

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323561

A TECHNIQUE FOR APPLYING THE SYMMETRY METHOD TO SOLVE A PROBLEM OF TORSIONAL VIBRATIONS OF DISKS OF VARIABLE THICKNESS (p. 6–14)

Kirill Trapezon

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5873-9519>

Alexandr Trapezon

G. S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8567-9854>

The object of this study is a disk of variable thickness. A solution to the problem of natural torsional vibrations of disks of variable thickness was sought. An algorithm to solve the problem for an arbitrary number of different disk profiles has been constructed. The law of change in disk thickness $H(\rho)$, which contains three arbitrary constants α , C , C_1 , has been considered. The choice of the disk profile configuration is controlled by changing the values of these three constants.

Exact solutions to the problem in elementary functions are known only in two cases, when $H(\rho)=1/\rho^3$ or $H(\rho)=\rho^{-3}e^{\alpha\rho}$, where ρ is the relative radial coordinate and α is an arbitrary constant. These cases are not sufficient for generalizing conclusions about the behavior of disks during their oscillations.

For the case of a disk that is rigidly fixed along its inner diameter and with a free outer edge, the corresponding relations were derived. They made it possible to calculate natural numbers and study the distribution of angular displacements of the disk. These numerical parameters, along with the frequency indices, are a convenient technique for evaluating the resonant properties of the disk for practice.

A comparison of torsional and radial vibrations of the disk with the chosen law of thickness change was performed. To study torsional vibrations, approximation approaches of thickness change functions were used. It was found that the relative discrepancy between the values of these functions at a certain interval did not exceed 2.2 %. It was found that the differences in the eigenfrequencies of torsional vibrations for the disk of the chosen configuration were significantly smaller than in the case of radial vibrations.

A practical algorithm for applying the method used is presented, which could prove useful for further research based on similar analytical approaches.

The method makes it possible to choose the desired disk configuration for various practical purposes. Owing to this feature, it is possible to provide the required distribution of cyclic stresses, resonant frequencies, and amplitudes for the disk.

Keywords: differential equation, disk of variable thickness, torsional vibrations, natural frequencies, method of symmetries.

References

- Kumar, P., Tiwari, R. (2023). A review: multiplicative faults and model-based condition monitoring strategies for fault diagnosis in rotary machines. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45 (5). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04203-z>
- Murawski, L., Dereszewski, M. (2019). Theoretical and practical backgrounds of monitoring system of ship power transmission systems' torsional vibration. *Journal of Marine Science and Technology*, 25 (1), 272–284. <https://doi.org/10.1007/s00773-019-00646-z>
- Kim, Y. G., Kim, U. K. (2019). Effects of torsional vibration of a propulsion shafting system and energy efficiency design index from a system combining exhaust gas recirculation and turbocharger cut out. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33 (8), 3629–3639. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0703-5>
- Bai, B., Zhang, J., Cui, Y., Li, H. (2020). Vibration characteristics investigation of mistuned blisks with receptance substructure component modal synthesis method. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34 (7), 2715–2729. <https://doi.org/10.1007/s12206-020-0604-7>
- Kutsal, S. M., Coşkun, S. B. (2023). Analytical approximations for elastic limit angular velocities of rotating annular disks with hyperbolic thickness. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45 (6). <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04132-x>
- Salehian, M., Shahriari, B., Yousefi, M. (2018). Investigating the effect of angular acceleration of the rotating disk having variable thickness and density function on shear stress and tangential displacement. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41 (1). <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1523-8>
- Szuwalski, K., Ustrzycka, A. (2015). Mathematical and numerical modelling of large creep deformations for annular rotating disks. *Applied Mathematics and Mechanics*, 36 (11), 1441–1448. <https://doi.org/10.1007/s10483-015-1994-7>
- Bagheri, E., Asghari, M., Danesh, V. (2019). Analytical study of micro-rotating disks with angular acceleration on the basis of the strain gradient elasticity. *Acta Mechanica*, 230 (9), 3259–3278. <https://doi.org/10.1007/s00707-019-02461-4>
- Thakur, P., Sethi, M., Kumar, N., Gupta, K., Bhardwaj, R. K. (2021). Analytical Solution of Hyperbolic Deformable Disk having Variable Density. *Mechanics of Solids*, 56 (6), 1039–1046. <https://doi.org/10.3103/s0025654421060194>
- Bahrami Babamiri, B., Shahrjerdi, A., Bayat, M. (2020). Effect of geometrical imperfection on the thermomechanical behavior of functionally graded material rotating disk. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42 (5). <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02360-z>
- Biezeno, C. B., Grammel, R. (1939). *Technische Dynamik*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-36257-0>
- Trapezon, K., Trapezon, A., Kalinichenko, V., Didkovskii, V. (2024). Results of the analytical solution of the problem of radial vibrations of disks of variable thickness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (128)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300090>
- Kamke, E. (1959). *Differential gleichungen, Lösungsmethoden und losungen*. Leipzig, 244.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325519

DETERMINING THE LOADING OF A CONTAINER FOR GRAIN TRANSPORTATION UNDER OPERATING CONDITIONS (p. 15–22)

Alyona Lovska

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

Nurlana Karimova

Azerbaijan State University of Economics (UNEC), Baku, Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5387-9782>

The object of this study is the processes of perception and redistribution of loads in the structure of a container for grain transportation under operating conditions. The task to address is to provide the rail-

road industry with vehicles for grain transportation by modernizing universal containers.

To upgrade the universal container for grain transportation, a 1CC container was selected as a prototype. In order to adapt this container for grain transportation, it is proposed to install three standard-diameter loading hatches on the roof. It is planned to make an unloading hatch in the end wall 1/3 of the height of the lower strapping. To substantiate the proposed solution, the strength of the container was calculated under the following loading scenarios: transporting the container as part of a railroad train; lifting by the upper corner fittings; unloading the container. The calculation results showed that the strength of the container is ensured under all the considered loading schemes.

A special feature of the results is that the provision of the railroad industry with vehicles for grain transportation is achieved not by designing new structures but by modernizing existing ones.

The field of practical application of the research results is railroad transport. The conditions for the practical use of the results are the application of low-alloy steel to fabricate the components of the container structure.

The results of the study will help compile recommendations for the modernization and design of container structures, as well as to improve the efficiency of container transportation, including international traffic.

Keywords: railroad transport, container, container modernization, container load, container strength, container transportation.

References

1. Soukup, J., Skočilas, J., Skočilasová, B., Dižo, J. (2017). Vertical Vibration of Two Axle Railway Vehicle. *Procedia Engineering*, 177, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.178>
2. 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>
3. Gerlici, J., Lovska, A., Vatulia, 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>
4. 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>
5. Galimova, F., Khurmatov, Y., Abdulloev, M., Jumabekov, B., Sultonaliyev, D., Ergeshova, D. (2021). Modern Gondola with Lightweight Body. XIV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2021,” 1043–1050. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94
6. Vatulia, G. L., Lovska, A. O., Krasnokutskyi, 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. Tiernan, S., Fahy, M. (2002). Dynamic FEA modelling of ISO tank containers. *Journal of Materials Processing Technology*, 124 (1–2), 126–132. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00196-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00196-6)
8. Rzeczycki, 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>
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. 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>
11. Lovska, A., Stanovska, I., Kyryllova, V., Okorokov, A., Vernigora, R. (2024). Determining the vertical load on a container with a floor made of sandwich panels transported by a flat wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (132)), 36–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315059>
12. Rahimov, R. V., Khadjimukhametova, M. A., Rakhmatov, Z. X. (2016). Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables. *European Science Review*, 1–2, 175–177. <https://doi.org/10.20534/esr-16-1-2-175-177>
13. Poklemba, R., Zajac, J., Goldyniak, D., Olexa, I., Dilýová, M. (2020). Construction proposal of shipping bulk container. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 776 (1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/776/1/012046>
14. Siasiev, A. V. (2004). Vstup do systemy MathCad. Dnipropetrovsk, 108. Available at: https://mmf.dnu.dp.ua/wp-content/uploads/2020/01/mathcad_sayt.pdf
15. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad. Vinnytsia, 106. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf
16. 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>
17. Gerlici, J., Lovska, A., Kozáková, K. (2025). Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation. *Designs*, 9 (1), 12. <https://doi.org/10.3390/designs9010012>
18. 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>
19. Zub, E., Tkachenko, V., Sapronova, S., Syvakivskiy, S. (2024). Determining the influence of wheelset arrangement in the model 18-100 bogies on the level of steering efforts in the wheel-rail flange contacts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 38–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304328>
20. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). Kompiuterna hrafika: SolidWorks. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%27ютерна%20граф%20ика.pdf>
21. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, 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>
22. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Harušinec, 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. Mikhailov, E., Semenov, S., Dižo, J., Kravchenko, K. (2019). Research of possibilities of reducing the driving resistance of a railway vehicle by means of the wheel construction improvement. *Transportation Research Procedia*, 40, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.117>
24. 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>
25. Koshel, O., Sapronova, S., Kara, S. (2023). Revealing patterns in the stressed-strained state of load-bearing structures in special rolling

stock to further improve them. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (124)), 30–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285894>

26. Gerlici, J., Lovska, A., Pavliuchenkov, M. (2024). Study of the Dynamics and Strength of the Detachable Module for Long Cargoes under Asymmetric Loading Diagrams. *Applied Sciences*, 14 (8), 3211. <https://doi.org/10.3390/app14083211>
27. Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (120)), 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
28. Liguori, A., Formato, A., Pellegrino, A., Villecco, F. (2021). Study of Tank Containers for Foodstuffs. *Machines*, 9 (2), 44. <https://doi.org/10.3390/machines9020044>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326219

DEVELOPMENT OF A PROCEDURE FOR CALCULATING PROBLEMS IN THE MECHANICS OF ELASTOMERS BASED ON THE OPEN MODELING LANGUAGE (p. 23–32)

Volodymyr Lavrik

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6448-2470>

Ihor Bohdanov

Berdyansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6274-1969>

Hanna Alieksieieva

Berdyansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3204-3139>

Oleksandr Antonenko

Berdyansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9542-4791>

Oleksandr Ovsyannikov

Berdyansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4972-3472>

The object of the study is the stress-strain state of elastomeric structures. When solving practical problems in elastomer mechanics, the issue of selecting an effective computational scheme based on computational mathematics methods arises. However, due to the insufficient number of studies, it is difficult to assess the optimality of a particular methodology, which necessitates an analysis of computational algorithms followed by a comparison of their advantages and disadvantages.

In the design of elastomeric structures, the numerical analysis of their stress-strain state is a relevant issue. One of the key characteristics is the compressibility of the material, which is not taken into account by equations for incompressible media. In thin-layer rubber elements, this effect becomes more pronounced as the ratio of one of the geometric dimensions to the thickness of the structure increases.

The use of the finite element method in displacements, despite its convenience, encounters computational errors. When the Poisson's ratio approaches 0.5, numerical instabilities arise, complicating the attainment of reliable computational results.

This study proposes a new approach to organizing computational schemes in specialized automated design systems, which ensures more accurate modeling of the stress-strain state of structures. The foundation is the use of Open Modeling Language, which simplifies the description of mechanics problems and corresponding numerical schemes within a unified variational framework.

The key result is the derivation of universal formulas for determining the potential energy of the system based on the moment finite

element scheme. The proposed approach eliminates the “false shear” effect and improves the accuracy of numerical calculations for weakly compressible materials, which is confirmed by numerical analysis and experimental data.

Keywords: moment finite element scheme, variational principle of Lagrange, mathematical model of elastomeric structures.

References

1. Biderman, V. L., Sukhova, N. A. (1968). Calculation of cylindrical and rectangular long rubber compression shock absorbers. *Strength of Materials*, 13, 55–72.
2. Bulat, A. F., Dirda, V. I., Karnaukhov, V. G., Agal'tsov, G. M. (2021). Effect of Ionizing Radiation on the Mechanical Behavior of Rubber Materials. *International Applied Mechanics*, 57 (4), 379–385. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01089-z>
3. Drass, M. (2020). Elastomers and their Mechanical Behaviour. Constitutive Modelling and Failure Prediction for Silicone Adhesives in Façade Design, 37–63. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29255-3_3
4. Feng, H., Zhou, J., Gao, S., Jiang, L. (2021). Finite element simulation of the viscoelastic behavior of elastomers under finite deformation with consideration of nonlinear material viscosity. *Acta Mechanica*, 232 (10), 4111–4132. <https://doi.org/10.1007/s00707-021-03042-0>
5. Grebenyuk, S., Smoliankova, T., Klymenko, M., Kudin, O. (2020). The homogenization of multimodular composites at their longitudinal deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (105)), 13–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199968>
6. Zhang, L., Yu, W. (2015). Variational asymptotic homogenization of elastoplastic composites. *Composite Structures*, 133, 947–958. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.07.117>
7. Martynenko, V. G., L'vov, G. I. (2016). A numerical method for determining anisotropic visco-elastic properties of orthogonally reinforced composite material. *Vestnik NTU «KhPI». Series: Dynamics and Strength of Machines*, 46 (1218), 44–51.
8. Nikishkov, G., Nikishkov, Y., Makeev, A. (2013). Finite element mesh generation for composites with ply waviness based on X-ray computed tomography. *Advances in Engineering Software*, 58, 35–44. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.01.002>
9. Dyrda, V., Lapin, V., Lysytsia, M., Puhach, A., Bulat, I., Pankevych, I. et al. (2022). Some problems of the new radiation-resistant rubber mechanics in vibrating machines at hard γ -radiation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 970 (1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012017>
10. Mezhuiev, V., Lavrik, V. (2015). Improved Finite Element Approach for Modeling Three-Dimensional Linear-Elastic Bodies. *Indian Journal of Science and Technology*, 8 (30). <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i1/57727>
11. Bulat, A. F., Dyrda, V. I., Grebenyuk, S. M., Klymenko, M. I. (2020). Determination of Effective Characteristics of a Fibrous Composite with Account of Viscoelastic Deformation of its Components. *Strength of Materials*, 52 (5), 691–699. <https://doi.org/10.1007/s11223-020-00221-7>
12. Gulyar, A. I., Sakharov, A. S., Stepashko, V. I. (1986). Application of the semianalytical finite element method to solving spatial problems of fracture mechanics of axisymmetric bodies. *Strength of Materials*, 18 (7), 959–963. <https://doi.org/10.1007/bf01522700>
13. Bulat, A. F., Dyrda, V. I., Grebenyuk, S. M., Klymenko, M. I. (2022). Numerical Simulation of Viscoelastic Deformation of Rubber Shock Absorbers Based on the Exponential Law. *Strength of Materials*, 54 (5), 776–784. <https://doi.org/10.1007/s11223-022-00454-8>
14. Çakmak, U. D., Major, Z. (2013). Experimental Thermomechanical Analysis of Elastomers Under Uni- and Biaxial Tensile Stress State. *Experimental Mechanics*, 54 (4), 653–663. <https://doi.org/10.1007/s11340-013-9820-8>

15. Choporov, S., Homeniuk, S., Grebenyuk, S. (2018). Optimized smoothing of discrete models of the implicitly defined geometrical objects' surfaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (93)), 52–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.130787>
16. Re, D., De Angelis, F., Augusti, G., Augusti, D., Caputi, S., D'Amario, M., D'Arcangelo, C. (2015). Mechanical Properties of Elastomeric Impression Materials: An In Vitro Comparison. *International Journal of Dentistry*, 2015, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/428286>
17. Rocker, S., Rayer, M., Ternes, S., Schiffers, R. (2023). Substitution of elastomer components under cyclic loading by thermoplastic elastomers: Investigations of static and dynamic properties. *Structural And Physical Aspects Of Construction Engineering 2022 (SPACE 2022): 5th International Scientific Conference*, 2950, 150002. <https://doi.org/10.1063/5.0168347>
18. Menning, J. D. M., Ewert, A., Prokopchuk, A., Schlecht, B., Henke, M., Wallmersperger, T. (2023). Finite element based modeling and simulation of an elastomer gear rim. *PAMM*, 23 (1). <https://doi.org/10.1002/pamm.202200141>
19. Piszko, P., Kryszak, B., Gazińska, M., Słota, D., Sobczak-Kupiec, A., Włodarczyk, M. et al. (2023). The effect of filler content on mechanical properties and cell response of elastomeric PGS/apatite foam scaffolds. *Ceramics International*, 49 (15), 25353–25363. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.05.071>
20. Borreguero, A. M., Izarra, I., Garrido, I., Trzebiatowska, P. J., Datta, J., Serrano, Á. et al. (2021). Thermal and Mechanical Behavior of Elastomers Incorporated with Thermoregulating Microcapsules. *Applied Sciences*, 11 (12), 5370. <https://doi.org/10.3390/app11125370>
21. Mezhuiev, V., Homenyuk, S., Lavrik, V. (2015). Computation of elastomers properties using FORTU-FEM CAD system. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10 (20), 9167–9173. Available at: https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_1115_2853.pdf
22. Coll, N., Guerrieri, M. (2017). Parallel constrained Delaunay triangulation on the GPU. *International Journal of Geographical Information Science*, 31 (7), 1467–1484. <https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1300804>
23. Fayolle, P.-A., Pasko, A. (2012). Optimized surface discretization of functionally defined multi-material objects. *Advances in Engineering Software*, 45 (1), 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.10.007>
24. Choporov, S., Homeniuk, S., Grebenyuk, S., Kudin, O. (2019). Development of a method for triangulation of inhomogeneous regions represented by functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (100)), 21–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174010>
25. Hniezdovskyi, O., Kudin, O., Belokon, Y., Il'in, S. (2022). Designing an object-oriented architecture for the finite element simulation of structural elements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 78–84. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268018>
26. Havrylenko, Y., Cortez, J. I., Kholodniak, Y., Aliksieieva, H., Garcia, G. T. (2020). Modelling of Surfaces of Engineering Products on the Basis of Array of Points. *Tekhniki Vjesnik*, 27(6), 2034–2043. <https://doi.org/10.17559/tv-20190720081227>
27. Marinkovic, D., Zehn, M. (2019). Survey of Finite Element Method-Based Real-Time Simulations. *Applied Sciences*, 9 (14), 2775. <https://doi.org/10.3390/app9142775>
28. Hayeemasae, N., Soontaranon, S., Rasidi, M. S. M., Masa, A. (2021). Tensile and structural properties of natural rubber vulcanizates with different mastication times. *Polimeros*, 31 (1). <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09120>
29. Humova zirochka vid vyrobnyka. Ukrpromservis. Available at: <https://zavod-rti.com/gumova-zirochka-vid-virobnika/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327557

ESTIMATING DEFLECTIONS OF CASTELLATED BEAMS USING SOLIDWORKS SIMULATION (p. 33–40)**Pavlo Rusyn**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1479-2244>**Ivan Peleshko**Lviv Polytechnical National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7028-9653>**Vitalina Yurchenko**Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-809X>

The object of this study is a castellated beam, in which the large openings in the web have the shape of a regular hexagon. The beam is investigated for the purpose of assessing deflections. Based on a set of experimental studies, the features of the stress-strain state of castellated beams have been defined. The need to take into account the increased deflections of castellated beams due to the openings in the beam web when calculating the deflections of castellated beams at the serviceability limit state verifications has been determined. A comparative analysis of the deflections obtained as a result of the numerical experiment with the deflections of beams determined using the design code technique has been performed. It was established that for verifications of castellated beams at the serviceability limit state, the error in assessing the deflections of a single-span hinged beam loaded with a uniformly distributed transverse load in some cases reaches 20 %. Recommendations have been devised for estimating deflections of castellated beams. According to the proposed recommendations, the error in estimating castellated beam deflections does not exceed 3 % for the range of the beam span to the total height of its cross-section $8.5 < L/h < 25$.

The results are valid only for the range of I-section profiles and only for the case of a uniformly distributed load acting on the beam when the compressed beam flange is out of bending plane restrained and the beam web is perforated with large openings in the form of regular hexagons. It is under such conditions that the results could be implemented in practice both at the stage of selecting cross-sections of the studied class of structures and when designing effective ranges of castellated beams.

Keywords: castellated beam, hexagonal openings, deflections, finite element analysis, SOLIDWORKS Simulation.

References

1. Pavlović, S. (2021). Techno-economic analysis of castellated and solid “I” – profiled steel beams in terms of load capacity and serviceability. *STEPGRAD*, 1 (13). <https://doi.org/10.7251/stp1813739p>
2. ACB and Angelina beams. A new generation of beams with large web openings. ArcelorMittal Europe - Long products. ArcelorMittal, 64.
3. Perelmuter, A., Kriksunov, E., Gavrilenko, I., Yurchenko, V. (2010). Designing bolted end-plate connections in compliance with Eurocode and Ukrainian codes: consistency and contradictions. *Selected papers of the 10th International Conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”*. Vol. II. Vilnius: Technika, 733–743. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266038627_Designing_bolted_end-plate_connections_in_compliance_with_eurocode_and_ukrainian_codes_consistency_and_contradictions
4. Gezentsvey, Y., Olevskiy, V., Volchok, D., Olevskiy, O. (2021). Calculation of the improved steel beams of buildings and structures of the mining and metallurgical complex. *Strength of Materials*

- and Theory of Structures, 106, 54–67. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.54-67>
5. Pritykin, A. I. (2022). Prediction of the castellated beams deflections. *Vestnik MGSU*, 9, 1160–1174. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.9.1160-1174>
 6. Sonck, D., Kinget, L., Belis, J. (2015). Deflections of cellular and castellated beams. *Future Visions* (International Association for Shell and Spatial Structures), Proceedings, 1–12. <https://biblio.ugent.be/publication/6913948>
 7. Pidgurskyi, I., Slobodian, V., Bykiv, D., Pidgurskyi, M. (2021). Investigation of the stress-strain state of beams with different types of web perforation. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, 103 (3), 79–87. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.03.079
 8. Morkhade, S. G., Gupta, L. M. (2015). Analysis of steel I-beams with rectangular web openings: experimental and finite element investigation. *Engineering Structures and Technologies*, 7 (1), 13–23. <https://doi.org/10.3846/2029882x.2015.1085332>
 9. Panedpojaman, P., Thepchatri, T. (2013). Finite element investigation on deflection of cellular beams with various configurations. *International Journal of Steel Structures*, 13 (3), 487–494. <https://doi.org/10.1007/s13296-013-3008-z>
 10. Durif, S., Bouchaïr, A. (2012). Behavior of Cellular Beams with Sinusoidal Openings. *Procedia Engineering*, 40, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.064>
 11. Jiang, T.-Y., Xu, M.-X., Geng, S., Wang, L. (2024). Calculation of deformation behavior and deflection of regular hexagonal castellated beams considering web weld damage. *Engineering Mechanics*, 41 (4), 199–209. <http://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2022.04.0382>
 12. Kaveh, A., Shokohi, F. (2015). Optimum design of laterally-supported castellated beams using CBO algorithm. *Steel and Composite Structures*, 18 (2), 305–324. <https://doi.org/10.12989/scs.2015.18.2.305>
 13. Yurchenko, V., Peleshko, I. (2021). Methodology for solving parametric optimization problems of steel structures. *Magazine of Civil Engineering*, 7 (107). <http://doi.org/10.34910/MCE.107.5>
 14. Yurchenko, V., Peleshko, I. (2020). Improved gradient projection method for parametric optimisation of bar structures. *Magazine of Civil Engineering*, 6 (98). <http://doi.org/10.18720/MCE.98.12>
 15. Peleshko, I. D., Yurchenko, V. V. (2021). Parametric Optimization of Metal Rod Structures Using the Modified Gradient Projection Method. *International Applied Mechanics*, 57 (4), 440–454. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01096-0>
 16. Yurchenko, V., Peleshko, I. (2022). Optimization of cross-section dimensions of structural members made of cold-formed profiles using compromise search. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 84–95. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.261037>
 17. Yurchenko, V., Peleshko, I., Rusyn, P. (2024). Optimization of cross-sectional dimensions of castellated beams with hexagonal openings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (129)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304803>
 18. Morkhade, S. G., Gupta, L. M. (2019). Behavior of Castellated Steel Beams: State of the Art Review. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 19, 39–48. <https://doi.org/10.56748/ejse.19234>
 19. Ranisavljević, M., Dobrić, J. (2024). Failure modes of steel beams with web openings. *Gradjevinski Materijali i Konstrukcije*, 67 (4), 201–209. <https://doi.org/10.5937/grmk2400011r>
 20. Elaiwi, S., Kim, B., Li, L.-Y. (2019). Bending Analysis of Castellated Beams. *Athens Journal of Technology & Engineering*, 6 (1), 1–16. <https://doi.org/10.30958/ajte.6-1-1>
 21. Liu, T. C. H., Chung, K. F. (2003). Steel beams with large web openings of various shapes and sizes: finite element investigation. *Journal of Constructional Steel Research*, 59 (9), 1159–1176. [https://doi.org/10.1016/s0143-974x\(03\)00030-0](https://doi.org/10.1016/s0143-974x(03)00030-0)
 22. Soltani, M. R., Bouchaïr, A., Mimoune, M. (2012). Nonlinear FE analysis of the ultimate behavior of steel castellated beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.016>
 23. Elaiwi, S. S., Kim, B., Li, L. (2019). Linear and Nonlinear Buckling Analysis of Castellated Beams. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 83–93. <https://doi.org/10.18178/ijscer.8.2.83-93>
 24. EN 1993-1-13:2022. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-13: Rules for beams with large web openings. European committee for standardization, Brussels, 43.
 25. Yuan, W., Yu, N., Bao, Z., Wu, L. (2016). Deflection of castellated beams subjected to uniformly distributed transverse loading. *International Journal of Steel Structures*, 16 (3), 813–821. <https://doi.org/10.1007/s13296-015-0120-2>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326379

IDENTIFICATION OF PATTERNS OF NON-STATIONARY LAMINAR FLOW OF A VISCOUS FLUID AT THE INLET SECTION OF PLANE-PARALLEL PRESSURE FLOW (p. 41–49)

Arestak Sarukhanyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4928-9960>

Garnik Vermishyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8524-5899>

Hovhannes Kelejian

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1578-0786>

Pargev Baljyan

National University of Architecture and Construction of Armenia,
Yerevan, Armenia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8936-2547>

The inlet region of a plane-parallel pressure flow is the subject of this study. The patterns of variations in the hydrodynamic inlet region under unsteady plane-parallel pressure flow of a viscous fluid are examined in this research. Based on the boundary layer equation and flow characteristics, the boundary conditions of the problem were determined and a boundary value problem was formulated. The problem's boundary conditions were established and a boundary value problem was developed based on the boundary layer equation and flow characteristics. In order to find patterns of velocity change over time and over the length of the inlet region under general boundary conditions, a method for integrating the boundary value conditions was created. Solutions for scenarios with a constant and parabolic velocity distribution in the inlet region were derived from the general solutions. Regularities of pressure and velocity change were found along the entire hydrodynamic inlet region.

Using computer analysis, graphs of velocity changes over time at various points along the entire length of the inlet region are constructed. The patterns of velocity distribution along the entire length of the inlet region depending on time can be seen using graphs. This allows one to estimate the length of the hydrodynamic inlet region and calculate the fluid flow velocity at any point in this region. The findings enable revealing the essence of the processes running in an hydropneumatic automation system's transition sections. Based on the revealed regularities of the hydrodynamic parameters of viscous

incompressible liquid during unsteady flows, it is possible to correctly design of the automatic systems' channels of regulating units ensuring their smooth and accurate operation.

Keywords: plane-parallel flow, inlet section, unsteady flow, viscous fluid, velocity distribution.

References

- Atabek, H. B., Chang, C. C., Fingerson, L. M. (1964). Measurement of Laminar Oscillatory Flow in the Inlet Length of a Circular Tube. *Physics in Medicine and Biology*, 9 (2), 219–227. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/9/2/309>
- Avula, X. J. R. (1969). Analysis of suddenly started laminar flow in the entrance region of a circular tube. *Applied Scientific Research*, 21 (1), 248–259. <https://doi.org/10.1007/bf00411611>
- Lew, H. S., Fung, Y. C. (1970). Entry flow into blood vessels at arbitrary Reynolds number. *Journal of Biomechanics*, 3 (1), 23–38. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(70\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0021-9290(70)90048-5)
- Mohanty, A. K., Asthana, S. B. L. (1979). Laminar flow in the entrance region of a smooth pipe. *Journal of Fluid Mechanics*, 90 (3), 433–447. <https://doi.org/10.1017/s0022112079002330>
- Reci, A., Sederman, A. J., Gladden, L. F. (2018). Experimental evidence of velocity profile inversion in developing laminar flow using magnetic resonance velocimetry. *Journal of Fluid Mechanics*, 851, 545–557. <https://doi.org/10.1017/jfm.2018.512>
- Urbanowicz, K., Firkowski, M., Bergant, A. (2018). Comparing analytical solutions for unsteady laminar pipe flow. Conference: BHR Pressure Surges. Available at: https://www.researchgate.net/publication/329759824_Comparing_analytical_solutions_for_unsteady_laminar_pipe_flow
- Ainola, L. Ya., Ruustal (1985). Development of flow at the inlet section of a round pipe during acceleration of liquid motion. *Transactions of the Tallinn Polytechnic Institute*, Tallinn, 95–107.
- Vardy, A. E., Brown, J. M. B. (2010). Laminar pipe flow with time-dependent viscosity. *Journal of Hydroinformatics*, 13 (4), 729–740. <https://doi.org/10.2166/hydro.2010.073>
- Sarukhanyan, A., Vardanyan, Y., Baljyan, P., Vermishyan, G. (2023). Pattern identification of the non-stationary laminar flow of a viscous fluid in the round pipe inlet section. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (122)), 33–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.278001>
- Sarukhanyan, A., Vermishyan, G., Kelejian, H. (2023). Plane-Parallel Laminar Flow of Viscous Fluid in the Transition Zone of the Inlet Section. *Journal of Architectural and Engineering Research*, 4, 75–85. <https://doi.org/10.54338/27382656-2023.4-008>
- Sarukhanyan, A., Vartanyan, A., Vermishyan, G., Tokmajyan, V. (2020). The Study of Hydrodynamic Processes Occurring on Transition of Sudden Expanding of Hydraulic Section of Plane – Parallel Full Pipe Flow. *TEM Journal*, 1494–1501. <https://doi.org/10.18421/tem94-23>
- Pomerenk, O., Carrillo Segura, S., Cao, F., Wu, J., Ristroph, L. (2023). Hydrodynamics of finite-length pipes at intermediate Reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics*, 959. <https://doi.org/10.1017/jfm.2023.99>
- Daprà, I., Scarpi, G. (2017). Unsteady Flow of Fluids With Arbitrarily Time-Dependent Rheological Behavior. *Journal of Fluids Engineering*, 139 (5). <https://doi.org/10.1115/1.4035637>
- Kannaiyan, A., Natarajan, S., Vinoth, B. R. (2022). Stability of a laminar pipe flow subjected to a step-like increase in the flow rate. *Physics of Fluids*, 34 (6). <https://doi.org/10.1063/5.0090337>
- Michioku, K. (2017). Three dimensional potential flow analysis on diversion and intake works from a straight channel. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 73 (3), 71–76. <https://doi.org/10.2208/jscejhe.73.71>
- Lebon, B., Peixinho, J., Ishizaka, S., Tasaka, Y. (2018). Subcritical transition to turbulence in a sudden circular pipe expansion. *Journal of Fluid Mechanics*, 849, 340–354. <https://doi.org/10.1017/jfm.2018.421>
- Shajari, G., Abbasi, M., Jamei, M. K. (2020). Entrance length of oscillatory flows in parallel plate microchannels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235 (19), 3833–3843. <https://doi.org/10.1177/0954406220968125>
- Schlichting, H., Gersten, K. (2017). *Boundary-Layer Theory*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52919-5>
- Tikhonov, A. N., Samarskii, A. A. (1999). *Equations of Mathematical Physics*. Moscow: Nauka, 799.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324960

DETERMINING THE INFLUENCE OF THERMOMECHANICAL LOADING ON THE MEASUREMENT ERRORS OF FIBER-OPTIC GYROSCOPE (p. 50–65)

Dmytro Breslavsky

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3792-5504>

Valerii Uspenskyi

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5960-7347>

Volodymyr Mietielov

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-6296>

Alyona Senko

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9961-7419>

Oksana Tatarinova

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3090-8469>

The object of this study is the measurement errors of a fiber-optic gyroscope, which is an element of the spacecraft orientation control system. The task to determine the patterns of thermomechanical loading influence on the measurement errors of gyroscopes has been solved by using mathematical modeling. The study was conducted using the finite element method, which has made it possible to analyze the stress-strain state of structural elements under different conditions of temperature and mechanical loading. Temperature and deformation distributions of the spacecraft structural elements were obtained. These data were used to estimate the misalignment parameters of the sensitivity axes of the onboard system gyroscopes, which arise due to structural deformation. Under certain modeling conditions, they exceed one hundred arc seconds, which could lead to an unacceptable error in controlling the spacecraft orientation.

To specify the magnitude of gyroscopes' measurement error, high-frequency oscillations that occur when the jet engine is turned on during the correction of the spacecraft's orbit were considered together with thermal deformation of the structure. This combination of thermal and mechanical effects creates conditions under which the accuracy of the control systems is significantly compromised. It was determined that under the conditions studied, the measurement error increases 8 times when the temperature of the structure changes by 40 °C.

Thus, to solve the task set, a procedure for determining the measurement error under specific conditions of thermomechanical loading was devised and described. Using such a procedure in the design of control systems in the future will contribute to increasing the accuracy of their operation. This will be achieved by optimally placing gyroscopes on board, taking into account the influence of thermal fields.

Keywords: thermomechanical deformation, finite element method, misalignment of a fiber-optic gyroscope, measurement errors.

References

- Nurgizat, Y., Balbayev, G., Galayko, D. (2021). Solar sensor for Cubesat attitude determination. 2021 28th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/icecs53924.2021.9665513>
- Zbrutskyi, O., Meleshko, V., Ganja, A., Tarnavsky, S., Bondarenko, O., Pjnomarenko, S., Saurova, K. (2022). System definition of micro - nano satellite orientation. MECHANICS OF GYROSCOPIC SYSTEMS, 43, 46–60. <https://doi.org/10.20535/0203-3771432022275282>
- El-Sheimy, N., Youssef, A. (2020). Inertial sensors technologies for navigation applications: state of the art and future trends. Satellite Navigation, 1 (1). <https://doi.org/10.1186/s43020-019-0001-5>
- Wang, X., Cui, Y., Cao, H. (2023). Temperature Drift Compensation of Fiber Optic Gyroscopes Based on an Improved Method. Micromachines, 14 (9), 1712. <https://doi.org/10.3390/mi14091712>
- Kucherenko, O. (2024). Methods of reducing the influence of temperature gradients on the sensitivity of fiber-optic gyroscope. Bulletin of Kyiv Polytechnic Institute. Series Instrument Making, 67 (1), 13–17. [https://doi.org/10.20535/1970.67\(1\).2024.306720](https://doi.org/10.20535/1970.67(1).2024.306720)
- Ban, J., Chen, G., Meng, Y., Shu, J. (2022). Calibration method for misalignment angles of a fiber optic gyroscope in single-axis rotational inertial navigation systems. Optics Express, 30 (5), 6487. <https://doi.org/10.1364/oe.449629>
- Gorev, V., Pelemeshko, A., Zadorozhny, A., Sidorchuk, A. (2018). Thermal deformation of 3U CubeSat in low Earth orbit. MATEC Web of Conferences, 158, 01013. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815801013>
- Bonnici, M., Mollicone, P., Fenech, M., Azzopardi, M. A. (2019). Analytical and numerical models for thermal related design of a new pico-satellite. Applied Thermal Engineering, 159, 113908. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113908>
- Abdelal, G. F., Abuefoutouh, N., Gad, A. H. (2013). Finite Element Analysis for Satellite Structures. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4637-7>
- Breslavsky, D., Uspensky, V., Kozlyuk, A., Paschenko, S., Tatarinova, O., Kuznyetsov, Y. (2017). Estimation of heat field and temperature models of errors in fiber-optic gyroscopes used in aerospace systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (85)), 44–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.93320>
- Reza Eslami, M., Hetnarski, R. B., Ignaczak, J., Noda, N., Sumi, N., Tanigawa, Y. (2013). Theory of Elasticity and Thermal Stresses. In Solid Mechanics and Its Applications. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6356-2>
- Parkus, H. (1976). Thermoelasticity. Springer Vienna. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8447-9>
- Nowacki, W. (1986). Thermoelasticity. Oxford, 578.
- Day, W. A. (1985). Heat Conduction Within Linear Thermoelasticity. In Springer Tracts in Natural Philosophy. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9555-3>
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., Fox, D. D. (2014). The finite element method for solid and structural mechanics. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2009-0-26332-x>
- Stolarski, T. (2018). Engineering analysis with ANSYS software. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-01966-6>
- Breslavsky, D., Morachkovsky, O., Tatarinova, O. (2014). Creep and damage in shells of revolution under cyclic loading and heating. International Journal of Non-Linear Mechanics, 66, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2014.02.005>
- Breslavskii, D. V., Metelev, V. A., Morachkovskii, O. K. (2015). Anisotropic Creep and Damage in Structural Elements Under Cyclic Loading. Strength of Materials, 47 (2), 235–241. <https://doi.org/10.1007/s11223-015-9653-z>
- Breslavsky, D. V., Morachkovsky, O. K., Tatarinova, O. A. (2008). High-temperature creep and long-term strength of structural elements under cyclic loading. Strength of Materials, 40 (5), 531–537. <https://doi.org/10.1007/s11223-008-9067-2>
- Uspensky, V. B., Kuznyetsov, Y. O., Shyriaieva, N. V. (2021). The Location Optimization of the On-Board Measuring System for Moving Objects Accounting Vibration. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 317–322. <https://doi.org/10.1109/khpiweek53812.2021.9570091>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324793

DETERMINATION OF THE RANGE OF ANGULAR VELOCITIES OF THE AUTO-BALANCING MODE FOR A VERTICAL ROTOR SYSTEM WITH A LEBLANC-TYPE BALANCER (p. 66–75)

Iлона Drach

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0590-9814>

Oleksandr Dykha

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

Serhii Matiukh

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9899-109X>

Maksym Dykha

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6075-1549>

Automatic balancing devices (ABDs) of the Leblanc type – passive ABDs of the liquid type – are used in rotary machines to reduce their vibration level when the distribution of masses around the geometric axis of rotation changes during machine operation or during its restart. To redistribute the masses during balancing, the movement of the working (correcting) liquid in the direction opposite to the imbalance is used. The object of this study is the motion modes (qualitative states) of the working liquid in the chamber of the balancing device for the vertical rotor system. The study is aimed at substantiating the existence of the auto-balancing mode at subcritical angular velocities of the rotor system and investigating its conditions and features. This paper reports the results of modeling the motion modes of the working liquid in the cylindrical chamber of the Leblanc ABP at a subcritical range of rotation speeds taking into account the vector relationships of the force factors depending on the design parameters of the auto-balancing device, the volume of the working fluid, and the shape of its free surface. Estimates of the angular velocities of switching on the working liquid under the rotational motion and under the auto-balancing mode have been analytically and experimentally substantiated, constituting, respectively, 1/3 and 1/2 of the critical angular velocities of the rotor system. For the practice of balancing an elastically deformable rotor and a rotor on elastic supports, the results of the study expand the range of rotation speeds where the balancing of the imbalance by the liquid and the reduction of the amplitudes of vibration processes are observed. This could help increase the service life, reliability, and accuracy of the technological process of machines

with variable rotor imbalance by monitoring their vibration resistance through the use of liquid ABDs.

Keywords: passive auto-balancing, Leblanc-type device, vertical rotor, auto-balancing mode.

References

- Pan, X., Lu, J., Huo, J., Gao, J., Wu, H. (2020). A Review on Self-Recovery Regulation (SR) Technique for Unbalance Vibration of High-End Equipment. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 33 (1). <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00514-7>
- Osiński, Z. (Ed.) (2018). *Damping of Vibrations*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315140742>
- Ibraheem, A., Ghazaly, N., Abd el- Jaber, G. (2019). Review of Rotor Balancing Techniques. *American Journal of Industrial Engineering*, 6 (1), 19–25. Available at: <https://www.sciepub.com/ajie/abstract/11311>
- Li, L., Cao, S., Li, J., Nie, R., Hou, L. (2021). Review of Rotor Balancing Methods. *Machines*, 9 (5), 89. <https://doi.org/10.3390/machines9050089>
- Zhang, Z., Nielsen, S. R. K., Basu, B., Li, J. (2015). Nonlinear modeling of tuned liquid dampers (TLDs) in rotating wind turbine blades for damping edgewise vibrations. *Journal of Fluids and Structures*, 59, 252–269. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidstructs.2015.09.006>
- Cho, J.-S., Jeong, H.-Y., Kong, K.-C. (2014). Analysis of dynamic model of a top-loading laundry machine with a hydraulic balancer. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15 (8), 1615–1623. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0511-x>
- Filimonikhin, G., Filimonikhina, I., Dumenko, K., Pirogov, V. (2017). Methods of balancing of an axisymmetric flexible rotor by passive auto-balancers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 22–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101832>
- LeBlanc, M. (1912). Pat. No. US1209730A. Automatic Balancer for Rotating Bodies. Available at: <https://patents.google.com/patent/US1209730A/en>
- Narkhede, C. N., Dhande, K. K. (2016). Review on vibration reduction of a vertical axis drum based washing machine. *IJARIE*, 2 (3), 3842–3847. Available at: <https://typeset.io/pdf/review-on-vibration-reduction-of-a-vertical-axis-drum-based-3lswicxnch.pdf>
- Nilawar, S. G., Yerrawar, R. N. (2023). Numerical modeling of semi-automatic washing machine motion model. *International Scientific Session on Applied Mechanics XI: Proceedings of the 11th International Conference on Applied Mechanics*, 2949, 020032. <https://doi.org/10.1063/5.0168215>
- Lozynskiy, V., Shihab, T., Drach, I., Ropyak, L. (2024). The Inertial Disturbances of Fluid Movement in the Chamber of a Liquid Autobalancer. *Machines*, 12 (1), 39. <https://doi.org/10.3390/machines12010039>
- Spannan, L., Daniel, C., Woschke, E., Strackeljan, J. (2016). An evaluation of computational methods to specify the effects of liquid balancers. *Proceedings of vibrations in rotating machinery – VIRM 11*, 785–791. Available at: https://www.ifme.ovgu.de/ifme_media/DY/pdf/Veroeffentlichungen/2016/VIRM_paper_Spannan_final-p-2126.pdf
- Majewski, T., Ahearn, G. A. (2019). Extended Model of Automatic Balancer for Washing Machine. *Advances in Mechanism and Machine Science*, 3197–3206. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_315
- Chen, H.-W., Zhang, Q.-J., Fan, S.-Y. (2011). Study on steady-state response of a vertical axis automatic washing machine with a hydraulic balancer using a new approach and a method for getting a smaller deflection angle. *Journal of Sound and Vibration*, 330 (9), 2017–2030. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.11.006>
- Haifei, W., Tian, Z., Guo, C. (2023). Boundary-value-problem examination of the stability of a symmetrical rotor partially filled with a viscous incompressible fluid. *Physics of Fluids*, 35 (4). <https://doi.org/10.1063/5.0147073>
- Langthjem, M. A., Imura, M., Yamaguchi, K. (2023). The unbalanced rotating cylinder partially filled with fluid; multiple scales analysis of a forced Korteweg–de Vries–Burgers equation. *Journal of Engineering Mathematics*, 140 (1). <https://doi.org/10.1007/s10665-023-10259-6>
- Cunico, M. W. M. (2015). Characterization and Modelling of LeBlanc Hydrodynamic Stabilizer: A Novel Approach for Steady and Transient State Models. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2015, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2015/729582>
- Urbiola-Soto, L., Lopez-Parra, M. (2013). Liquid Self-Balancing Device Effects on Flexible Rotor Stability. *Shock and Vibration*, 20 (1), 109–121. <https://doi.org/10.1155/2013/742163>
- Drach, I., Bubulis, A., Mažeika, D., Kandrotaitė Janutienė, R., Juodvalkis, D. (2018). Investigation of Small Motions of Liquid in Cylindrical Chamber of Auto-Balancing Device. *Mechanics*, 24 (2). <https://doi.org/10.5755/j01.mech.24.2.20402>
- Drach, I., Royzman, V., Bubulis, A., Juzėnas, K. (2021). Passive Balancing of the Rotor with an Auto-Balancing Device with a Viscous Incompressible Liquid. *Mechanics*, 27 (1), 45–51. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.23789>
- Royzman, V., Drach, I., Tkachuk, V., Pilkauskas, K., Čižauskas, G., Šulginas, A. (2019). Operation of Passive Fluid Self-Balancing Device at Resonance Transition Regime. *Mechanics*, 24 (6). <https://doi.org/10.5755/j01.mech.24.6.22469>
- Royzman, V., Drach, I., Bubulis, A. (2016). Movement of Working Fluid in the Field of Centrifugal Forces and Forces of Weight. *Proceedings of 21th international scientific conference, MECHAN- IKA 2016*, 222–224. Available at: <https://elar.khmnu.edu.ua/items/73746ee0-fe74-46ad-98e4-641332f31c6e>
- Dykha, A. V., Kuzmenko, A. G. (2016). Distribution of friction tangential stresses in the Courtney-Pratt experiment under Bowden's theory. *Journal of Friction and Wear*, 37 (4), 315–319. <https://doi.org/10.3103/s1068366616040061>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327663

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMIC LOADS IN A JIB SELF-PROPELLED CRANE WHEN PULLING A SHEET PILE OUT OF THE GROUND (p. 76–86)

Andrii Chervonoshtan

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3458-0034>

Mykola Kolisnyk

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6228-0939>

Oleksandr Golubchenko

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2971-1263>

Andrii Shevchenko

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6926-3365>

Volodymyr Panteleenko

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5651-8616>

The object of this study is the process of extracting sheet piles from the ground using a jib self-propelled crane for their repeated use. The task addressed was the extraction of steel sheet piles by a jib self-propelled crane, its interaction with the vibratory pile driver, and the determination of dynamic loads.

The vibratory method significantly increases extraction efficiency; however, it also induces vibrational impacts on the crane, causing alternating stresses in the metal structure. This could lead to fatigue damage accumulation, cracks in weld seams, failure of base metal, and a decrease in the service life of the self-propelled crane. Furthermore, vibration negatively affects the working conditions of crane operators by causing fatigue, reducing performance, and compromising safety.

Mathematical modeling methods were used, with the construction of calculation schemes that reflect all stages of sheet pile extraction: preliminary insertion, taking up slack in the lifting system, tensioning the lifting ropes, extraction with vibration over 2/3 of the pile's length, and final extraction without vibration.

Numerical modeling has shown that during static extraction, the dynamic coefficient may reach 4.76, while with vibration it decreases to 1.47. This confirms the effectiveness of the vibratory method, provided its adverse effects on the crane are minimized. The results could be applied to improve crane design, devise protective measures against vibration, and enhance operational efficiency and safety. Additionally, the findings could become a basis for optimizing the parameters of elastic ties and the interaction scheme between the crane and the ground, thereby expanding the potential for model's practical application under more complex conditions.

Keywords: vibratory pile driver, dynamic coefficient, loads in elastic ties, friction force, sheet pile.

References

1. Yakymenko, O. V. (2020). Suchasni metody vlashtuvannia pal ta shpuntovykh obhorodzen. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beke-tova, 119. Available at: https://eprints.kname.edu.ua/55313/1/2019_ПЕЧ_2%20Н%20пальові%20роботи.pdf
2. Chen, F., Li, X., Zhao, H., Hu, P. (2024). Analysis of Soil Response during High-Frequency Vibratory Steel Pipe Pile Driving in Soft Soil. *Advances in Civil Engineering*, 2024 (1). <https://doi.org/10.1155/2024/4223470>
3. Massarsch, K. R., Fellenius, B. H., Bodare, A. (2017). Fundamentals of the vibratory driving of piles and sheet piles. *Geotechnik*, 40 (2), 126–141. <https://doi.org/10.1002/gete.201600018>
4. Rainer Massarsch, K., Wersäll, C., Fellenius, B. H. (2022). Vibratory driving of piles and sheet piles – state of practice. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 175 (1), 31–48. <https://doi.org/10.1680/jgeen.20.00127>
5. Khmara, L. A., Kolisnyk, M. P., Shevchenko, A. F., Holubchenko, O. I., Malich, M. H. (2015). *Budivelni krany (konstruktsiyi, tekhnichni kharakterystyky, marky, vybir ta ekspluatatsiya)*. Dnipropetrovsk: IMA-pres, 356.
6. Shevchenko, A. F., Kolisnyk, M. P., Chervonoshtan, A. L. (2013). *Vibrozhyst strilovoho samokhidnoho krana z vibratsiynym tekhnolo-hichnym obladnanniam na haku*. «Problemy rozvytku dorozhnoho-transportu i budivelnoho kompleksiv»: Zbirnyk statei i tez mizh nar. Nauk.-prakt. konf. Kirovohrad, PP. «Ekskliuzyv-System», 148–151.
7. Kolisnyk, M. P., Shevchenko, A. F., Raksha, S. V., Melashych, V. V. (2015). *Rozrakhunky budivelnykh strilovykh kraniv*. Dnipropetrovsk: Porohy, 816.
8. Chervonoshtan, A. L., Kolisnyk, M. P., Shevchenko, A. F. (2022). Structures of dynamic and mathematical models of self-propelled jib cranes under different external disturbances for compiling computerized programs. *Pidiomno-transportna tekhnika*, 1 (67), 63–77. Available at: https://ptt-journals.net/article/piddt_2022_1_67_6/
9. Shevchenko, A. F., Kolesnik, M. P. (2002). *Dinamicheskie modeli gruzopodieemnykh kranov s navesnym vibratsionnym tekhnologicheskim oborudovaniem*. *Pidiomno-transportna tekhnika*, 1-2, 93–100.
10. Zhan, J., Li, M., Chen, J., Wang, W. (2023). Numerical investigation of soil dynamic response during high-frequency vibratory pile driving in saturated soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 173, 108148. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108148>
11. Staubach, P., Machacek, J., Skowronek, J., Wichtmann, T. (2021). Vibratory pile driving in water-saturated sand: Back-analysis of model tests using a hydro-mechanically coupled CEL method. *Soils and Foundations*, 61 (1), 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.11.005>
12. Gómez, S. S., Tsetas, A., Meijers, P. C., Metrikine, A. V. (2025). Experimental investigation of frequency-amplitude decoupling in axial-torsional vibratory pile driving by means of laboratory-scale testing. *Ocean Engineering*, 316, 119788. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119788>
13. Holeyman, A., Whenham, V. (2017). Critical Review of the Hypervib1 Model to Assess Pile Vibro-Drivability. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35 (5), 1933–1951. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0218-8>
14. Machacek, J., Staubach, P., Tafili, M., Zachert, H., Wichtmann, T. (2021). Investigation of three sophisticated constitutive soil models: From numerical formulations to element tests and the analysis of vibratory pile driving tests. *Computers and Geotechnics*, 138, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104276>
15. Fang, L., Brown, M., Davidson, C., Wang, W., Sharif, Y. (2024). A 1g model experimental study on the effects of installation parameters on vibratory driving performance of monopoles. 5 th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics. Available at: <https://www.issmge.org/uploads/publications/53/125/ECPMG2024-103.pdf>
16. Bhaskar, A., Kreiter, S., Al-Sammarraie, D., Mörz, T. (2022). Effect of dynamic pile driving parameters on vibratory penetration. *Cone Penetration Testing 2022*, 825–831. <https://doi.org/10.1201/9781003308829-122>
17. Warrington, D. C. (2024). Analysis of Vibratory Pile Drivers using Longitudinal and Rotational Oscillations with a Purely Plastic Soil Model. *UTC Spring Research and Arts Conference Proceedings 2024*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18572.08320>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323561

СПОСІБ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СИМЕТРІЇ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПРО КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ ДИСКІВ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ (с. 6–14)

К. О. Трапезон, О. Г. Трапезон

Об'єктом дослідження є диск змінної товщини. Розшукувався розв'язок задачі про власні крутильні коливання дисків змінної товщини. Побудовано алгоритм розв'язку задачі для довільної кількості різноманітних профілів диску. Розглянуто закон зміни товщини диска $H(\rho)$, який містить у своєму складі три довільні сталі α , C , C_1 . Вибір конфігурації профілю диску контролюється шляхом зміни значень цих трьох сталих.

Відомі точні розв'язки задачі в елементарних функціях лише у двох випадках, коли $H(\rho)=1/\rho^3$ або $H(\rho)=\rho^{-3}e^{\alpha\rho}$, де ρ – відносна радіальна координата, α – довільна стала. Цих випадків недостатньо для узагальнюючих висновків про поведінку дисків при їх коливаннях.

Для випадку жорсткого закріплення диска по внутрішньому діаметру та з вільним зовнішнім краєм отримано відповідні співвідношення. Вони дозволили обчислити власні числа, вивчити розподіл кутових переміщень диску. Наведені числові параметри, поряд з частотними показниками, є зручним засобом для оцінки резонансних властивостей диска для практики.

Проведено порівняння крутильних та радіальних коливань диску з обраним законом зміни товщини. Для вивчення крутильних коливань використано підходи апроксимації функцій зміни товщини. Виявилось, що відносна розбіжність значень цих функцій на визначеному інтервалі не перевищує величини у 2,2 %. Отримано, що розходження власних частот крутильних коливань для диска обраної конфігурації суттєво менші, ніж у випадку радіальних коливань.

Наведено практичний алгоритм застосування використаного методу, який може бути корисний для подальших досліджень на основі подібних аналітичних підходів.

Метод дозволяє вибрати потрібну конфігурацію диска для різних практичних цілей. Завдяки такій можливості можна забезпечити для диску необхідний розподіл циклічних напружень, резонансних частот та амплітуд.

Ключові слова: диференціальне рівняння, диск змінної товщини, крутильні коливання, власні частоти, метод симетрії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325519

ВИЯВЛЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ (с. 15–22)

А. О. Ловська, Nurlana Karimova

Об'єктом дослідження є процеси сприйняття та перерозподілу навантажень в конструкції контейнера для перевезень зернових при експлуатаційних режимах. При цьому вирішувалась проблема забезпеченості залізничної галузі транспортними засобами для перевезень зернових шляхом модернізації універсальних контейнерів.

Для модернізації універсального контейнера до перевезень зернових у якості прототипу обрано контейнер типорозміру 1СС. З метою адаптації даного контейнера до перевезень зернових пропонується встановлення на даху трьох завантажувальних люків стандартного діаметру. Передбачається створення в торцевій стіні за висотою 1/3 від нижнього обв'язування розвантажувального люка. Для обґрунтування запропонованого рішення проведено розрахунок на міцність контейнера при таких схемах його навантажень: перевезення контейнера у складі залізничного поїзда; підйом за верхні кутові фітинги; розвантаження контейнера. Результати розрахунку показали, що міцність контейнера при всіх розглянутих схемах навантажень забезпечується.

Особливістю отриманих результатів є те, що забезпечення залізничної галузі транспортними засобами для перевезень зернових досягається не шляхом створення їх нових конструкцій, а модернізацією існуючих.

Сферою практичного застосування результатів дослідження є залізничний транспорт. Умовами практичного використання результатів є застосування низьколегованої сталі для створення складових конструкції контейнера.

Результати проведеного дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо модернізацій та проектування конструкцій контейнерів, а також підвищенню ефективності контейнерних перевезень, в тому числі, і в міжнародному сполученні.

Ключові слова: залізничний транспорт, контейнер, модернізація контейнера, навантаженість контейнера, міцність контейнера, контейнерні перевезення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326219

РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ РОЗРАХУНКУ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ ЕЛАСТОМЕРІВ НА ОСНОВІ МОВИ OPEN MODELING LANGUAGE (с. 23–32)

В. В. Лаврик, І. Т. Богданов, Г. М. Алексеєва, О. В. Антоненко, О. С. Овсянніков

Об'єктом дослідження є напружено-деформований стан еластомерних конструкцій. При вирішенні практичних завдань механіки еластомерів постає проблема вибору ефективної розрахункової схеми, що базується на методах обчислювальної математики. Однак через недостатню кількість досліджень складно оцінити оптимальність тієї чи іншої методики, що обумовлює необхідність аналізу обчислювальних алгоритмів із подальшим порівнянням їх переваг і недоліків.

При проектуванні еластомерних конструкцій актуальною є проблема чисельного аналізу їх напружено-деформованого стану. Однією з ключових характеристик є стисливість матеріалу, яку рівняння для нестисливих середовищ не враховують. У тонкошарових гумових елементах цей ефект стає більш вираженим із зростанням відношення одного з геометричних розмірів до товщини конструкції.

Використання методу скінченних елементів у переміщеннях, попри його зручність, стикається з обчислювальними похибками. При наближенні коефіцієнта Пуассона до 0,5 виникають чисельні нестабільності, що ускладнює отримання достовірних розрахункових результатів.

У роботі запропоновано новий підхід до організації обчислювальних схем у спеціалізованих автоматизованих системах проектування, що забезпечує точніше моделювання напружено-деформованого стану конструкцій. Основою є використання Open Modeling Language, що спрощує опис задач механіки та відповідних чисельних схем у межах єдиного варіаційного підходу.

Ключовим результатом є отримання універсальних формул для визначення потенційної енергії системи на основі моментної схеми скінченних елементів. Запропонований підхід усуває ефект «помилкового зсуву» та підвищує точність чисельних розрахунків слабокомпресійних матеріалів, що підтверджується чисельним аналізом та експериментальними даними.

Ключові слова: моментна схема скінченних елементів, варіаційний принцип Лагранжа, математична модель еластомерних конструкцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327557

ОЦІНКА ПРОГИНІВ БАЛОК ІЗ ПЕРФОРОВАНОЮ СТІНКОЮ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ SOLIDWORKS SIMULATION (с. 33–40)

П. Р. Русин, І. Д. Пелешко, В. В. Юрченко

Об'єктом дослідження є балка із перфорованою стінкою, в якій отвори у стінці мають форму правильного шестикутника. Балка досліджується на предмет оцінки прогинів. На основі комплексу експериментальних досліджень виявлено особливості напружено-деформованого стану балок із перфорованою стінкою. Визначено необхідність врахування збільшених прогинів балок із перфорованою стінкою за рахунок наявних у стінці балки отворів при обчисленні прогинів балок із перфорованою стінкою у перевірках за другою групою граничних станів. Виконано порівняльний аналіз прогинів, отриманих в результаті виконання числового експерименту, із прогинами балок, визначеними за методикою норм. Встановлено, що при перевірках розрахунках балок із перфорованою стінкою за другою групою граничних станів похибка в оцінці прогинів однопрольотної шарнірно-обпертої балки, навантаженої рівномірно розподіленим поперечним навантаженням, в деяких випадках досягає 20 %. Розроблені рекомендації щодо оцінки прогинів балок із перфорованою стінкою. Відповідно до пропонування рекомендацій похибка при оцінці прогинів балок не перевищує 3 % для діапазону відношення прольоту балки до загальної висоти її поперечного перерізу $8,5 < L/h < 25$. Отримані результати справедливі лише для сортаменту двотаврових профілів і лише для випадку дії на балку рівномірно-розподіленого навантаження при розкритті стиснутого пояса балки із площини згину та перфорації стінки балки отворами у вигляді правильних шестикутників. Саме за таких умов отримані результати можуть бути впроваджені на практиці як на етапі підбору поперечних перерізів досліджуваного класу конструкцій, так і при розробці ефективних сортаментів балок із перфорованою стінкою.

Ключові слова: балка з перфорованою стінкою, шестикутні отвори, прогини, скінченно-елементний аналіз, SOLIDWORKS Simulation.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326379

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НЕСТАЦІОНАРНОГО ЛАМІНАРНОГО ПОТОКУ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ НА ВХІДНІЙ ДІЛЯНКІ ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНОГО ПОТОКУ ПІД ТИСКОМ (с. 41–49)

Arestak Sarukhanyan, Garnik Vermishyan, Hovhannes Kelejian, Pargev Baljyan

Предметом дослідження є вхідна область плоскопаралельного потоку під тиском. У цьому дослідженні досліджено закономірності зміни гідродинамічної впускної області при нестационарному плоскопаралельному потоці в'язкої рідини під тиском. На основі рівняння пограничного шару та характеристик потоку визначено граничні умови задачі та сформульовано крайову задачу. Встановлено граничні умови задачі та розроблено крайову задачу на основі рівняння прикордонного шару та характеристик потоку. Щоб знайти закономірності зміни швидкості в часі та по довжині вхідної області за загальних граничних умов, був створений метод інтегрування граничних умов. Рішення для сценаріїв зі постійним і параболическим розподілом швидкостей у вхідній області були отримані із загальних рішень. Встановлено закономірності зміни тиску і швидкості по всій гідродинамічній області входу.

За допомогою комп'ютерного аналізу будуються графіки зміни швидкості в часі в різних точках по всій довжині вхідної області. Закономірності розподілу швидкості по всій довжині вхідної області в залежності від часу можна побачити за допомогою графіків. Це дозволяє оцінити довжину гідродинамічної вхідної області та розрахувати швидкість потоку рідини в будь-якій точці цієї області. Отримані результати дозволяють розкрити сутність процесів, що протікають у перехідних ділянках гідропневматичної системи автоматизації. На основі виявлених закономірностей гідродинамічних параметрів в'язкої нестисливої рідини при нестационарних потоках можна правильно спроектувати канали вузлів регулювання автоматичних систем, що забезпечують їх безперебійну та точну роботу.

Ключові слова: плоскопаралельний потік, впускний переріз, нестационарний потік, в'язка рідина, розподіл швидкостей.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324960

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ГІРОСКОПУ (с. 50–65)

Д. В. Бреславський, В. Б. Успенський, В. О. Метельов, А. В. Сенько, О. А. Татарінова

Об'єктом дослідження є похибки вимірювань волоконно-оптичного гіроскопу, який є елементом системи управління орієнтацією космічного апарату. Вирішувалась проблема визначення закономірностей впливу термомеханічних навантажень на похибки

вимірювань гіроскопів за допомогою математичного моделювання. Дослідження проведено з використанням методу скінченних елементів, що дозволило проаналізувати напружено-деформований стан конструктивних елементів у різних умовах температурних і механічних навантажень. Були отримані розподіли температур і деформацій конструктивних елементів космічного апарату. Ці дані використано для оцінки параметрів неспіввідносності осей чутливості гіроскопів бортової системи, що виникають через деформації конструкції. У певних умовах моделювання вони перевищують сто кутових секунд, що може привести до неприпустимої похибки при управлінні орієнтацією космічного апарату.

Для конкретизації величини похибки вимірювань гіроскопів разом з тепловими деформаціями конструкції розглянуто високочастотні коливання, які виникають при вмиканні реактивного двигуна під час корекції орбіти космічного апарату. Таке сполучення теплових і механічних впливів створює умови, за яких точність роботи систем управління суттєво знижується. Визначено, що в досліджуваних умовах похибка вимірювання збільшується у 8 разів при зміні температури конструкції на 40 °С. Таким чином, задля вирішення поставленої проблеми розроблено та описано процедуру визначення похибки вимірювань в конкретних умовах термомеханічних навантажень. Використання такої процедури при проектуванні систем управління у майбутньому сприятиме підвищенню точності їхньої роботи. Це досягатиметься шляхом оптимального розміщення гіроскопів на борту з урахуванням впливу теплових полів.

Ключові слова: термомеханічне деформування, метод скінченних елементів, неспіввідність волоконно-оптичного гіроскопу, похибки вимірювань.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.324793

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ АВТОБАЛАНСУВАЛЬНОГО РЕЖИМУ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РОТОРНОЇ СИСТЕМИ З БАЛАНСИРОМ ТИПУ LEBLANC (с. 66–75)

І. В. Драч, О. В. Диха, С. А. Матюх, М. О. Диха

Автобалансувальні пристрої (АБП) типу Leblanc – пасивні АБП рідинного типу – знаходять застосування в роторних машинах для зниження рівня їх вібрації, коли розподіл мас навколо геометричної осі обертання змінюється під час роботи машини або щоразу при її повторному запуску. Для перерозподілу мас при балансуванні використовується рух робочої (коригувальної) рідини в напрямку, протилежному до дисбалансу. Об'єктом дослідження є режими руху (якісні стани) робочої рідини в камері балансувального пристрою для вертикальної роторної системи. Дослідження спрямоване на обґрунтування існування автобалансувального режиму на докритичних швидкостях руху роторної системи та має на меті дослідити його умови й особливості. У роботі подано результати моделювання режимів руху робочої рідини в циліндричній камері АБП Leblanc на докритичному діапазоні швидкостей обертання з огляду на векторні співвідношення силових чинників залежно від конструктивних параметрів автобалансувального пристрою, об'єму робочої рідини і форми її вільної поверхні. Аналітично й експериментально обґрунтовано оцінки кутових швидкостей включення робочої рідини в обертотворний рух і в автобалансувальний режим, які становлять, відповідно, 1/3 і 1/2 від критичної швидкості руху роторної системи. Для практики балансування пружно-деформівного ротора, ротора на пружних опорах результати дослідження розширюють діапазон швидкостей обертання, де спостерігається зрівноваження дисбалансу рідиною і зменшення амплітуд вібраційних процесів. Це сприятиме підвищенню експлуатаційного ресурсу, надійності та точності виконання технологічного процесу машин зі змінним дисбалансом ротора за рахунок контролю їх вібростійкості через застосування рідинних АБП.

Ключові слова: пасивне автобалансування, пристрій типу Leblanc, вертикальний ротор, автобалансувальний режим.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327663

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У СТІЛОВОМУ САМОХІДНОМУ КРАНІ ПРИ ВИТЯГАННІ ШПУНТОВОЇ ПАЛІ З ҐРУНТУ (с. 76–86)

А. Л. Червоноштан, М. П. Колісник, О. І. Голубченко, А. Ф. Шевченко, В. І. Пантелєєнко

Об'єктом дослідження є процес витягання шпунтових паль з ґрунту стріловим самохідним краном для їх подальшого повторного використання. Вирішувалась проблема, пов'язана з витягуванням сталених шпунтових паль з використанням стрілового самохідного крану, взаємодії його з віброзанурювачем і визначенням динамічних навантажень.

Вібраційний метод значно підвищує ефективність витягання, однак одночасно спричиняє вібраційне навантаження на стріловий кран, зумовлюючи виникнення знакозмінних зусиль у металоконструкціях. Це може призводити до накопичення втомних пошкоджень, появи тріщин у зварних швах, руйнування основного металу та скорочення строку служби крана. Крім того, вібрація негативно впливає на умови праці операторів крана – підвищує втомлюваність, знижує працездатність і рівень безпеки.

Використано методи математичного моделювання з побудовою розрахункових схем, які враховують усі етапи витягання шпунтової палі: попереднє занурення, вибір зазору у приводі, натяг канатів, витягання палі з вібрацією на 2/3 довжини та остаточне витягання без вібрації.

Чисельне моделювання показало, що при статичному витяганні шпунтової палі коефіцієнт динамічності може досягати 4,76, тоді як при застосуванні вібрації він знижується до 1,47. Це підтверджує ефективність вібраційного методу за умов мінімізації його впливу на кран. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкції кранів, розробки заходів захисту від вібрацій, підвищення ефективності та безпеки під час виконання будівельних робіт. Додатково результати можуть стати основою для подальшої оптимізації параметрів пружних зв'язків і схем взаємодії крана з ґрунтом, що розширює можливості практичного застосування моделі у складніших умовах.

Ключові слова: віброзанурювач, коефіцієнт динамічності, навантаження в пружних зв'язках, сила тертя, шпунтова палля.