Rotor and Structural Dynamics of Turbomachinery. In *Applied Condition Monitoring*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73296-1_1
10. Lang, X., Nilsson, H., Mao, W. (2024). Analysis of hydropower plant guide bearing vibrations by machine learning based identification of steady operations. *Renewable Energy*, 236, 121463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121463>
11. Ohashi, H. (2016). *Vibration and Oscillation of Hydraulic Machinery*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315235097>
12. Zhang, W., He, Y.-L., Xu, M.-X., Zheng, W.-J., Sun, K., Wang, H.-P., Gerada, D. (2022). A comprehensive study on stator vibrations in synchronous generators considering both single and combined SAGE cases. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 143, 108490. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108490>
13. Pérez, N., Rodríguez, C. (2021). Vertical rotor model with hydrodynamic journal bearings. *Engineering Failure Analysis*, 119, 104964. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104964>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315183

DETERMINING THE DYNAMIC INDICATORS OF THE PNEUMATIC SPRING FOR HIGH-SPEED ROLLING STOCK IN THE ZONE OF A RAIL JOINT ALONG A RAILROAD TRACK (p. 65–74)

Vitalii Kovalchuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

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

Andrii Kuzyshyn

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3012-5395>

Yuriy Royko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-9413>

Yuliia Hermaniuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-8313>

Yuriy Tereshchak

Lviv Research Institute for Forensic Expertise, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2603-3535>

Andrii Pulariia

Ukrainian State University of Science and Technologies,

Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1144-4179>

The object of this study is the pneumatic spring of the high-speed railroad rolling stock that moves over the rail joint of a railroad track with a vertical ledge.

The task solved was establishing the dynamic behavior of the rubber cord shell of the pneumatic spring of the high-speed railroad rolling stock, taking into account the design features of the railroad track, namely the rail joint.

The methodology for experimental testing of the pneumatic spring of the high-speed railroad rolling stock using the proposed dynamic test installation is given. Experimental tests of the pneumatic spring were carried out within the rail joint of the railroad track, which has a vertical ledge of 7.0 mm. It was established that the maximum value of the accelerations of the rubber cord shell of the pneumatic spring occurs in the vertical plane. The maximum vertical accelerations of the rubber cord shell of the pneumatic spring were 2.4 m/s², horizontal transverse accelerations – 0.85 m/s², and horizontal longitudinal accelerations – 0.9 m/s².

It was determined that the deformations of the pneumatic spring in the vertical plane are higher than the deformations in the horizontal plane. The value of the maximum vertical deformations of the pneumatic spring was 4.1 mm, while the maximum value of horizontal deformations was 1.2 mm.

The natural frequencies and logarithmic decrements of oscillations damping were determined based on the obtained records of the free oscillations of the rubber cord shell of the pneumatic spring. It was established that the value of the first natural frequency of oscillations of the pneumatic spring is 3.21 Hz.

The logarithmic decrement of oscillation damping of the rubber cord shell of the pneumatic spring was determined based on the constructed graph of oscillation damping with an approximating exponent. It is 0.2147.

The obtained values of the dynamic indicators of the new pneumatic spring could be used in the future to control changes in the physical and mechanical properties of the rubber cord shell of the pneumatic spring under the operational conditions of the railroad track. In practice, engineers and scientists will be able to take into account the obtained dynamic parameters of the spring

when designing and improving the pneumatic spring for high-speed train movement.

Keywords: joint of railroad rails, pneumatic spring, high-speed rolling stock, acceleration of the rubber cord shell, deformations of the spring, natural frequency of spring oscillations.

References

1. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Kovalchuk, V., Dovhanyuk, S., Voznyak, O. (2018). Research of safety indicators of diesel train movement with two-stage spring suspension. *MATEC Web of Conferences*, 234, 05003. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823405003>
2. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Dovhaniuk, S., Dzhus, V. (2020). Study of the dynamic behavior of rolling stock using a computer experiment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985 (1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012002>
3. Kuzyshyn, A., Sobolevska, J., Kostritsa, S., Batig, A., Boiarko, V. (2023). Mathematical modeling of the second stage of spring suspension of high-speed rolling stock. *AIP Conference Proceedings*, 2684, 020007. <https://doi.org/10.1063/5.0120402>
4. Kuzyshyn, A., Kostritsa, S., Ursulyak, L., Batig, A., Sobolevska, J., Voznyak, O. (2019). Research of the impact of geometric unevenness of the railway track on the dynamic parameters of the railway rolling stock with two-stage spring suspension. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012024>
5. Alonso, A., Giménez, J. G., Nieto, J., Vinolas, J. (2010). Air suspension characterisation and effectiveness of a variable area orifice. *Vehicle System Dynamics*, 48, 271–286. <https://doi.org/10.1080/00423111003731258>
6. Xu, L. (2020). Mathematical Modeling and Characteristic Analysis of the Vertical Stiffness for Railway Vehicle Air Spring System. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/2036563>
7. Sayyaadi, H., Shokouhi, N. (2010). Effects of air reservoir volume and connecting pipes' length and diameter on the air spring behavior in rail-vehicles. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering*, 34 (B5), 499–508. Available at: https://ijstm.shirazu.ac.ir/article_916.html
8. Sayyaadi, H., Shokouhi, N. (2009). Improvement of passengers ride comfort in rail vehicles equipped with air springs. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 53, 827–833. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=519a6631377f3334f9e80d6b02df0ab15b87c024>
9. Sayyaadi, H., Shokouhi, N. (2009). New dynamics model for rail vehicles and optimizing air suspension parameters using GA. *International Journal of Science & Technology*, 16 (6), 496–512. Available at: https://scientiairanica.sharif.edu/article_3135.html
10. Jin, X., Wen, Z., Wang, K., Xiao, X. (2006). Effect of passenger car curving on rail corrugation at a curved track. *Wear*, 260 (6), 619–633. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.03.016>
11. Jin, X. S., Wen, Z. F. (2008). Effect of discrete track support by sleepers on rail corrugation at a curved track. *Journal of Sound and Vibration*, 315 (1-2), 279–300. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.01.057>
12. Chen, J.-J., Yin, Z.-H., Rakheja, S., He, J.-H., Guo, K.-H. (2017). Theoretical modelling and experimental analysis of the vertical stiffness of a convoluted air spring including the effect of the stiffness of the bellows. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232 (4), 547–561. <https://doi.org/10.1177/0954407017704589>
13. Facchinetti, A., Mazzola, L., Alfi, S., Bruni, S. (2010). Mathematical modelling of the secondary airspring suspension in railway vehicles

- and its effect on safety and ride comfort. *Vehicle System Dynamics*, 48, 429–449. <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.486036>
14. Gao, H. X., Chi, M. R., Zhu, M. H., Wu, P. B. (2013). Study on Different Connection Types of Air Spring. *Applied Mechanics and Materials*, 423-426, 2026–2034. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.423-426.2026>
 15. Li, X., Li, T. (2013). Research on vertical stiffness of belted air springs. *Vehicle System Dynamics*, 51 (11), 1655–1673. <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.819984>
 16. Li, X., He, Y., Liu, W., Wei, Y. (2015). Research on the vertical stiffness of a rolling lobe air spring. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230 (4), 1172–1183. <https://doi.org/10.1177/0954409715585370>
 17. Mazzola, L., Berg, M. (2012). Secondary suspension of railway vehicles-air spring modelling: Performance and critical issues. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 228 (3), 225–241. <https://doi.org/10.1177/0954409712470641>
 18. Nakajima, T., Shimokawa, Y., Mizuno, M., Sugiyama, H. (2014). Air Suspension System Model Coupled With Leveling and Differential Pressure Valves for Railroad Vehicle Dynamics Simulation. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 9 (3). <https://doi.org/10.1115/1.4026275>
 19. Tanaka, T., Sugiyama, H. (2019). Prediction of railway wheel load unbalance induced by air suspension leveling valves using quasi-steady curve negotiation analysis procedure. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-Body Dynamics*, 234 (1), 19–37. <https://doi.org/10.1177/1464419319867179>
 20. Nieto, A. J., Morales, A. L., González, A., Chicharro, J. M., Pintado, P. (2008). An analytical model of pneumatic suspensions based on an experimental characterization. *Journal of Sound and Vibration*, 313 (1-2), 290–307. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.11.027>
 21. Kuzyshyn, A., Kovalchuk, V., Sobolevska, Y., Royko, Y., Kravets, I. (2024). Determining the effect of additional tank volume and air pressure in the spring on the dynamic indicators of a pneumatic system of spring suspension in high-speed railroad rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 47–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304051>
 22. Kuzyshyn, A., Kovalchuk, V., Stankevych, V., Hilevych, V. (2023). Determining patterns in the influence of the geometrical parameters of the connecting pipeline on the dynamic parameters of the pneumatic spring of railroad rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (121)), 57–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274180>
 23. Zhu, H., Yang, J., Zhang, Y., Feng, X. (2017). A novel air spring dynamic model with pneumatic thermodynamics, effective friction and viscoelastic damping. *Journal of Sound and Vibration*, 408, 87–104. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.015>
 24. Qi, Z., Li, F., Yu, D. (2016). A three-dimensional coupled dynamics model of the air spring of a high-speed electric multiple unit train. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 231 (1), 3–18. <https://doi.org/10.1177/0954409715620534>
 25. Xu, L. (2014). Research on nonlinear modeling and dynamic characteristics of lateral stiffness of vehicle air spring system. *Advances in Mechanical Engineering*, 12 (6). <https://doi.org/10.1177/1687814020930457>
 26. Redchenko, V. P. (2014). Analysis of dynamic testing of bridges using the program «SPECTRUM». *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhenia, praktyka*, 6, 119–125. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtttdp_2014_6_17
 27. Kuzyshyn, A. Ya., Kovalchuk, V. V., Kostiv, N. V. (2024). Investigation of the Influence of a Turnout Cross on Vertical and Horizontal Deformations of a Pneumatic Spring of High-Speed Rolling

Stock. Science and Transport Progress, 3 (107), 63–72. <https://doi.org/10.15802/stp2024/312930>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317951

DETERMINING THE STABILITY OF A FIRE TRUCK TANKER AGAINST OVERTURNING WHILE DRIVING THROUGH CROSSED FOREST TERRAIN (p. 75–86)

Kamran Almazov

Academy of the Ministry of Emergency Situations,
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-351X>

Serhii Pozdieiev

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9085-0513>

Olexandr Tarasenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1313-1072>

Oleh Kulitsa

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2589-6520>

Andrii Kalynovskyi

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1021-5799>

Ivan Chornomaz

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9742-0201>

The object of this study is to consider dynamic processes in the tank of a fire truck with different levels of water filling. The task to be solved is to determine the data on the fluctuation of the center of mass of a dynamic system, which consists of the water tank of a fire truck tanker truck, when it moves through rough forest terrain at different speeds. The data make it possible to predict the danger of a fire truck tipping over. In the process of solving the task, an estimation model of a fire truck tanker truck was built together with a water tank, using the LS-Dyna dynamic systems simulation software package. In order to reproduce the dynamic impact on the fire truck tanker with the water capacity exerted by the relief of the rugged forest area, the time dependences of the angles of current position of the fire truck tanker – roll angle, yaw, and pitch – were established. The resulting dependences were used as boundary conditions to reproduce the dynamic influence of the terrain. The turning angles of the water tank of a fire truck were determined depending on the unevenness of the terrain, the geometry of which was calculated by a pseudo-random number generator. Using the explicit method for integrating the dynamics equations, implemented in the code of the LS-Dyna software package, the patterns of fluctuations of the center of mass of the water tank of the fire truck tanker depending on the level of filling and speed of movement were defined.

Using results from the mathematical modeling of dynamic processes in the fire truck tanker, a numerical algorithm was developed for this fire truck tanker to maintain its stability against overturning. Therefore, the results of this study have a direct practical application in the field of fire truck tanker design safety and could be used to improve and devise new technologies in this field.

Keywords: fire truck, forest terrain, fluctuation of the center of mass, optimal route model.

References

1. Nyzhnyk, V. V., Tarasenko, O. A., Kyrychenko, O. V., Kosiarum, S. O., Pozdieiev, S. V. (2019). The criteria of estimating risks of spreading fire to adjacent building facilities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012064>
2. Pozdieiev, S., Tarasenko, O., Almazov, K., Nekora, V. (2022). Research of Dynamic Process in Water Cistern of Fire Automobile During Its Moving Along Rough Woodland. *Recent Trends in Wave Mechanics and Vibrations*, 1216–1223. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15758-5_125
3. Vikovych, I. A., Lavrivskiy, M. Z., Zinko, R. V. (2020). *Teoriya adaptuvannya ta zastosuvannya pozhezhnykh avtomobiliv dlia likvidatsiyi nadzvychainykh sytuatsiy*. Lviv: Rastr-7, 242.
4. Koba, K. M. (2005). *Modeli i metody rozv'iazання zadach marshrutyzatsiyi pry likvidatsiyi naslidkiv tekhnohennykh avariiv*. Kharkiv, 160.
5. Abramov, Yu. A., Basmanov, A. E., Tarasenko, A. A. (2011). *Modelirovanie pozharov, ih obnaruzheniya, lokalizatsii i tusheniya*. Kharkiv: NUGZU, 972.
6. Nicolici, S., Bilegan, R. M. (2013). Fluid structure interaction modeling of liquid sloshing phenomena in flexible tanks. *Nuclear Engineering and Design*, 258, 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2012.12.024>
7. Zisis, I. et al. (2015). SPH for shocks through inhomogeneous media. In: *GDRI-IFS Conference on SPH and Particular Methods for: Fluids and Fluid Structure Interaction*. Lille University.
8. *LS-DYNA Theory Manual* (2014). California: Livermore Software Technology Corporation.
9. Kutsenko, L. M., Bobov, S. V., Rosokha, S. V. (2004). *Metody heometrychnoho modeliuвання v zadachakh pozhezhnoi bezpeky*. Kharkiv: Akademiya tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 175.
10. Shina, S. (2022). *Industrial design of experiments: a case study approach for design and process optimization*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86267-1>
11. Allen, T. T. (2019). *Introduction to engineering statistics and Lean Six Sigma: statistical quality control and design of experiments and systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7420-2>
12. Abramov, Yu. A., Tarasenko, A. A. (2009). Poisk oblasti zapreta pri modelirovanii marshruta v usloviyah goristogo bezdorozh'ya. *Vestnik HNADU*, 45, 44–46.

АНОТАЦІЇ
APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317338

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ АБСОЛЮТНО ПРУЖНОЇ ОСІ КРИВОЛІНІЙНИХ СТЕРЖНІВ ПРИ ЇХ ЗГИНАННІ (с. 6–13)**С. Ф. Пилипака, В. М. Несвідомін, Т. М. Воліна, І. Ю. Грищенко, Т. С. Пилипака, Я. С. Кремець, С. Л. Андрух, О. Ю. Савойський, Л. В. Корж-Усенко, Ю. І. Семірненко**

Об'єктом дослідження є деформація пружної осі з великим прогином консольно защемленого абсолютно пружного стержня під дією прикладеної зосередженої сили. Стержень у вільному стані може мати прямолінійну або криволінійну пружну вісь. Цей факт передбачає відмінність у аналітичному описі процесу згинання. Однак існує фактор, за яким можна знайти певну подібність між згинанням прямолінійних і криволінійних стержнів. Цим фактором є кривина пружної осі стержня у вільному стані. За цією ознакою їх можна розділити на стержні сталої і змінної кривини пружної осі. До перших відносяться прямолінійні стержні і ті, які у вільному стані мають форму дуги кола, до других – стержні із змінною кривиною пружної осі. Між згинанням цих груп стержнів існує відмінність: в першому випадку деформація пружної осі стержня при його згинанні буде однаковою незалежно від того, який кінець буде консольно защемлений.

Відмінною особливістю даного дослідження від існуючих є те, що згинання стержнів із змінною кривиною пружної осі проводилося при почерговому защемленні їх протилежних кінців. Причому стержні сталої і змінної кривини були однакової довжини $s=0,314$ м, однакового поперечного перерізу $0,005 \times 0,02$ м. Це дозволило наочно показати відмінність між формою пружної осі зігнутого стержня під дією однієї ж і тієї сили при зміні кінця защемлення. При кріпленні до стержнів робочих органів сільськогосподарських машин завдяки їх пружності згладжуються пульсуючі динамічні навантаження. Важливою для практики є можливість розрахунку величини їх відхилення, яка повинна бути в заданих межах.

Отримані результати пояснюються тим, що при аналітичному описі форми пружної осі криволінійного стержня було запропоновано спосіб, при якому довжина осі може починати відлік як від одного, так і від протилежного кінця.

Ключові слова: довжина дуги, зосереджена сила, пульсуючі навантаження, кривина осі, консольне закріплення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318616

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ВАРІЙОВАНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ (с. 14–35)**М. М. Ткачук, Н. А. Дьоміна, Г. В. Ткачук, А. В. Грабовський, М. А. Ткачук, О. Ю. Шуть, А. В. Заворотній, А. І. Ліпейко**

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан контактуючих елементів машинобудівних конструкцій близької форми. Моделюються наявність та податливість поверхневих шарів та покриттів. Вирізняються випадки співпадаючої форми контактуючих поверхонь тіл, а також збурення форми цих поверхонь. Проблема, що вирішувалася, полягає у тому, що натеper методи аналізу контактної взаємодії таких тіл недостатньо розвинені.

Попередньо встановлено, що для випадку співпадаючої форми контактуючих поверхонь область контакту не залежить від рівня навантаження. При цьому розподіл контактної тиску пропорційний діючому навантаженню. Такі особливості розв'язку не залежать від властивостей матеріалів поверхневих шарів. Інша ситуація спостерігається за збурення форми контактуючих поверхонь тіл. Зокрема, встановлено, що властивості матеріалів поверхневих шарів чинять сильний вплив і на форму та розміри області контакту тіл, і на розподіл контактної тиску (різниця – у 1,5–2,5 рази та більше).

Для моделювання напружено-деформованого стану контактуючих тіл залучається теорія варіаційних нерівностей. У результаті задача про контакту взаємодію тіл із поверхнями близької форми зводиться до проблеми мінімізації модифікованого енергетичного функціоналу. Мінімізація здійснюється на множині розподілів переміщень, яка описує умови непроникнення тіл одне в одного. Для дискретизації задачі про визначення напружено-деформованого стану контактуючих тіл залучається метод скінченних елементів. Побудована параметрична модель дає можливість визначати напружено-деформований стан контактуючих тіл при варіюванні збурення номінальної форми тіл та властивостей їхніх поверхневих шарів. Це відрізняє створені моделі, методи та встановлені закономірності від відомих.

Ключові слова: контактна взаємодія, проміжний шар, область контакту, контактний тиск, розділовий штамп.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315059

ВИЯВЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА З ПІДЛОГОЮ ІЗ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВАГОНОМ-ПЛАТФОРМОЮ (с. 36–44)**А. О. Ловська, І. І. Становська, В. Ю. Кириллова, А. М. О कोरोков, Р. В. Вернигора**

Об'єктом дослідження є процеси сприйняття та перерозподілу вертикальних навантажень в конструкції контейнера з підлогою із сендвіч-панелей при експлуатаційних режимах.

Для забезпечення міцності контейнера, а також схоронності перевозимого у ньому вантажу, пропонується створення підлоги із сендвіч-панелей. Передбачається, що кожна із таких панелей буде виготовлена із двох металевих листів в прошарку між якими розміщується енергопоглинальний матеріал. За рахунок наявності енергопоглинального матеріалу в конструкції сендвіч-панелі буде здійснюватися зменшення вертикальних динамічних навантажень, які діють на контейнер з вантажем при його транспортуванні.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено математичне моделювання вертикальної навантаженості контейнера при перевезенні його вагоном-платформю. Встановлено, що прискорення, які діють на контейнер удосконаленої конструкції, на 5,7 % нижчі за ті, що діють на контейнер типової конструкції.

Проведено розрахунок на міцність контейнера при експлуатаційних схемах його навантажень. Встановлено, що міцність контейнера забезпечується.

Особливість отриманих результатів полягає у тому, що зменшення навантаженості контейнера досягається не за рахунок посилення його конструкції, а впровадженням податливих зв'язків в неї.

Сферою практичного застосування отриманих результатів є залізничний транспорт. Умовами практичного використання результатів є використання енергопоглинального матеріалу в конструкції сендвіч-панелей, які утворюють підлогу контейнера.

Результати проведеного дослідження сприятимуть покращенню міцності контейнерів в умовах експлуатації, схоронності перевозимих у них вантажів, а також підвищенню ефективності функціонування контейнерних перевезень.

Ключові слова: транспортний контейнер, удосконалення контейнера, навантаженість контейнера, міцність контейнера, контейнерні перевезення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313795

РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ОБЕРНЕНИХ ЗАДАЧ ПРУЖНОСТІ (с. 45–52)

А. В. Каложняк, О. В. Кудін, Ю. О. Белоконь, Д. О. Кругляк

Об'єктом дослідження є нейромережеві методи розв'язання обернених задач механіки пружних тіл.

Метою є розробка нейронних мереж з фізичною інформацією для прогнозування параметрів елементів конструкцій та фізичних характеристик матеріалів на основі заданого розподілу переміщень.

Особливістю розроблених нейромереж є використання диференціальних рівнянь та крайових умов при обчисленні функцій втрат. Отже, похибка наближення невідомих функцій безпосередньо впливає на процес оптимізації вагових коефіцієнтів нейронних мереж. В результаті, отримані апроксимації невідомих функцій у вигляді нейромереж задовольняють диференціальним рівнянням та крайовим умовам.

Для тестування можливостей розроблених нейронних мереж розв'язано обернені задачі згину пластин та балок із визначенням одного або двох невідомих параметрів. Порівняння спрогнозованих та точних значень свідчить про високу якість побудованих нейромережевих моделей, оскільки відносна помилка прогнозу становить менше 3 % для всіх задач.

На відміну від аналітичних методів розв'язання обернених задач, основною перевагою нейромереж з фізичною інформацією є гнучкість при розв'язанні лінійних та нелінійних задач. Так, зокрема, одна й та сама мережа може використовуватись для розв'язання різних крайових задач без зміни архітектури мережі. На відміну від класичних чисельних методів, можливість паралелізації нейромереж вже закладена у сучасні програмні бібліотеки.

Отже, застосування нейронних мереж з фізичною інформацією для розв'язання обернених задач пружності пластин та балок є ефективним з огляду на отримані значення відносних похибок та обчислювальну стійкість методу. На практиці запропоновані можуть використовуватись для виконання відповідних розрахунків при проектуванні елементів конструкцій. Розроблений програмний код може бути частиною систем автоматизації проектувальних робіт або систем комп'ютерної алгебри.

Ключові слова: нейромережі з фізичною інформацією, обернені задачі, геометрична нелінійність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.316778

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЖОРСТКОСТІ ОПОРНИХ ВУЗЛІВ НА РЕЗОНАНСНІ ЯВИЩА ТА ВІБРАЦІЙНИЙ СТАН ГІДРОАГРЕГАТУ (с. 53–64)

О. В. Третяк, А. Є. Коврига, С. С. Кравченко, Д. М. Шпітальний, А. Ю. Жуков, С. А. Сергієнко, М. О. Арефьєва, Н. С. Пенковська, А. О. Мадонич

На вібрацію гідроагрегату впливають багато чинників, у тому числі власні частоти коливання елементів конструкції, які у деяких випадках можуть сприяти збільшенню вібрації внаслідок виникнення резонансних явищ.

В даній роботі розглянуто випадок оптимізації конструкції опорних вузлів валопроводу гідрогенератора-двигуна, встановленого на гідроакмулюючій електростанції, під час його реконструкції з метою поліпшення вібраційних параметрів. В ході дослідження було виконано аналіз впливу посилення жорсткості верхньої хрестовини та зниження ваги обертових частин на величину першої та другої критичних частот обертання. За результатами виконаних розрахунків було підтверджено працездатність запропонованої нової посиленої конструкції верхньої хрестовини гідрогенератора-двигуна зі збільшеною жорсткістю. Використання цієї конструкції дозволить збільшити першу критичну частоту обертання з 9 Гц (540 об/хв) до 17,6 Гц (1056 об/хв). Це призведе до уникнення резонансних явищ, викликаних близькістю першої критичної частоти обертання ротора існуючого гідроагрегату до номінальної частоти обертання (600 об/хв).

Відповідні розрахунки було виконано в тривимірній постановці в два етапи для кожного з розглянутих випадків конструкції. На першому етапі розрахунку досліджувалась жорсткість опорних елементів валопроводу гідрогенератора-двигуна шляхом визначення пружних деформацій елемента конструкції при його навантаженні поперечною силою. На другому етапі дослідження ці визначені жорсткості опорних елементів використовувались у якості вихідних даних для розрахунку критичних частот обертання ротора гідроагрегату.

Ключові слова: гідрогенератор зонтного типу, зниження вібрації гідрогенератора, жорсткість опори, критична частота обертання, тривимірний розрахунок, податливість опір гідрогенератора, хрестовина гідрогенератора.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.315183

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПНЕВМАТИЧНОЇ РЕСОРИ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ У ЗОНІ РЕЙКОВОГО СТИКУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ (с. 65–74)

А. Я. Кузишин, В. В. Ковальчук, Ю. Я. Ройко, Ю. М. Германюк, Ю. В. Терещак, А. Л. Пуларія

Об'єктом дослідження є пневматична ресора швидкісного рухомого складу залізниці, в умовах руху по рейковому стику залізничної колії із вертикальним уступом.

Вирішується проблема встановлення динамічної поведінки гумокордної оболонки пневматичної ресори швидкісного рухомого складу залізниці із врахуванням конструктивних особливостей залізничної колії, а саме рейкового стику.

Наведено методологію експериментальних випробувань пневматичної ресори швидкісного рухомого складу залізниці із використанням запропонованої динамічної випробувальної установки. Проведено експериментальні випробування пневматичної ресори у межах рейкового стику залізничної колії, що має вертикальний уступ 7,0 мм. Встановлено, що максимальна величина прискорень гумокордної оболонки пневматичної ресори виникає у вертикальній площині. Максимальні вертикальні прискорення гумокордної оболонки пневматичної ресори склали $2,4 \text{ м/с}^2$, горизонтальні поперечні прискорення – $0,85 \text{ м/с}^2$ та горизонтальні повздовжні прискорення – $0,9 \text{ м/с}^2$.

Встановлено, що деформації пневматичної ресори у вертикальній площині є вищими за деформації у горизонтальній площині. Величина максимальних вертикальних деформацій пневматичної ресори склала 4,1 мм, при цьому максимальна величина горизонтальних деформацій становила 1,2 мм.

За отриманими записами вільних коливань гумокордної оболонки пневматичної ресори визначено власні частоти та логарифмічні декременти згасання коливань. Встановлено, що значення першої власної частота коливань пневматичної ресори становить 3,21 Гц.

За побудованим графіком згасання коливань із апроксимуючою експонентою визначено логарифмічний декремент згасання коливань гумокордної оболонки пневматичної ресори. Він складає 0,2147.

Отримані значення динамічних показників нової пневматичної ресори можуть у подальшому використовуватися для контролю зміни фізико-механічних властивостей гумокордної оболонки пневматичної ресори в експлуатаційних умовах залізничної колії. На практиці інженери та наукові співробітники зможуть враховувати отримані динамічні показники ресори при проектуванні та удосконаленні пневматичної ресори, в умовах швидкісного руху поїздів.

Ключові слова: стик залізничних рейок, пневматична ресора, швидкісний рухомий склад, прискорення гумокордної оболонки, деформації ресори, власна частота коливань ресори.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.317951

ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПОЖЕЖНОЇ АВТОЦИСТЕРНИ ДО ПЕРЕКИДАННЯ ПРИ ЇЇ РУСІ ПЕРЕСІЧЕНОЮ ЛІСОВОЮ МІСЦЕВІСТЮ (с. 75–86)

К. Д. Алмазов, С. В. Поздєєв, О. А. Тарасенко, О. С. Куліца, А. Я. Калиновський, І. К. Чорномаз

Об'єктом дослідження були динамічні процеси у цистерні пожежного автомобіля з різним рівнем заповнення водою. Проблема, що вирішувалася, – визначення даних про флуктуацію центру мас динамічної системи, яку становить цистерна з водою пожежної автоцистерни, при її русі по пересіченій лісовій місцевості з різною швидкістю. Отримані дані дозволяють прогнозувати небезпеку перекидання пожежного автомобіля. У процесі вирішення завдання було створено розрахункову модель пожежної автоцистерни разом із водною ємністю, використовуючи програмний комплекс моделювання динамічних систем LS-Dуна. Для відтворення динамічного впливу на автоцистерну із водною ємністю рельєфу пересіченої лісової місцевості було встановлено часові залежності кути поточного положення автоцистерни – кут крену, ривання та тангажу. Отримані залежності використовувалися як граничні умови для відтворення динамічного впливу рельєфу. Кути повороту цистерни з водою пожежного автомобіля визначалися залежно від нерівностей рельєфу, геометрія яких обчислювалася генератором псевдовипадкових чисел. Використовуючи явний метод інтегрування рівнянь динаміки, реалізований у кодї програмного комплексу LS-Dуна, було визначено закономірності флуктуації центру мас цистерни з водою пожежного автомобіля в залежності від рівня заповнення та швидкості руху.

З використанням результатів, отриманих за допомогою математичного моделювання динамічних процесів у автоцистерні, було створено числовий алгоритм даної автоцистерни для збереження її стійкості щодо перекидання. Отже, результати цих досліджень мають безпосереднє застосування на практиці в галузі безпеки проектування автоцистерн і можуть бути використані для покращення та розробки нових технологій у цій галузі.

Ключові слова: пожежна автоцистерна, лісова місцевість, флуктуація центру мас, модель оптимального маршруту.