

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304803

**OPTIMIZATION OF CROSS-SECTIONAL DIMENSIONS OF CASTELLATED BEAMS WITH HEXAGONAL OPENINGS (p. 6–16)****Vitalina Yurchenko**Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4513-809X>**Ivan Peleshko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7028-9653>**Pavlo Rusyn**National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1479-2244>

The object of this study is a castellated beam, in which the web openings have the shape of a regular hexagon. The beam is examined to find optimal cross-sectional dimensions. The optimization task is stated as the task of finding the optimal profile numbers for top and bottom Tees of the beam and the optimal width of the web opening while ensuring the required load-carrying capacity of the beam. Minimization of the volume of the beam material was considered as an optimality criterion. The stated optimization problem was solved using the exhaustive search method. For an assortment of normal I-beams with parallel flanges, castellated beams were obtained with optimal cross-sectional dimensions depending on the steel grade, the beam span, and the magnitude of transverse uniformly distributed load. The optimization calculations proved that it was possible to increase the elastic section modulus of the beam to 35.48...50 % through the use of a castellated web. Castellated beams with optimal cross-sectional dimensions at the same load-carrying capacity are characterized by lower steel consumption (up to 23.19 %) compared to I-beams with a solid web. Analysis of the results has made it possible to devise recommendations for the optimal distribution of material in the cross-sections of such beams. The results are valid only for the assortment of normal I-beam profiles and only for the case of uniformly distributed load acting on the beam when the compressed beam flange is laterally restrained from the bending plane and the beam web has openings in the form of regular hexagons. It is under such conditions that the reported results can be implemented in practice both at the stage of selecting cross-sections of the studied class of structures, and at the development of effective assortments of castellated beams.

**Keywords:** castellated beam, hexagonal openings, optimal design, mixed variables, exhaustive search.

**References**

- 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>
- 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>
- Mahdi, A. S., Alshimmeri, A. J. H. (2023). Analytical study of castellated steel beams with and without strengthening web. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0171338>
- Yurchenko, V., Peleshko, I. (2021). Methodology for solving parametric optimization problems of steel structures. *Magazine of Civil Engineering*, 7 (107). <https://doi.org/10.34910/MCE.107.5>
- Poul, S., Mote, P. S. (2022). Optimization for various parameters of castellated beam containing sinusoidal openings. *Journal of emerging technologies and innovative research*, 9 (2), a253–a258. Available at: <https://www.ijert.org/research/optimization-of-various-parameters-of-castellated-beam-containing-sinusoidal-openings-IJERT-V10IS060008.pdf>
- Kurlapkar, R., Patil, A. (2021). Optimization of various parameters of castellated beam containing sinusoidal openings. *International journal of engineering research & technology*, 10 (06), 120–123. Available at: <https://www.ijert.org/research/optimization-of-various-parameters-of-castellated-beam-containing-sinusoidal-openings-IJERTV10IS060008.pdf>
- Budi, L., Sukamta, Partono, W. (2017). Optimization Analysis of Size and Distance of Hexagonal Hole in Castellated Steel Beams. *Procedia Engineering*, 171, 1092–1099. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.465>
- Kaveh, A., Almasi, P., Khodaghali, A. (2022). Optimum Design of Castellated Beams Using Four Recently Developed Meta-heuristic Algorithms. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47 (2), 713–725. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00884-z>
- Yang, X. (2010). *Engineering Optimization*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470640425>
- Kaveh, A., Kaveh, A., Shokohi, F. (2016). A hybrid optimization algorithm for the optimal design of laterally-supported castellated beams. *Scientia Iranica*, 23 (2), 508–519. <https://doi.org/10.24200/sci.2016.2135>
- 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>
- Erdal, F., Doğan, E., Saka, M. P. (2011). Optimum design of cellular beams using harmony search and particle swarm optimizers. *Journal of Constructional Steel Research*, 67 (2), 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2010.07.014>
- Sorkhabi, R. V., Naseri, A., Naseri, M. (2014). Optimization of the Castellated Beams by Particle Swarm Algorithms Method. *APCBEE Procedia*, 9, 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.apcb.2014.01.067>
- Kaveh, A. (2014). Cost optimization of castellated beams using charged system search algorithm. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 38 (C1+), 235–249. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/266933455\\_Cost\\_optimization\\_of\\_castellated\\_beams\\_using\\_charged\\_system\\_search\\_algorithm#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/266933455_Cost_optimization_of_castellated_beams_using_charged_system_search_algorithm#fullTextFileContent)
- Kaveh, A., Shokohi, F. (2016). Application of grey wolf optimizer in design of castellated beams. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 17 (5), 683–700. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/287865960\\_Application\\_of\\_Grey\\_Wolf\\_Optimizer\\_in\\_design\\_of\\_castellated\\_beams#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/287865960_Application_of_Grey_Wolf_Optimizer_in_design_of_castellated_beams#fullTextFileContent)
- Permyakov, V. O., Yurchenko, V. V., Peleshko, I. D. (2006). An optimum structural computer-aided design using hybrid genetic algorithm. *Proceeding of the International Conference “Progress in Steel, Composite and Aluminium Structures”*, 819–826. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/318040068\\_An\\_op](https://www.researchgate.net/publication/318040068_An_op)

timum\_structural\_computer-aided\_design\_using\_hybrid\_genetic\_algorithm#fullTextFileContent

17. Tanady, K., Suryatmono, B. (2024). Numerical Study of Behavior of Castellated Beam under Cyclic Loading. *Civil Engineering and Architecture*, 12 (1), 185–202. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120116>
18. 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>
19. 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>
20. Elaiwi, S. S., Kim, B., Li, L. (2019). Linear and Nonlinear Buckling Analysis of Castellated Beams. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 8 (2), 83–93. <https://doi.org/10.18178/ijscer.8.2.83-93>
21. 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>
22. Yurchenko, V. V., Peleshko, I. D., Biliaiev, N. (2021). Application of improved gradient projection method to parametric optimization of steel lattice portal frame. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1164 (1), 012090. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1164/1/012090>
23. 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. <https://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2022.04.0382>
24. 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\\_Conistency\\_and\\_contradictions](https://www.researchgate.net/publication/266038627_Designing_bolted_end-plate_connections_in_compliance_with_eurocode_and_ukrainian_codes_Conistency_and_contradictions)
25. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303987

#### IDENTIFYING PATTERNS IN LOADING A GONDOLA CAR BODY WITH REINFORCING BELTS IN THE STRUCTURE OF SIDE WALLS (p. 17–25)

**Alyona Lovska**

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

**Oleksandr Stanovskiy**

Odesa Polytechnic National University,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5824-3829>

**Oksana Zharova**

Odesa Polytechnic National University,  
Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0106-1716>

**Yevheniia Naumenko**

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6963-3995>

**Yevhen Pelypenko**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8988-791X>

The object of this study is the processes of occurrence, perception, and redistribution of loads in the body of a gondola car with reinforcing belts in the structure of side walls.

In order to improve the strength of side walls of the gondola car body, it is proposed to strengthen them with additional belts. At the same time, it is reinforced with diagonal belts in three sections of the body on the side of the consoles, and in the middle section, 1/3 of the height from the lower strapping, with a horizontal belt. To determine the parameters for the execution of profiles in the reinforcing belts, the calculation of the gondola car body as a rod system was carried out. Based on the resulting values of bending moments, the moment of resistance of the cross-section of the profiles of the reinforcing belts was determined. The calculation of the strength of the body of the gondola car under the main modes of its loads in operation (I and III calculation modes) was carried out. It was found that the resulting stresses were 10.3 % lower than those occurring in a typical design of a gondola car body. The movement of the gondola car in the empty and loaded states was evaluated.

A feature of the reported research results is that the improvement of the strength of the side walls of the gondola car body is achieved by increasing the rigidity of its frame.

The field of practical use of the results is the engineering industry, in particular, railroad transport. The conditions for the practical application of results are the symmetrical distribution of reinforcing belts along the length of the gondola car body.

This study results may contribute to improving the durability of gondola car bodies in operation, and accordingly to reducing costs for unscheduled repairs. Also, the findings could prove useful for designing modern structures of railroad cars.

**Keywords:** transport mechanics, gondola car improvement, gondola car frame, body load, body strength.

#### References

1. 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>
2. Dižo, J. (2016). Analysis of a Goods Wagon Running on a Railway Test Track. *Manufacturing Technology*, 16 (4), 667–672. <https://doi.org/10.21062/ujep/x.2016/a/1213-2489/mt/16/4/667>
3. 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>
4. Li, J., Pang, Z., Liu, X., Niu, N., Zhang, B. (2024). A Study on a Solution for Standardization Work for the Sustainable Development of Railway Enterprises. *Sustainability*, 16 (6), 2564. <https://doi.org/10.3390/su16062564>
5. Sharma, V., Zivic, F., Adamovic, D., Ljusic, P., Kotorcevic, N., Slavkovic, V., Grujovic, N. (2022). Multi-Criteria Decision Making Methods for Selection of Lightweight Material for Railway Vehicles. *Materials*, 16 (1), 368. <https://doi.org/10.3390/ma16010368>
6. Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., Rybin, A., Nerubatskiy, V., Hordienko, D. (2023). Determining patterns in loading the body

- of a gondola with side wall cladding made from corrugated sheets under operating modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (122)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275547>
7. Kondratiev, A., Pištěk, V., Smovziuk, L., Shevtsova, M., Fomina, A., Kučera, P. (2021). Stress–Strain Behaviour of Repairable Composite Panel with Step-Variable Thickness. *Polymers*, 13 (21), 3830. <https://doi.org/10.3390/polym13213830>
  8. Dveirin, O. Z., Andreev, O. V., Kondrat'ev, A. V., Haidachuk, V. Ye. (2021). Stressed State in the Vicinity of a Hole in Mechanical Joint of Composite Parts. *International Applied Mechanics*, 57 (2), 234–247. <https://doi.org/10.1007/s10778-021-01076-4>
  9. 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>
  10. Praviilonis, T., Sokolovskij, E. (2020). Analysis of composite material properties and their possibilities to use them in bus frame construction. *Transport*, 35 (4), 368–378. <https://doi.org/10.3846/transport.2020.13018>
  11. Galimova, F., Khurmatov, Y., Abdulloev, M., Jumabekov, B., Sultonaliyev, D., Ergeshova, D. (2021). Modern Gondola with Lightweight Body. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1043–1050. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1\\_94](https://doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_94)
  12. Patrascu, A. I., Hadar, A., Pastrama, S. D. (2019). Structural Analysis of a Freight Wagon with Composite Walls. *Materiale Plastice*, 57 (2), 140–151. <https://doi.org/10.37358/mp.20.2.5360>
  13. Placzek, M., Wróbel, A., Olesiejuk, M. (2017). Modelling and arrangement of composite panels in modernized freight cars. *MATEC Web of Conferences*, 112, 06022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711206022>
  14. Panchenko, S., Gerlici, J., Lovska, A., Vatulia, G., Rybin, A. (2024). Determination of the transverse load of the box wagon body with sandwich panel walls. *15th International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive, and Railway Engineering And Technologies (BulTrans-2023)*. <https://doi.org/10.1063/5.0201453>
  15. Baier, A., Majzner, M. (2012). Application of feature based method in constructing innovative sheathing of railway wagons. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 52 (2), 91–98. Available at: <https://delibra.bg.polsl.pl/dlibra/doccontent?id=32231>
  16. Olmos Irikovich, Z., Rustam Vyacheslavovich, R., Mahmud Lafta, W., Yadgor Ozodovich, R. (2020). Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. *International Journal of Engineering & Technology*, 9 (2), 378–381. <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i2.30519>
  17. Liu, W., Zhang, L., Bi, C., Huo, Y., Zhang, R., Wang, Z. (2022). The Anti-Fatigue Design of 80 t Depressed-Center Gondola Car Body. *Processes*, 10 (8), 1618. <https://doi.org/10.3390/pr10081618>
  18. Dovbush, T. A., Khomyk, N. I., Babii, A. V., Tson, H. B., Dovbush, A. D. (2022). Opir materialiv. *Ternopil: FOP Palianytsia V. A.*, 220. Available at: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/37778>
  19. Barabash, M. S., Soroka, M. M., Surianinov, M. H. (2018). *Neliniynna budivselna mekhanika z PK Lira – SAPR*. Odesa: Ekolohiya, 248.
  20. Dižo, J., Blatnický, M., Steišūnas, S., Skočilasová, B. (2018). Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. *MATEC Web of Conferences*, 157, 03004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703004>
  21. Lovskaya, A. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (75)), 9–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
  22. 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%20графіка.pdf>
  23. Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks*. Lutsk: Vezha, 172. Available at: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/Інженерна%20графіка%20в%20SolidWorks.pdf>
  24. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
  25. Bohach I. V., Krakovetskyi O. Yu., Kylyk L. V. (2020). *Chyselni metody rozviazання dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad*. Vinnytsia, 106. Available at: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach\\_2020\\_106.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf)
  26. Siasiev, A. V. (2004). *Vstup do systemy MathCad*. Dnipropetrovsk, 108. Available at: [https://static.klasnaocinka.com.ua/uploads/editor/8959/536928/sitepage\\_51/files/mathcad\\_sayt.pdf](https://static.klasnaocinka.com.ua/uploads/editor/8959/536928/sitepage_51/files/mathcad_sayt.pdf)
  27. 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>
  28. 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>
  29. Lovskaya, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (69)), 36–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
  30. Caban, J., Nieoczym, A., Gardyński, L. (2021). Strength analysis of a container semi-truck frame. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105487. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105487>
  31. Lovska, A. (2018). Simulation of Loads on the Carrying Structure of an Articulated Flat Car in Combined Transportation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 140. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306889

**IDENTIFYING THE EFFECT OF LOW-CYCLE FATIGUE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ON THE PROPERTIES OF THE REDUCING COEFFICIENT UNDER THE ACTION OF A SEISMIC TYPE LOAD (p. 26–37)**

**Mirken Abakanov**

Satbayev University, Almaty,  
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0662-7466>

**Izim Dyussebayev**

Yessenov University, Aktau,  
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8311-2861>

**Mermurat Nigmatov**

Yessenov University, Aktau,  
Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8075-8828>

The object of research is seismic design, and the subject of the study is the determination of the reduction coefficient. One of the important problems of earthquake-resistant design is to determine the effect of low-cycle fatigue of reinforced concrete on the reduction coefficient and determine its optimal value. This problem is not

disclosed and is not specifically taken into account in the standards for earthquake engineering when determining the maximum bearing capacity of types of structures due to the lack of study of the issue. To solve the problem, a series of experimental studies were carried out on low-cycle fatigue of reinforced concrete bending elements and frame units. The range of results of the reduction coefficient values and the degree of influence of monocyclic fatigue on the properties of the reduction coefficient are obtained.

A feature and characteristic of the results obtained is that the reduction coefficient  $R_{\mu}$  depends on the nature of the hysteresis deformation pattern and the plastic life of structural elements estimated by the plasticity coefficient  $\mu$ , which is significantly influenced by low-cycle fatigue manifested at peak accelerations of strong seismic impacts. The above test algorithm, the feature and characteristics of the results obtained made it possible to solve the problem under study.

The results obtained are accepted for practical use in the action of seismic loads: on the calculation of strength taking into account new low-cycle coefficients, reduction coefficients for determining the spectra of design reactions and seismic loads, taking into account energy absorption. New reduction coefficients are proposed for determining the spectra of calculated reactions and seismic loads.

**Keywords:** seismic resistance, reinforced concrete structures, low-cycle fatigue, reduction and ductility coefficients.

#### References

- EN 1998-1 (2004). (English): Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1998.1.2004.pdf>
- Newmark, N., Rosenbluet, E. (1980). Fundamentals of Earthquake-Resistant Construction. Moscow: Stroyizdat, 344.
- Borges, J. F., Ravara, A. (1978). Design of reinforced concrete structures for seismic areas. Moscow: Stroyizdat, 135.
- Polyakov, S. V. (1983). Earthquake-resistant structures of buildings. (Fundamentals of the theory of seismic resistance). Moscow: Higher School, 305.
- Baryshnikov, A. Ya., Shevchenko, B. N., Valovoy, A. I. (1985). Low cycle fatigue of concrete during compression. Beton and reinforced concrete, 4, 27–28.
- Stavrov, G. N., Rudenko, V. V., Fedoseev, A. A. (1985). Strength and deformation of concrete at repeated static loads. Concrete and reinforced concrete, 01, 133–134.
- Rudenko, V. V. (1980). Out-of-center loading of concrete and reinforced concrete elements with a small number of repeated loads. Proceedings of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture, 4, 12–13.
- Rudenko, V. V. (1981). Operation of non-centrally compressed elements. Concrete and reinforced concrete, 11, 5–6.
- Babich, E. M., Pogorelyak, A. P., Zalesov, A. S. (1981). Work of elements on transverse force with a few repeated loads. Concrete and reinforced concrete, 6, 8–9.
- Effects of repeated loading of materials and structures (1966). Proc. RILEM. Vol. I-IV. Mexico,
- Abakanov, M. S. (2013). Strength of reinforced concrete structures under low-cycle loads of seismic type. Earthquake-resistant construction. Safety of building structures, 05, 30–34.
- Abakanov, M. S. (2008). Low-cycle strength of nodes of two-branch reinforced concrete columns of one-story industrial buildings under loads of seismic type. Khabarshy-Bulletin of the Kazakh Head Academy of Architecture and Civil Engineering, 2 (28), 99–109.
- Gvozdev, A. A., Dmitriev, S. A., Gushcha, Yu. P., Zalesov, A. S., Mulin, N. M., Chistyakov, E. A. (1978). New in the design of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat, 204.
- Akbiyev, R. T., Abakanov, M. S. (2023). Operational assessment of the consequences of the devastating earthquake in Turkey (according to the official published data of the media and the global network). Geology and Environment, 3, 35–51. <https://doi.org/10.26516/2541-9641.2023.1.35>
- Chopra, A. K. (2005). Earthquake dynamics of structures: a primer. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute. Available at: [https://archive.org/details/earthquakedynami0000chop\\_ed02](https://archive.org/details/earthquakedynami0000chop_ed02)
- Newmark, N. M., Hall, W. J. (1982). Earthquake spectra and design. California. Available at: [https://tuxdoc.com/download/1982-newmark-amp-hall-eeri-earthquake-spectra-and-design-5\\_pdf](https://tuxdoc.com/download/1982-newmark-amp-hall-eeri-earthquake-spectra-and-design-5_pdf)
- Xie, L., Wu, J., Huang, Q. (2017). Experimental Study on Low-Cycle Fatigue Performance of Weld-Free Buckling-Restrained Braces. Journal of Earthquake Engineering, 22 (8), 1392–1414. <https://doi.org/10.1080/13632469.2017.1286622>
- Tong, C., Wu, J., Hua, K., Xie, L. (2020). Low-Cycle Fatigue Life Estimation Curve for Buckling-Restrained Braces Based on Cumulative Plastic Deformation. Journal of Earthquake Engineering, 26 (6), 2773–2801. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1772152>
- Bas, E. E., Moustafa, M. A., Pekcan, G. (2020). Compact Hybrid Simulation System: Validation and Applications for Braced Frames Seismic Testing. Journal of Earthquake Engineering, 26 (3), 1565–1594. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1733138>
- Sechi, G. J., Lopane, F. D., Hendriks, E. (2022). Mapping seismic risk awareness among construction stakeholders: The case of Iringa (Tanzania). International Journal of Disaster Risk Reduction, 82, 103299. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103299>
- Dong, H., Qin, J., Cao, W., Zhao, L. (2022). Seismic behavior of circular CFST columns with different internal constructions. Engineering Structures, 260, 114262. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114262>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304328

#### DETERMINING THE INFLUENCE OF WHEELSET ARRANGEMENT IN THE MODEL 18-100 BOGIES ON THE LEVEL OF STEERING EFFORTS IN THE WHEEL-RAIL FLANGE CONTACTS (p. 38–46)

**Evgen Zub**

State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6560-0662>

**Viktor Tkachenko**

State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

**Svitlana Sapronova**

State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

**Serhii Syvakivskiy**

State University of Infrastructure and Technologies,  
Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6855-6920>

The object of this study is the process of directing the bogies of model 18-100 freight cars along a rail track, in particular, along curved sections of the track. The task to be solved was to determine



the influence of wheelset arrangement on the level of steering forces in the flange contacts.

A calculation diagram and a mathematical model of fitting the bogie into the curved section of the track have been built. The bogie loading scheme by external forces, including lateral rocking forces acting on the car in a curve, has been refined. In this case, the method of pseudo-statics of the mechanical system, which is a system of nonlinear algebraic equations, was applied. The calculation module Given-Find in the Mathcad software package (USA) was used to solve the mathematical model.

It was established that the misalignment of wheelsets in the frames of model 18-100 bogies was of an accumulative nature. At the maximum operating angles of misalignment of wheelsets, the lateral steering forces in the flange contacts increase by 40–60 % compared to the rated setting. These angles can be up to 0.015 rad (0.85 degrees).

The field of practical application of the results is railroad transportation, in particular, the system of maintenance and repair of freight cars on bogies of the 18-100 model. At the same time, the condition for the practical application of the research results is the expediency of introducing into the maintenance system the technological operation of controlling the deviation of wheelset arrangement in the bogie relative to the rated one.

The current study will contribute to the construction of a measuring system for monitoring the deviation of wheelset arrangement in the bogie relative to the rated one. This proves the expediency of introducing into the trolley maintenance system the technological operation of controlling the deviation of wheelsets and designing a device for monitoring this parameter.

**Keywords:** railroad transport, 18-100 bogies, steering forces, flange, interaction of wheels and rails.

## References

- Domin, R., Domin, I., Cherniak, G., Mostovych, A., Konstantidi, V., Gryndei, P. (2016). Investigation of the some problems of running safety of rolling stock on the Ukrainian railways. *Archives of Transport*, 40 (4), 15–27. <https://doi.org/10.5604/08669546.1225459>
- Fomin, O., Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (110)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
- Knothe, K. (2008). History of wheel/rail contact mechanics: from Redtenbacher to Kalker. *Vehicle System Dynamics*, 46 (1-2), 9–26. <https://doi.org/10.1080/00423110701586469>
- Bahrov, O. M. (2016). Bokovi ramy vizkiv vantazhnykh vahoniv. *Eksploatatsiya. Problemy ta yikh vyrishennia. Zaliznychnyi transport Ukrainy*, 1-2, 29–34. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2016\\_1-2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2016_1-2_7)
- Pires, A. C., Pacheco, L. A., Dalvi, I. L., Endlich, C. S., Queiroz, J. C., Antonioli, F. A., Santos, G. F. M. (2021). The effect of railway wheel wear on reprofiling and service life. *Wear*, 477, 203799. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203799>
- Zub, I., Sapronova, S. (2022). Influence of deviations in the position of wheel pairs in a freight-car on the guiding forces. *Transport Systems and Technologies*, 40, 63–77. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-6>
- Koshel, O., Sapronova, S., Tkachenko, V., Buromenska, M., Radkevich, M. (2021). Research of Freight Cars Malfunctions in Operation. *Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021*, 589–592. Available at: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-II.pdf>
- Hu, Y., Watson, M., Maiorino, M., Zhou, L., Wang, W. J., Ding, H. H. et al. (2021). Experimental study on wear properties of wheel and rail materials with different hardness values. *Wear*, 477, 203831. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203831>
- Wang, W., Huang, J., Ding, H., Wen, Z., Cui, X., Lewis, R., Liu, Q. (2024). Initiation and evolution of wheel polygonal wear: Influence of wheel-rail hardness ratios. *Wear*, 540-541, 205255. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205255>
- Zhao, H., Liu, P., Ding, Y., Jiang, B., Liu, X., Zhang, M., Chen, G. (2020). An Investigation on Wear Behavior of ER8 and SSW-Q3R Wheel Steel under Pure Rolling Condition. *Metals*, 10 (4), 513. <https://doi.org/10.3390/met10040513>
- Zhang, P., He, C., Shen, C., Dollevoet, R., Li, Z. (2024). Comprehensive validation of three-dimensional finite element modelling of wheel-rail high-frequency interaction via the V-Track test rig. *Vehicle System Dynamics*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/00423114.2024.2304626>
- 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>
- Fomin, O., Lovska, A., Pístěk, V., Kučera, P. (2019). Dynamic load computational modelling of containers placed on a flat wagon at railroad ferry transportation. *Vibroengineering Procedia*, 29, 118–123. <https://doi.org/10.21595/vp.2019.21132>
- Soleimani, H., Moavenian, M. (2017). Tribological Aspects of Wheel–Rail Contact: A Review of Wear Mechanisms and Effective Factors on Rolling Contact Fatigue. *Urban Rail Transit*, 3 (4), 227–237. <https://doi.org/10.1007/s40864-017-0072-2>
- Domin, R. Yu., Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu., Serhienko, O. V. (2022). Stykist rukhomoho skladu vid skhodzhennia z reioi. *Sievierodonet'sk: Vyd-vo SNU im. V. Dalia*, 232. Available at: <https://dSPACE.snu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7ad0aa67-11e3-41df-ab59-2612b5848411/content>
- Weilguny, R., Leitner, M., Brunnhofer, P., Pospischil, F. (2023). Investigation of dynamic gauge widening in small radius curves and its impact on lateral wheel-rail contact forces. *Vehicle System Dynamics*, 1–26. <https://doi.org/10.1080/00423114.2023.2276762>
- Djabbarov, S., Abdirakhmanov, J., Abdullaev, B., Namozov, S., Yuldoshov, R., Ergasheva, V. (2023). Rin-in comb wheels of the wheel pair of the car when moving on a curve section of the path. *E3S Web of Conferences*, 389, 05048. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338905048>
- Derbiszewski, B., Obraniak, A., Wozniak, M., Rylski, A., Siczek, K., Kubiak, P. (2022). Friction Issues over the Railway Wheels-Axis Assembly Motion. *Lubricants*, 10 (2), 26. <https://doi.org/10.3390/lubricants10020026>
- Shatunov, O. V., Shvets, A. O., Kirilchuk, O. A., Shvets, A. O. (2019). Research of wheel-rail wear due to non-symmetrical loading of a flat car. *Science and Transport Progress*, 4 (82), 102–117. <https://doi.org/10.15802/stp2019/177457>
- Eadie, D. T., Elvidge, D., Oldknow, K., Stock, R., Pointner, P., Kalousek, J., Klauser, P. (2008). The effects of top of rail friction modifier on wear and rolling contact fatigue: Full-scale rail-wheel test rig evaluation, analysis and modelling. *Wear*, 265 (9-10), 1222–1230. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2008.02.029>
- Meymand, S. Z., Keylin, A., Ahmadian, M. (2016). A survey of wheel–rail contact models for rail vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 54 (3), 386–428. <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1137956>
- Golubenko, A., Sapronova, S., Tkachenko, V. (2007). Kinematics of point-to-point contact of wheels with a rails. *Transport problems*,

2 (3), 57–61. Available at: [http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2007/zeszyt3/2007t2z3\\_07.pdf](http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2007/zeszyt3/2007t2z3_07.pdf)

23. Agreement on use of freight wagons in international traffic (the PGV Agreement) (with amendments and additions as of 1 January 2024) (2024). Official publication OSJD Committee, Warsaw, 168. Available at: <https://en.osjd.org/en/8911/page/106077?id=2858>
24. Mikhailov, E., Semenov, S., Sapronova, S., Tkachenko, V. (2020). On the Issue of Wheel Flange Sliding Along the Rail. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 377–385. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5_40)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304051**

**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 (p. 47–62)**

**Andrii Kuzyshyn**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3012-5395>

**Vitalii Kovalchuk**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>

**Yuliya Sobolevska**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8087-2014>

**Yuriy Royko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0055-9413>

**Ivan Kravets**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2239-849X>

The object of this study is the pneumatic system in the spring suspension of rolling stock under conditions of high-speed movement from 170 to 250 km/h.

Based on the thermodynamic model of the pneumatic spring suspension system, the influence of volume of the additional tank and the initial pressure in the pneumatic spring on the nature of change in the spring's dynamic stiffness, energy losses, and damping coefficient was studied.

Based on the built "force-deformation" dependences for the pneumatic spring, it was established that the change in the volume of an additional tank has a slight effect on the deformation of the pneumatic spring at different speeds of the high-speed rolling stock.

It was established that in the range of rolling stock speeds of 170–250 km/h, the diameter of the connecting pipeline is 30 mm, and the volume of the additional tank is from 30 to 60 l, the maximum change in the dynamic stiffness of the pneumatic spring up to 15.5 % occurs at the pressure in the spring of 6.5 bar.

Dependences of energy loss and damping coefficient during the operating cycle of the pneumatic spring suspension system were derived. It was established that an increase in the volume of the additional tank and the initial pressure in the pneumatic spring leads to an increase in the energy loss during the operation cycle of the pneumatic system. The maximum values of the damping coefficient over the entire considered range of variable parameters are 1.16–1.29.

It was established that with the volume of the additional tank in the range from 30 to 50 liters, the maximum values of the damp-

ing coefficient are observed at a diameter of the connecting pipeline of 25 mm and a speed of movement from 200 to 250 km/h. And with an additional tank volume of 60 liters – with a diameter of 30 mm and a speed of 170 to 250 km/h.

**Keywords:** pneumatic spring suspension system, spring stiffness, damping coefficient, railroad rolling stock.

**References**

1. 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. <https://doi.org/10.1063/5.0120402>
2. Mendi-Garcia, I., Gil-Negrete Laborda, N., Pradera-Mallabiarrena, A., Berg, M. (2020). A survey on the modelling of air springs – secondary suspension in railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 60 (3), 835–864. <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1838566>
3. Kovalchuk, V., Kuzyshyn, A., Kostritsya, S., Sobolevska, Y., Batig, A., Dovganyuk, S. (2018). Improving a methodology of theoretical determination of the frame and directing forces in modern diesel trains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 19–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149838>
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. Mendi-Garcia, I., Gil-Negrete, N., Nieto, F. J., Facchinetti, A., Bruni, S. (2022). Analysis of the axial and transversal stiffness of an air spring suspension of a railway vehicle: mathematical modelling and experiments. *International Journal of Rail Transportation*, 12 (1), 56–75. <https://doi.org/10.1080/23248378.2022.2136276>
6. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Kovalchuk, V., Dovganyuk, 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>
7. Kuzyshyn, A., Batig, A., Kostritsa, S., Sobolevska, J., Dovganyuk, 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>
8. Oda, N., Nishimura, S. (1970). Vibration of Air Suspension Bogies and Their Design. *Bulletin of JSME*, 13 (55), 43–50. <https://doi.org/10.1299/jsme1958.13.43>
9. Presthus, M. (2002). Derivation of air spring model parameters for train simulation. Derby (UK): Lulea University of Technology. Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1023208/FULLTEXT01.pdf>
10. Eickhoff, B. M., Evans, J. R., Minnis, A. J. (1995). A Review of Modelling Methods for Railway Vehicle Suspension Components. *Vehicle System Dynamics*, 24 (6-7), 469–496. <https://doi.org/10.1080/00423119508969105>
11. Berg, M. (1999). A Three-Dimensional Airspring Model with Friction and Orifice Damping. *Vehicle System Dynamics*, 33 (sup1), 528–539. <https://doi.org/10.1080/00423114.1999.12063109>
12. Bruni, S., Vinolas, J., Berg, M., Polach, O., Stichel, S. (2011). Modelling of suspension components in a rail vehicle dynamics context. *Vehicle System Dynamics*, 49 (7), 1021–1072. <https://doi.org/10.1080/00423114.2011.586430>
13. Quaglia, G., Sorli, M. (2001). Air Suspension Dimensionless Analysis and Design Procedure. *Vehicle System Dynamics*, 35 (6), 443–475. <https://doi.org/10.1076/vesd.35.6.443.2040>

14. 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>
15. Doquier, N. (2010). Multiphysics modelling of multibody systems – application to railway pneumatic suspensions. Louvain-la-Neuve: Université Catholique de Louvain. Available at: [https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:33474/datastream/PDF\\_01/view](https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:33474/datastream/PDF_01/view)
16. Docquier, N., Fiset, P., Jeanmart, H. (2007). Multiphysics modelling of railway vehicles equipped with pneumatic suspensions. *Vehicle System Dynamics*, 45 (6), 505–524. <https://doi.org/10.1080/00423110601050848>
17. Facchinetti, A., Mazzola, L., Alf, 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 (sup1), 429–449. <https://doi.org/10.1080/00423114.2010.486036>
18. 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>
19. Reidemeister, O. H., Kivisheva, A. V. (2016). Dependence of air spring parameters on throttle resistance. *Science and Transport Progress*, 2 (62), 157–164. <https://doi.org/10.15802/stp2016/67339>
20. 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>
21. 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>
22. 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>
23. Li, X., Wei, Y., He, Y. (2016). Simulation on polytropic process of air springs. *Engineering Computations*, 33 (7), 1957–1968. <https://doi.org/10.1108/ec-08-2015-0224>
24. 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\\_157948bcc403bde6684123802e17f1d1.pdf](https://ijstm.shirazu.ac.ir/article_916_157948bcc403bde6684123802e17f1d1.pdf)
25. Mendia-Garcia, I., Facchinetti, A., Bruni, S., Gil-Negrete, N. (2023). Analysis and modelling of the dynamic stiffness up to 400 Hz of an air spring with a pipeline connected to a reservoir. *Journal of Sound and Vibration*, 557, 117740. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2023.117740>
26. Zheng, Y., Shanguan, W.-B. (2023). A combined analytical model for orifice-type and pipe-type air springs with auxiliary chambers in dynamic characteristic prediction. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 185, 109830. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109830>
27. 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>
28. 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&oi=519a6631377f3334f9e80d6b02df0ab15b87c024>
29. Sysyn, M., Nabochenko, O., Kovalchuk, V., Gerber, U. (2019). Evaluation of railway ballast layer consolidation after maintenance works. *Acta Polytechnica*, 59 (1), 77–87. <https://doi.org/10.14311/ap.2019.59.0077>
30. Sysyn, M., Nabochenko, O., Kovalchuk, V., Gruen, D., Pentsak, A. (2019). Improvement of inspection system for common crossings by track side monitoring and prognostics. *Structural Monitoring and Maintenance*, 6 (3), 219–235. Available at: <https://crust.ust.edu.ua/items/70644a7f-f72e-4b9f-a36a-b367115d3bd3>
31. Przybyłowicz, M., Sysyn, M., Kovalchuk, V., Nabochenko, O., Parneta, B. (2020). Experimental and theoretical evaluation of side tamping method for ballasted railway track maintenance. *Transport Problems*, 15 (3), 93–106. <https://doi.org/10.21307/tp-2020-036>
32. Sysyn, M., Gerber, U., Gruen, D., Nabochenko, O., Kovalchuk, V. (2019). Modelling and vehicle based measurements of ballast settlements under the common crossing. *European Transport - Trasporti Europei*, 71. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/332712273\\_Modelling\\_and\\_vehicle\\_based\\_measurements\\_of\\_ballast\\_settlements\\_under\\_the\\_common\\_crossing](https://www.researchgate.net/publication/332712273_Modelling_and_vehicle_based_measurements_of_ballast_settlements_under_the_common_crossing)
33. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Gerber, U., Nabochenko, O., Parneta, B. (2019). Laboratory Evaluation of Railway Ballast Consolidation by the Non-Destructive Testing. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 21 (2), 81–88. <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.81-88>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306225**

**ASSESSING THE POSSIBILITY OF USING A VARIABLE-LENGTH LAUNCH VEHICLE WITH A POLYMER BODY FOR ORBITING PAYLOAD (p. 63–72)**

**Aleksandr Golubek**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7764-6278>

**Serhii Aleksienko**

Dnipro University of Technology,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0320-989X>

**Mykola Dron**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0682-8004>

**Andrii Dreus**

Oles Honchar Dnipro National University,  
Dnipro, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0598-9287>

The object of this study was the motion of an ultralight class variable-length launch vehicle made of a polymer body along the active phase of the trajectory. The work considers the solution to the problem of designing low-cost means of delivery to orbit, namely to the assessment of the possibility of removing the payload by a carrier rocket with a polymer body of variable length beyond the dense atmosphere of the Earth. For this purpose, ballistic projection of the trajectory of the launch vehicle was carried out taking into account overloading; its aerodynamic characteristics and peculiarities of aerothermodynamic processes occurring during flight in the atmospheric phase of the trajectory were determined. The closeness (up to 10 %) of the obtained re-

sults with known experimental data is shown. The influence of the aerodynamic force on the parameters of the launch vehicle motion was studied. A flight simulation was conducted, the results of which showed the fundamental possibility of launching a CubeSat 24U class payload using a launch vehicle with a polymer body of variable length to a suborbital trajectory with an altitude of about 300 km. At the same time, the effective longitudinal overload on the body of the launch vehicle does not exceed 4 units, and the temperature on the surface of the body does not exceed 300 K. A feature of the research is the use of a multidisciplinary approach, which implies taking into account the interrelationship of aerodynamic, thermodynamic, and ballistic processes. The established motion parameters, aerodynamic characteristics, and the surface heating temperature of the launch vehicle body are key values for further research on the design and analysis of a launch vehicle with a polymer body of variable length. These data could be used to calculate the mechanical and thermal loads acting on the structure of the launch vehicle during flight.

**Keywords:** launch vehicle, variable length, polymer body, aerodynamic characteristics, suborbital trajectory.

### References

1. Yemets, V., Sanin, F., Dzhur, Y., Masliany, M., Kostritsyn, O., Minteev, G. (2009). Single-stage small satellite launcher with combustible tank of polyethylene. *Acta Astronautica*, 64 (1), 28–32. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.06.015>
2. Yemets, V., Sanin, F., Masliany, M., Kostritsyn, O., Minteev, G. (2010). Is the combustible inertial pico launch vehicle feasible? *JBIS - Journal of the British Interplanetary Society*, 63 (7), 249–259.
3. Yemets, V., Harkness, P., Dron', M., Pashkov, A., Worrall, K., Middleton, M. (2018). Autophagy Engines: Toward a Throttleable Solid Motor. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 55 (4), 984–992. <https://doi.org/10.2514/1.a34153>
4. Dron, M. M., Dubovyk, L. H., Holubek, O. V., Dreus, A. Yu., Yemets, A. V., Pashkov, A. V. (2019). Systemy vidvodu kosmichnykh ob'ektiv z nyzkykh navkolozemnykh orbit. Dnipro: LIRA, 218.
5. Yemets, V., Dron, M., Pashkov, A., Dreus, A., Kositsyna, Ye., Yemets, M. et al. (2020). Method to preset G-load profile of launch vehicles. *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*.
6. Yemets, V., Dron', M., Pashkov, A. (2020). Autophagy Engines: Method to Preset Gravity Load of Solid Rockets. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 57 (2), 309–318. <https://doi.org/10.2514/1.a34597>
7. Yemets, V., Dron, M., Dreus, A., Pashkov, A., Yemets, M. (2021). Heat flows in the gasification chamber of the polymer propelled autophagy launch vehicle. *Proceedings of the International Astronautical Congress*.
8. Dreus, A., Yemets, V., Dron, M., Yemets, M., Golubek, A. (2021). A simulation of the thermal environment of a plastic body of a new type of launch vehicle at the atmospheric phase of the trajectory. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94 (4), 505–514. <https://doi.org/10.1108/aeat-04-2021-0100>
9. Dreus, A. Yu., Dron, M. M., Dubovik, L. G., Strembovsky, V. V. (2023). Assessment of the possibility of using polymers in the bodies of promising launch vehicles based on the heat resistance factor. *Space Science and Technology*, 29 (6), 03–12. <https://doi.org/10.15407/knit2023.06.003>
10. Kondratiev, A. V. (2020). A concept of optimization of structural and technological parameters of polymer composite rocket units considering the character of their production. *Space Science and Technology*, 26 (6), 5–22. <https://doi.org/10.15407/knit2020.06.005>
11. 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. *Science and Technology*, 25 (4), 3–21. <https://doi.org/10.15407/knit2019.04.003>
12. Kondratiev, A., Potapov, O., Tsaritsynskiy, A., Nabokina, T. (2021). Optimal Design of Composite Shelled Sandwich Structures with a Honeycomb Filler. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*, 546–555. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_54)
13. Kositsyna, O. S., Dron', M. M., Yemets, V. V. (2020). The environmental impact assessment of emission from space launches: the promising propellants components selection. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28 (2), 186–193. <https://doi.org/10.15421/082020>
14. Kositsyna, O., Varlan, K., Dron, M., Kulyk, O. (2021). Determining energetic characteristics and selecting environmentally friendly components for solid rocket propellants at the early stages of design. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247233>
15. Wang, L., He, G. Y., Wang, Q., Chen, L. S. (2020). An Engineering Method for Computing the Aerodynamics Performance of Hypersonic Vehicle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 816 (1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/816/1/012006>
16. Yang, Z., Wang, S., Gao, Z. (2022). Studies on effects of wall temperature variation on heat transfer in hypersonic laminar boundary layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 190, 122790. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.122790>
17. Zhao, M. (2021). Prediction and Validation Technologies of Aerodynamic Force and Heat for Hypersonic Vehicle Design. In *Springer Aerospace Technology*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-33-6526-1>
18. Dillenius, M. F. E., Nielsen, J. N. (1979). Computer Programs for Calculating Pressure Distributions Including Vortex Effects on Supersonic Monoplane or Cruciform Wing-Body-Tail Combinations with Round or Elliptical Bodies. NASA. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19810018506>
19. Cengizci, S., Uğur, Ö., Takizawa, K., Tezduyar, T. (2020). A Streamline-Upwind/Petrov-Galerkin Formulation For Supersonic and Hypersonic Flow Simulations. *The 20th Biennial Computational Techniques and Applications Conference (CTAC2020)*. Available at: <http://hdl.handle.net/11511/94032>
20. Li, J., Jiang, D., Geng, X., Chen, J. (2021). Kinetic comparative study on aerodynamic characteristics of hypersonic reentry vehicle from near-continuous flow to free molecular flow. *Advances in Aerodynamics*, 3 (1). <https://doi.org/10.1186/s42774-021-00063-0>
21. Huang, T., He, G., Wang, Q. (2022). Calculation of Aerodynamic Characteristics of Hypersonic Vehicles Based on the Surface Element Method. *Advances in Aerospace Science and Technology*, 07 (02), 112–122. <https://doi.org/10.4236/aast.2022.72007>
22. Furudate, M. A. (2022). MC-New: A Program to Calculate Newtonian Aerodynamic Coefficients Based on Monte-Carlo Integration. *Aerospace*, 9 (6), 330. <https://doi.org/10.3390/aerospace9060330>
23. Thomas, P. D., Vinokur, M., Bastianon, R. A., Conti, R. J. (1972). Numerical Solution for Three-Dimensional Inviscid Supersonic Flow. *AIAA Journal*, 10 (7), 887–894. <https://doi.org/10.2514/3.50241>
24. Hussein, A. K., Khan, W. A., Sivasankaran, S., Mohammed, H. A., Adegun, I. K. (2013). Numerical simulation of three-dimensional supersonic flow around an aerodynamic bump. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3 (7), 656–666.
25. Marchenay, Y., Olazabal Loumé, M., Chedevergne, F. (2022). Hypersonic Turbulent Flow Reynolds-Averaged Navier–Stokes Simulations with Roughness and Blowing Effects. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 59 (5), 1686–1696. <https://doi.org/10.2514/1.a35339>



26. Sofair, I. (1995). Improved Method for Calculating Exact Geodetic Latitude and Altitude. Defense Technical Information Center. <https://doi.org/10.21236/ada294568>
27. Bin, Y., Huang, G., Kunz, R., Yang, X. I. A. (2024). Constrained Recalibration of Reynolds-Averaged Navier–Stokes Models. *AIAA Journal*, 62 (4), 1434–1446. <https://doi.org/10.2514/1.j063407>
28. Prihod'ko, A. A. (2008). *Komp'yuternye tehnologii v aerogidrodinamike i teplomassoobmene*. Kyiv: NAUKOVA DUMKA, 380.
29. Prykhodko, O. A., Alekseyenko, S. V. (2014). Numerical simulation of the process of airfoil icing in the presence of large supercooled water drops. *Technical Physics Letters*, 40 (10), 864–867. <https://doi.org/10.1134/s1063785014100125>
30. Prihod'ko, A. A., Alekseenko, S. V. (2014). Numerical Simulation of the Processes of Icing on Airfoils with Formation of a “Barrier” Ice. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 87 (3), 598–607. <https://doi.org/10.1007/s10891-014-1050-0>
31. Alekseyenko, S., Dreus, A., Dron, M., Brazaluk, O. (2022). Numerical Study of Aerodynamic Characteristics of a Pointed Plate of Variable Elongation in Subsonic and Supersonic Gas Flow. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 96 (2), 88–97. <https://doi.org/10.37934/arfmts.96.2.8897>
32. Gutiérrez, R., Llorente, E., Ragni, D., Aranguren, P. (2022). Study on  $k-\omega$ –Shear Stress Transport Corrections Applied to Airfoil Leading-Edge Roughness Under RANS Framework. *Journal of Fluids Engineering*, 144 (4). <https://doi.org/10.1115/1.4052925>
33. Adanta, D., Fattah, I. M. R., Muhammad, N. M. (2020). Comparison of standard  $k$ -epsilon and SST  $k$ -omega turbulence model for breast-shot waterwheel simulation. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 7 (2), 039–044. <https://doi.org/10.36706/jmse.v7i2.44>
34. Costa, L. M. F., Montiel, J. E. S., Corrêa, L., Lofrano, F. C., Nakao, O. S., Kurokawa, F. A. (2022). Influence of standard  $k-\epsilon$ , SST  $k-\omega$  and LES turbulence models on the numerical assessment of a suspension bridge deck aerodynamic behavior. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 44 (8). <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03653-1>
35. Maurício Araújo, A., Antônio Coutinho Silva, A., Leal dos Santos, C., Corte Real Fernandes, E., Menezes, E., José Arruda Moura Rocha, G. et al. (2017). An assessment of different turbulence models on a CFD simulation of air flow past a S814 airfoil. *Proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.26678/abcm.cobem2017.cob17-0306>
36. Robinson, D., Hassan, H. (1996). A two-equation turbulence closure model for wall bounded and free shear flows. *Fluid Dynamics Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.1996-2057>
37. Petrov, K. P. (1998). *Aerodinamika tel prosteyshih form*. Moscow: Fizmatlit, 428.
38. Meng, Y., Yan, L., Huang, W., Tong, X. (2020). Numerical Investigation of the Aerodynamic Characteristics of a Missile. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 887 (1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/887/1/012001>
39. Bayley, D. J., Hartfield, R. J., Burkhalter, J. E., Jenkins, R. M. (2008). Design Optimization of a Space Launch Vehicle Using a Genetic Algorithm. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 45 (4), 733–740. <https://doi.org/10.2514/1.35318>

АНОТАЦІЇ  
APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304803

**ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІРІВ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ БАЛОК ІЗ ПЕРФОРОВАНОЮ СТІНКОЮ (с. 6–16)**

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

Об'єктом дослідження розглядається балка із перфорованою стінкою, в якій отвори у стінці мають форму правильного шестикутника. Балка досліджується на предмет пошуку оптимальних розмірів перерізу. Задача оптимізації формується як задача пошуку оптимальних номерів профілів для верхнього і нижнього пояса балки та оптимальної ширини отвору у стінці при забезпеченні необхідної несучої здатності балки. Як критерій оптимальності розглядалась мінімізація об'єму матеріалу балки. Сформульована задача оптимізації розв'язується за допомогою методу вичерпного пошуку. Для сортаменту нормальних двотаврів із паралельними полицями отримані балки із перфорованою стінкою із оптимальними розмірами перерізу залежно від класу сталі, прольоту балки та величини поперечного рівномірно-розподіленого навантаження. Виконані оптимізаційні розрахунки засвідчили, що момент опору балки вдалось збільшити до 35,48...50 % за рахунок застосування перфорованої стінки. Балки із перфорованою стінкою з оптимальними розмірами перерізів при тій самій несучій здатності характеризуються меншими витратами сталі (до 23,19 %) порівняно до двотаврових балок із суцільною стінкою. Аналіз отриманих результатів дозволив розробити рекомендації щодо оптимального розподілу матеріалу в перерізах таких балок. Отримані результати справедливі лише для сортаменту нормальних двотаврових профілів і лише для випадку дії на балку рівномірно-розподіленого навантаження при розкріпленні 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 сортментів балок із перфорованою стінкою.

**Ключові слова:** балка з перфорованою стінкою, шестикутні отвори, оптимальне проектування, змішані змінні, вичерпний пошук

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.303987

**ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НАВАНТАЖЕНОСТІ КУЗОВА НАПІВВАГОНА ІЗ ПОСИЛЮЮЧИМИ ПОЯСАМИ В КОНСТРУКЦІЇ БОКОВИХ СТІН (с. 17–25)**

А. О. Ловська, О. Л. Становський, О. В. Жарова, Є. О. Науменко, Є. С. Пелипенко

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в кузові напіввагона із посилюючими поясами в конструкції бокових стін.

З метою покращення міцності бокових стін кузова напіввагона запропоновано посилення їх додатковими поясами. При цьому за трьома секціями кузова з боку консолей він посилений діагональними поясами, а в середній секції за висотою 1/3 від нижнього обв'язування – горизонтальним поясом. Для визначення параметрів профілів виконання посилюючих поясів проведено розрахунок кузова напіввагона як стрижневої системи. За отриманими значеннями згинальних моментів визначено момент опору поперечного перерізу профілів виконання посилюючих поясів. Здійснено розрахунок на міцність кузова напіввагона при основних режимах його навантажень в експлуатації (I та III розрахункові режими). Встановлено, що отримані напруження на 10,3 % нижчі за ті, що мають місце в типовій конструкції кузова напіввагона. Оцінено хід руху напіввагона у порожньому та завантаженому станах.

Особливістю отриманих результатів дослідження є те, що покращення міцності бокових стін кузова напіввагона досягається за рахунок підвищення жорсткості його каркасу.

Сферою практичного використання отриманих результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного використання результатів є симетричне розподілення посилюючих поясів за довжиною кузова напіввагона.

Результати даного дослідження сприятимуть покращенню міцності кузовів напіввагонів в експлуатації, а відповідно скороченню витрат на позапланові види їх ремонтів. Також отримані результати будуть корисними напрацюваннями при проектуванні сучасних конструкцій залізничних вагонів.

**Ключові слова:** транспортна механіка, удосконалення напіввагона, каркас напіввагона, навантаженість кузова, міцність кузова.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306889

**ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ МАЛОЦИКЛОВОЇ ВТОМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗНИЖУЮЧОГО КОЕФІЦІЄНТА ЗА ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО ТИПУ (с. 26–37)**

Mirken Abakanov, Izim Dyussembayev, Mermurat Nigmatov

Об'єктом розгляду є сейсмічний проект, а предметом дослідження – визначення коефіцієнта зниження. Однією з важливих проблем сейсмостійкого проектування є визначення впливу малоциклової втоми залізобетону на коефіцієнт зниження та визначення його оптимального значення. Ця проблема не розкривається і спеціально не враховується в нормах сейсмотехніки при визначенні максимальної несучої здатності типів конструкцій через недостатню вивченість питання. Для вирішення поставленої задачі було проведено серію експериментальних досліджень малоциклової втоми залізобетонних згинальних елементів і каркас-

них вузлів. Отримано діапазон результатів значень коефіцієнта зниження та ступінь впливу моноциклічної втоми на властивості коефіцієнта зниження.

Особливістю та характеристикою отриманих результатів є те, що коефіцієнт зменшення  $R_f$  залежить від характеру гістерезисної картини деформації та пластичної довговічності елементів конструкції, оціненої за коефіцієнтом пластичності  $\mu$ , на який суттєво впливає малоциклова втома, що проявляється на піку прискорення сильних сейсмічних впливів. Наведений вище алгоритм тестування, особливість і характеристики отриманих результатів дозволили вирішити досліджувану задачу.

Отримані результати прийняті для практичного використання при дії сейсмічних навантажень: з розрахунку міцності з урахуванням нових малоциклових коефіцієнтів, коефіцієнтів приведення для визначення спектрів розрахункових реакцій і сейсмічних навантажень з урахуванням поглинання енергії. Запропоновано нові коефіцієнти приведення для визначення спектрів розрахункових реакцій і сейсмічних навантажень.

**Ключові слова:** сейсмостійкість, залізобетонні конструкції, малоциклова втома, коефіцієнти відновлення та пластичності.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304328**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ УСТАНОВКИ КОЛІСНИХ ПАР У ВІЗКАХ МОДЕЛІ 18-100 НА РІВЕНЬ СПРЯМОВУЮЧИХ ЗУСИЛЬ В ГРЕБЕНЕВИХ КОНТАКТАХ КОЛІС З РЕЙКАМИ (с. 38–46)**

**Є. П. Зуб, В. П. Ткаченко, С. Ю. Сапронова, С. В. Сиваківський**

Об'єктом дослідження є процес спрямування візків моделі 18-100 вантажних вагонів рейковою колією, зокрема, в кривих ділянках колії. Проблема, що вирішується, полягає у визначенні впливу установки колісних пар на рівень спрямовуючих зусиль в гребневих контактах.

Побудовано розрахункову схему і математичну модель вписування візка в криву ділянку колії. Уточнено схему навантаження візка зовнішніми силами, включаючи сили бокової хитамиці, що діють на вагон в кривій. При цьому, застосовано метод псевдостатистики механічної системи, яка являє собою систему нелінійних алгебраїчних рівнянь. Для розв'язку математичної моделі використано розрахунковий блок Given-Find програмного комплексу MathCad (США).

Встановлено, що перекоє колісних пар у рамках візків моделі 18-100 має накопичувальний характер. При максимальних експлуатаційних кутах перекоє колісних пар бокові спрямовуючі зусилля у гребневих контактах збільшуються на 40–60 % у порівнянні із номінальною установкою. Ці кути можуть складати до 0,015 рад (0,85 град).

Сферою практичного застосування отриманих результатів є залізничний транспорт, зокрема, система технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на візках моделі 18-100. При цьому, умовою практичного застосування результатів дослідження є доцільність введення у систему технічного обслуговування технологічної операції контролю відхилення установки колісних пар у візку відносно номінального.

Проведені дослідження сприятимуть створенню вимірювального комплексу для моніторингу відхилення установки колісних пар у візку відносно номінального. Це доводить доцільність введення в систему технічного обслуговування візків технологічної операції контролю відхилення установки колісних пар та розробки пристрою для моніторингу цього параметра.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, візки 18-100, спрямовуючі зусилля, гребінь, взаємодія колеса і рейки.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304051**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄМУ ДОДАТКОВОГО РЕЗЕРВУАРУ ТА ТИСКУ ПОВІТРЯ В РЕСОРІ НА ДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ШВИДКІСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ (с. 47–62)**

**А. Я. Кузишин, В. В. Ковальчук, Ю. Г. Соболевська, Ю. Я. Ройко, І. Б. Кравець**

Об'єктом дослідження є пневматична система ресорного підвішування рухомого складу в умовах швидкісного руху від 170 до 250 км/год.

На основі термодинамічної моделі пневматичної системи ресорного підвішування проведено дослідження впливу об'єму додаткового резервуару та початкового тиску в пневматичній ресорі на характер зміни динамічної жорсткості ресори, втрат енергії та коефіцієнта демпфування.

На основі побудованих залежностей «сила-деформація» пневматичної ресори встановлено, що зміна величини об'єму додаткового резервуару незначно впливає на величину деформування пневматичної ресори при різних швидкостях швидкісного рухомого складу.

Встановлено, що в діапазоні швидкостей рухомого складу 170–250 км/год, діаметрі з'єднувального трубопроводу 30 мм та при об'ємі додаткового резервуару від 30 до 60 л максимальна зміна динамічної жорсткості пневматичної ресори до 15,5 % відбувається при тиску в ресорі 6,5 атм.

Побудовано залежності втрати енергії та коефіцієнта демпфування за цикл роботи пневматичної системи ресорного підвішування. Встановлено, що збільшення об'єму додаткового резервуару та початкового тиску в пневматичній ресорі призводить до збільшення втрати енергії за цикл роботи пневматичної системи. Максимальні значення коефіцієнту демпфування в усьому розглянутому діапазоні змінних параметрів складають 1,16–1,29.

Встановлено, що при об'ємі додаткового резервуару в межах від 30 до 50 літрів максимальні значення коефіцієнта демпфування спостерігаються при діаметрі з'єднувального трубопроводу 25 мм та швидкості руху від 200 до 250 км/год. А при об'ємі додаткового резервуару 60 літрів – при діаметрі 30 мм та швидкості руху від 170 до 250 км/год.

**Ключові слова:** пневматична система ресорного підвішування, жорсткість ресори, коефіцієнт демпфування, рухомий склад залізниці.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306225

## ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНОЇ РАКЕТИ-НОСІЯ ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ КОРИСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ (с. 63–72)

О. В. Голубек, С. В. Алексєнко, М. М. Дронь, А. Ю. Дреус

Об'єктом дослідження був рух ракети-носія надлегкого класу змінної довжини з полімерного корпусу на активній ділянці траєкторії. Робота присвячена вирішенню проблеми створення дешевих засобів доставлення на орбіту, а саме оцінці можливості виведення корисного навантаження ракетою-носієм з полімерним корпусом змінної довжини за межі щільної атмосфери Землі. Для цього виконано балістичне проектування траєкторії ракети-носія з урахуванням перевантаження, визначено її аеродинамічні характеристики та особливості аеротермодинамічних процесів, що відбуваються під час польоту на атмосферній ділянці траєкторії. Показано близькість (до 10 %) отриманих результатів з відомими експериментальними даними. Досліджено вплив сили аеродинамічного опору атмосфери Землі на параметри руху ракети-носія. Проведено моделювання польоту, результати якого показали принципову можливість виведення корисного навантаження класу CubeSat 24U за допомогою ракети-носія з полімерним корпусом змінної довжини на суборбітальну траєкторію висотою порядку 300 км. При цьому діюче поздовжнє перевантаження на корпус ракети-носія не перевищує 4 одиниці, а температура на поверхні корпусу її ступені не перевищує 300 К. Особливістю проведеного дослідження є застосування мультидисциплінарного підходу, що визначається урахуванням взаємного зв'язку аеродинамічних, термодинамічних і балістичних процесів. Отримані параметри руху, аеродинамічні характеристики та температура нагріву поверхні корпусу ракети-носія є ключовими величинами для подальших досліджень щодо проектування та аналізу ракети-носія з полімерним корпусом змінної довжини. Ці дані можуть бути використані для розрахунку механічних та теплових навантажень, що діють на конструкцію ракети-носія під час польоту.

**Ключові слова:** ракета-носій, змінна довжина, полімерний корпус, аеродинамічні характеристики, суборбітальна траєкторія.