

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268904

ASSESSMENT OF THE STRESSED-STRAINED STATE OF A REINFORCED TRANSPORT PIPE UNDER THE COMBINED EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE AND STATIC LOADS (p. 6–12)

Vitalii KovalchukLviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4350-1756>**Roman Rybak**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0745-6620>**Yuriy Hnativ**Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-4202>**Valentyna Tkachenko**National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5147-0772>**Artur Onyshchenko**National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>**Ivan Kravets**Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2239-849X>**Yuliia Hermaniuk**Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4905-8313>**Mykola Babyak**Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5125-9133>**Nataliya Hembara**Ukrainian Academy of Printing, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0710-8615>**Ihor Velhan**Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5218-2617>

The object of this study is a reinforced three-layer transport pipe, which is subjected to the joint action of ambient temperature and static loading of the road subgrade soil.

The analytical model for assessing the stressed-strained state of reinforced three-layer pipes, under the combined action of temperature and static loads, has been improved using the theory of elasticity.

The stressed-strained state of the reinforced pipe was assessed taking into account the values of the joint action of temperature and loads from vehicles, the physical and mechanical parameters of structural materials, and the geometric parameters of the pipe.

As a result of the calculation of the reinforced multilayer pipe, it was found that the maximum movements that occur on the outside of the defective pipe are 0.64 mm, the metal pipe – 0.75 mm, and in the concrete mortar (fine-grained concrete) – 0.69 mm.

It was established that under the combined action of ambient temperature and static loads from the road subgrade soil, ring stresses are

maximum. They are 151 MPa. Axial stresses are also high – 141 MPa. At the same time, the maximum radial stresses are the smallest – 37.4 MPa.

It has been established that a small difference in displacements occurs on the contact of structural materials of the reinforced pipe. However, the magnitude of the stresses is high. The maximum difference in ring stresses was 73 MPa, while the difference in radial and axial stresses was up to 1.0 MPa.

It has been established that to restore the bearing capacity of damaged reinforced concrete pipes, it is possible to use the repair technology by the method of “sleeving”. It involves pulling a metal pipe into the middle of the layer damaged with concrete mortar remaining between the concrete defective and the new metal pipes.

Keywords: concrete defective pipe, temperature, metal pipe, movement, stress, static load.

References

1. Kovalchuk, V., Hnativ, Y., Luchko, J., Sysyn, M. (2020). Study of the temperature field and the thermo-elastic state of the multilayer soil-steel structure. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 19 (1), 65–78. doi: <https://doi.org/10.7409/rabdim.020.004>
2. Kovalchuk, V., Sysyn, M., Hnativ, Y., Onyshchenko, A., Koval, M., Tiutkin, O., Parneta, M. (2021). Restoration of the Bearing Capacity of Damaged Transport Constructions Made of Corrugated Metal Structures. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 16 (2), 90–109. doi: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2021-16.529>
3. Liu, Y., Hoult, N. A., Moore, I. D. (2020). Structural Performance of In-Service Corrugated Steel Culvert under Vehicle Loading. *Journal of Bridge Engineering*, 25 (3). doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)be.1943-5592.0001524](https://doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0001524)
4. Słowik, M. (2018). The analysis of failure in concrete and reinforced concrete beams with different reinforcement ratio. *Archive of Applied Mechanics*, 89 (5), 885–895. doi: <https://doi.org/10.1007/s00419-018-1476-5>
5. Fayyad, T. M., Lees, J. M. (2017). Experimental investigation of crack propagation and crack branching in lightly reinforced concrete beams using digital image correlation. *Engineering Fracture Mechanics*, 182, 487–505. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.04.051>
6. Soltani, A., Harries, K. A., Shahrooz, B. M. (2013). Crack Opening Behavior of Concrete Reinforced with High Strength Reinforcing Steel. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 7 (4), 253–264. doi: <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0054-z>
7. Xu, T., Castel, A. (2016). Modeling the dynamic stiffness of cracked reinforced concrete beams under low-amplitude vibration loads. *Journal of Sound and Vibration*, 368, 135–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.01.007>
8. Silva, J. L. da, El Debs, M. K., Kataoka, M. N. (2018). A comparative experimental investigation of reinforced-concrete pipes under three-edge-bearing test: Spigot and Pocket and Ogee Joint pipes. *Acta Scientiarum. Technology*, 40 (1), 30860. doi: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.30860>
9. Kovalchuk, V., Kovalchuk, Y., Sysyn, M., Stankevych, V., Petrenko, O. (2018). Estimation of carrying capacity of metallic corrugated structures of the type Multiplate MP 150 during interaction with backfill soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (91)), 18–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123002>
10. Machelski, C. (2016). Steel plate curvatures of soil-steel structures during construction and exploitation. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 15 (3), 207–220. doi: <https://doi.org/10.7409/rabdim.016.013>
11. Gera, B., Kovalchuk, V. (2019). A study of the effects of climatic temperature changes on the corrugated structure. *Eastern-European*

- Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (99)), 26–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168260>
12. Perkowski, D. M. (2014). On axisymmetric heat conduction problem for FGM layer on homogeneous substrate. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 157–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.021>
 13. Gera, B., Dmytruk, V. (2015). Obtaining and investigation of the conditions of heat transfer through inhomogeneous inclusion with heat sources. *Mathematical Modeling and Computing*, 2 (1), 33–47. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2015.01.033>
 14. Luchko, J., Kovalchuk, V., Kravets, I., Gajda, O., Onyshchenko, A. (2020). Determining patterns in the stressed-deformed state of the railroad track subgrade reinforced with tubular drains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213525>
 15. Mistewicz, M. (2019). Risk assessment of the use of corrugated metal sheets for construction of road soil-shell structures. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 18 (2), 89–107. doi: <https://doi.org/10.7409/rabd.019.006>
 16. Kovalchuk, V., Markul, R., Pentsak, A., Parneta, B., Gayda, O., Braichenko, S. (2017). Study of the stress-strain state in defective railway reinforced-concrete pipes restored with corrugated metal structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109611>
 17. Valovoi, O. I., Eromenko, O. Yu. (2008). Otsinky mitsnosti zalizobetonnykh balok, pidsylenykh v stysnutiy zoni efektyvnymy materialamy. *Dorohy i mosty*, 9. Available at: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/Zu_6.pdf
 18. Sokolskaya, M. K., Kolosova, A. S., Vitkalova, I. A., Torlova, A. S., Pikalov, E. S. (2017). Binders to obtain the modern polymer composite materials. *Fundamental'nye issledovaniya*, 10-2, 290–295. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30459320>
 19. Jafari, N. H., Ulloa, H. O. (2020). Literature Search on Use of Flexible Pipes in Highway Engineering for DOTD's Needs. Louisiana State University. Available at: https://lrc.lsu.edu/pdf/2020/FR_638.pdf
 20. Hromova, O. V. (2007). Porivnialnyi analiz trysharovykh zrazkiv dlia riznykh fizyko-mekhanichnykh vlastyvopei. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 14, 177–180. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2007_14_41
 21. Luchko, Y. Y., Raspopov, O. S., Koval, P. M.; Luchko, Y. Y. (Ed.) (2014). *Mosty, truby i tuneli*. Lviv: Kameniar, 879. Available at: <https://www.kameniar.com.ua/shop/knyhy/luchko-y-y-raspopov-o-s-koval-p-m-mosty-truby-i-tuneli.html>
 22. Kossak, O., Savula, Ya. (2010). The investigation of the deformations of the elastic bodies with thin coating using D-adaptive finite element model. *Fizyko-matematychni modeliuвання ta informatsiyni tekhnolohiyi*, 12, 102–111. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/22470>
 23. Makar, I., Savula, Y., Styahar, A. (2012). Numerical analysis of a multiscale model of the elastic body with the thin cover. *Fizyko-matematychni modeliuвання ta informatsiyni tekhnolohiyi*, 15, 49–55.
 24. Beben, D. (2017). Experimental Testing of Soil-Steel Railway Bridge Under Normal Train Loads. *Experimental Vibration Analysis for Civil Structures*, 805–815. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67443-8_71

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266933

CALCULATION OF THE STRESSED-STRAINED STATE OF ROTATING ANISOTROPIC CYLINDRICAL SHELLS WITH A HOLE BASED ON VARIATIONAL RVR-METHOD (p. 13–20)

Valentin Salo

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2533-0949>

Vladimir Nechiporenko

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-7344>

Petr Litovchenko

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4483-597X>

Valeriia Rakivnenko

National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6136-6191>

Valerii Voinov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5732-5960>

Vitaly Samokvit

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1698-7765>

Maksym Kitorov

Kyiv Institute of National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6301-7481>

This paper proposes a new variational RVR-method for calculating the three-dimensional stressed-strained state of statically loaded shell elements of structures with holes of arbitrary shapes and sizes. The scientifically substantiated RVR method is based on the use of the Reissner variational principle, the Vekua method, the theory of R-functions by Rvachev, and the general equations of the spatial theory of elasticity. The use of mixed Reissner variational principle leads to an increase in the accuracy of solving boundary value problems due to the independent variation of the displacement vector and the stress tensor. The Vekua method makes it possible to replace the solution to a three-dimensional problem with a regular sequence of solutions to two-dimensional problems. The theory of R-functions at the analytical level takes into account the geometric information of boundary value problems, which is necessary for the construction of solution structures that accurately satisfy all boundary conditions. At the same time, the developed algorithm for bilateral integral accuracy assessment makes it possible to automate the search for such a number of approximations in which the process of convergence of solutions becomes stable. The possibilities of the RVR method are shown in numerous examples of solving boundary problems of calculating cylindrical shells with an elliptical hole when setting centrifugal loads according to a deformed scheme. Calculations according to the specified load scheme of the anisotropic cylinder lead (at certain values of the angular velocity of rotation) to a significant increase in stresses. Therefore, to obtain reliable results, it is necessary to set a centrifugal load that takes into account the change in the size of the body in the process of its deformation. The characteristic features of the proposed RVR-method, which can be used effectively in the manufacture of shell elements of structures in various branches of technology, are discussed.

Keywords: rotating orthotropic shell with hole, concentration of stresses, Reissner principle, theory of R-functions.

References

1. Dai, Q., Qin, Z., Chu, F. (2021). Parametric study of damping characteristics of rotating laminated composite cylindrical shells using Haar wavelets. *Thin-Walled Structures*, 161, 107500. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.107500>
2. Guo, H., Du, X., Žur, K. K. (2021). On the dynamics of rotating matrix cracked FG-GPLRC cylindrical shells via the element-free IMLS-Ritz method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 131, 228–239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2021.06.005>
3. Dong, Y. H., Zhu, B., Wang, Y., He, L. W., Li, Y. H., Yang, J. (2019). Analytical prediction of the impact response of graphene reinforced

- spinning cylindrical shells under axial and thermal loads. *Applied Mathematical Modelling*, 71, 331–348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.02.024>
4. Li, X. (2021). Parametric resonances of rotating composite laminated nonlinear cylindrical shells under periodic axial loads and hygrothermal environment. *Composite Structures*, 255, 112887. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112887>
 5. Chen, Y., Jin, G., Ye, T., Lee, H. P. (2022). Three-dimensional vibration analysis of rotating pre-twisted cylindrical isotropic and functionally graded shell panels. *Journal of Sound and Vibration*, 517, 116581. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2021.116581>
 6. Washizu, K. (1982). *Variational methods in elasticity and plasticity*. New York, 542.
 7. Li, H., Pang, F., Gao, C., Huo, R. (2020). A Jacobi-Ritz method for dynamic analysis of laminated composite shallow shells with general elastic restraints. *Composite Structures*, 242, 112091. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112091>
 8. Li, H., Cong, G., Li, L., Pang, F., Lang, J. (2019). A semi analytical solution for free vibration analysis of combined spherical and cylindrical shells with non-uniform thickness based on Ritz method. *Thin-Walled Structures*, 145, 106443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106443>
 9. Salo, V., Rakivnenko, V., Nechiporenko, V., Kirichenko, A., Horielyshev, S., Onopreichuk, D., Stefanov, V. (2019). Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (99)), 11–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169631>
 10. Guo, W., Zhu, J., Guo, W. (2020). Equivalent thickness-based three dimensional stress fields and fatigue growth of part-through cracks emanating from a circular hole. *Engineering Fracture Mechanics*, 228, 106927. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2020.106927>
 11. Salo, V. A. (2003). *Kraevye zadachi statiki obolochek s otverstiyami*. Kharkiv: NTU «KhPI», 216.
 12. Salo, V. A. (2000). Dokazatel'stvo dostatochnogo priznaka skhodimosti metoda Rittsa dlya smeshannogo variatsionnogo printsipa Reysnerna. *Vestnik Khar'kovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*, 95, 70–75.
 13. Salo, V. A. (2003). O dvustoronney otsenke tochnosti priblizhennykh resheniy zadach teorii obolochek, poluchennykh metodom Rittsa dlya neekstremalnogo funktsionala Reysnerna. *Dopovidi NAN Ukrainy*, 1, 53–57.
 14. Reissner, E. (1950). On a Variational Theorem in Elasticity. *Journal of Mathematics and Physics*, 29 (1-4), 90–95. doi: <https://doi.org/10.1002/sapm195029190>
 15. Vekua, I. N. (1965). *Teoriya tonkikh pologikh obolochek peremennoy tolschiny*. Trudy TMI, 30, 3–103.
 16. Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S. (1987). *Theory of Plates and Shells*. New York: McGraw-Hill Book Company, 580.
 17. Awrejcewicz, J., Kurpa, L., Shmatko, T. (2015). Investigating geometrically nonlinear vibrations of laminated shallow shells with layers of variable thickness via the R-functions theory. *Composite Structures*, 125, 575–585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.02.054>
 18. Salo, V. A. (2004). O kontsentratsii napryazheniy okolo otverstiya v uprugoy sfericheskoy obolochke. *Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktivnykh letatel'nykh apparatov*, 2, 66–72.
 19. Panovko, Ya. G. (1985). *Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela*. Moscow: Nauka, 288.
 20. Pramod, A. L. N., Natarajan, S., Ferreira, A. J. M., Carrera, E., Cinefra, M. (2017). Static and free vibration analysis of cross-ply laminated plates using the Reissner-mixed variational theorem and the cell based smoothed finite element method. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 62, 14–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2016.10.006>
 21. Faghidian, S. A. (2018). Reissner stationary variational principle for nonlocal strain gradient theory of elasticity. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 70, 115–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2018.02.009>
 22. Salo, V. A., Horbunov, A. P., Nechiporenko, V. M. (2017). Doslidzhennia virohidnoi zony prydatnykh posadok z natiatom pry avtomatyzovanomu proektuvanni. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 1 (2 (80)), 73–77.
 23. Litovchenko, P. I., Nechiporenko, V. M., Salo, V. A., Ivanova, L. P. (2013). Novyi naukovo obgruntovanyi metod avtomatyzovanoho proektuvannia posadok z natiatom. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademiyi Natsionalnoi hvardiyi Ukrainy*, 1 (21), 74–79.
 24. Rodionova, V. A., Titaev, B. F., Chernykh, K. F. (1996). *Prikladnaya teoriya anizotropnykh plastin i obolochek*. Sankt-Peterburg, 278.
 25. Vasilenko, A. T., Klimentenko, N. I. (1999). Issledovanie napryazhenno-go sostoyaniya vraschayuschikhsya neodnorodnykh anizotropnykh tsilindrov. *Prikladnaya mekhanika*, 35 (8), 29–34.
-
- DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266855 266855**
DETERMINING PATTERNS OF VERTICAL LOAD ON THE PROTOTYPE OF A REMOVABLE MODULE FOR LONG-SIZE CARGOES (p. 21–29)
- Glib Vatulia**
 Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3823-7201>
- Alyona Lovska**
 Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>
- Mykhailo Pavliuchenkov**
 Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0542-7284>
- Volodymyr Nerubatskyi**
 Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>
- Andrii Okorokov**
 Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5519>
- Denys Hordiienko**
 ELAKS PJSC, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0347-5656>
- Roman Vernigora**
 Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7618-4617>
- Irina Zhuravel**
 Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4405-6386>

The object of this study is the processes of occurrence, exposure to, and redistribution of loads in the supporting structure of a removable module for the transportation of long cargoes.

To adapt platform cars to the transportation of long loads, it is proposed to introduce a removable module with elastic-friction connections in the structure.

In order to select the optimal profiles for the removable module, in terms of minimal material consumption, the calculation was carried out in the Lira software package. Based on the calculation results, a spatial model of the concept of the removable module was built.

To determine the dynamic loads that act on the platform car loaded with a removable module, a mathematical simulation was carried out. It was established that the use of elastic-friction links in the structure of the removable module helps reduce its dynamic

load, as well as the platform car, by 4.6 %. The resulting acceleration was taken into account when calculating the strength of the removable module. The calculation results showed that the strength of the removable module under operational loads is ensured.

A feature of the reported results is that the proposed design of a removable module makes it possible not only to adapt the platform car to the transportation of long loads but also to reduce its load in operation.

The scope of practical application of the results includes the engineering industry, in particular, railroad transport. Worth noting is that the conditions for the practical use of the results imply the introduction of elastic-friction links in the structure of the removable module.

The reported research will contribute to compiling recommendations for the design of modern vehicle structures, in particular removable type, as well as for improving the efficiency of rail transportation.

Keywords: transport mechanics, removable module, supporting structure, structural strength, structural adaptation.

References

- Lovska, A., Fomin, O., Kučera, P., Pištěk, V. (2020). Calculation of Loads on Carrying Structures of Articulated Circular-Tube Wagons Equipped with New Draft Gear Concepts. *Applied Sciences*, 10 (21), 7441. doi: <https://doi.org/10.3390/app10217441>
- Fomin, O., Lovska, A., Khara, M., Nikolaienko, I., Lytvynenko, A., Sova, S. (2022). Adapting the load-bearing structure of a gondola car for transporting high-temperature cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253770>
- Lewandowski, K. (2006). Nadwozia wymienne (swap body) w bezterminalowym systemie transportu szynowego. *Sistemy transportowe*, 6, 53–55. Available at: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-article-BGPK-1398-5437/c/Lewandowski.pdf>
- Chuan-jin, O., Bing-tao, L. (2020). Research and application of new multimodal transport equipment-swap bodies in China. *E3S Web of Conferences*, 145, 02001. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014502001>
- Putyato, A. V. (2011). Osobennosti rascheta na prochnost' vagona-platforny dlya perevozki lesnykh gruzov. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport*, 1 (22), 13–18.
- Kelrikh, M. B., Fedosov-Nikonov, D. V. (2016). Doslidzhennia mitsnosti dovhobaznoi platforny. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 1 (225), 90–94.
- Silva, R., Ribeiro, D., Bragança, C., Costa, C., Arêde, A., Caçada, R. (2021). Model Updating of a Freight Wagon Based on Dynamic Tests under Different Loading Scenarios. *Applied Sciences*, 11 (22), 10691. doi: <https://doi.org/10.3390/app112210691>
- Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Reidemeister, A., Muradian, L., Potapenko, O. (2021). Determining the possibility of using removable equipment for transporting 20- and 40-foot-long containers on a universal platform wagon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (109)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225090>
- Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Dynamic Load Modelling within Combined Transport Trains during Transportation on a Railway Ferry. *Applied Sciences*, 10 (16), 5710. doi: <https://doi.org/10.3390/app10165710>
- Tretiak, E. V., Sulym, A. O., Khozia, P. O. (2020). Osnovni typy konstruktivnykh dovhobaznykh vahoniv – platform ta doslidzhennia yikh mitsnosnykh kharakterystyk. *Reikovy rukhomiy sklad*, 20, 27–33. Available at: <https://ukrndiv.com.ua/wp-content/uploads/2020/06/27-33.pdf>
- Petrukhin, V. M. (2007). Pat. No. 24430 UA. Vantazhna odynytisia. No. u200703159; declared: 26.03.2007; published: 25.06.2007, *Bul. No. 9*. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=106417>
- Petrukhin, V. M. (1997). Pat. No. 29934 UA. Prystryi dlia rozmishchennia i kriplennia vantazhiv na platformi. No. u97105256; declared: 29.10.1997; published: 15.11.2000, *Bul. No. 6*. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=79408>
- Petrukhin, V. M. (2008). Pat. No. 39951 UA. Vantazhna odynytisia. No. u200809416; declared: 18.07.2008; published: 25.03.2009, *Bul. No. 6*. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=130253>
- Barabash, M. S., Soroka, M. M., Surianinov, M. H. (2018). Neliniynna budivelnna mekhanika z PK Lira-Sapr. *Odessa: Ekolohiya*, 248.
- Vatulia, G., Lobiak, A., Orel, Y. (2017). Simulation of performance of circular CFST columns under short-time and long-time load. *MATEC Web of Conferences*, 116, 02036. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602036>
- Iwnicki, S. D., Stichel, S., Orlova, A., Hecht, M. (2015). Dynamics of railway freight vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 53 (7), 995–1033. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1037773>
- Yang, C., Li, F., Huang, Y., Wang, K., He, B. (2013). Comparative study on wheel-rail dynamic interactions of side-frame cross-bracing bogie and sub-frame radial bogie. *Journal of Modern Transportation*, 21 (1), 1–8. doi: <https://doi.org/10.1007/s40534-013-0001-3>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
- Masliev, V. H., Kelrikh, M. B. (2016). *Aktualni problemy dynamiky vahoniv*. Kharkiv: UkrDUZT, 97.
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
- Ibragimov, N. N., Rakhimov, R. V., Khadzhimukhamedova, M. A. (2015). Razrabotka konstruktivnykh konteynera dlya perevozki plodovoschnoy produktsii. *Molodoy ucheniy*, 21 (101), 168–173. Available at: <https://moluch.ru/archive/101/22929/>
- Bhattacharyya, R., Hazra, A. (2013). A study on Stress analysis of ISO tank container. 58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics. Available at: https://www.researchgate.net/publication/316320046_A_study_on_stress_analysis_of_ISO_tank_container
- Fomin, O., Gorbunov, M., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Research into the Strength of an Open Wagon with Double Sidewalls Filled with Aluminium Foam. *Materials*, 14 (12), 3420. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14123420>
- Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Dynamic Load and Strength Determination of Carrying Structure of Wagons Transported by Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (11), 902. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8110902>
- Nurmanova, V., Bagheri, M., Phung, T., Panda, S. K. (2017). Feasibility study on wind energy harvesting system implementation in moving trains. *Electrical Engineering*, 100 (3), 1837–1845. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-017-0664-6>
- Stoilov, V., Simić, G., Purgić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović, S., Maznichki, V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
- Štastniak, P., Moravčík, M., Smetanka, L. (2019). Investigation of strength conditions of the new wagon prototype type *Zans. MATEC Web of Conferences*, 254, 02037. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925402037>
- Shvabiuk, V. I. (2016). *Opir materialiv*. Kyiv: Znannia, 400.
- Kutsenko, A., Bondar, M., Chausov, M. (2019). *Prykladna mekhanika (opir materialiv)*. Kyiv: Tsentri navchalnoi literatury, 736.
- Siasiev, A. V. (2007). *Dyferentsialni rivniannia*. Dnipropetrovsk: Vyd-vo DNU, 356.
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>

32. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2021). Control and Accounting of Parameters of Electricity Consumption in Distribution Networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). doi: <https://doi.org/10.1109/maa52675.2021.9610907>
33. Dižo, J., Harušinec, J., Blatnický, M. (2017). Structural Analysis of a Modified Freight Wagon Bogie Frame. MATEC Web of Conferences, 134, 00010. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713400010>
34. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskyy, R., Repilo, I. et al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
35. Nalapko, O., Shyshatskyi, A., Ostapchuk, V., Mahdi, Q. A., Zhyvotovskyy, R., Petruk, S. et al. (2021). Development of a method of adaptive control of military radio network parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (109)), 18–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225331>
36. Lu, M., Chen, Y., Morphet, R., Lu, Y., Li, E. (2019). The spatial competition between containerised rail and sea transport in Eurasia. Palgrave Communications, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1057/s41599-019-0334-6>
37. Fomin, O., Lovska, A., Melnychenko, O., Shpylovyi, I., Masliyev, V., Bambura, O., Klymenko, M. (2019). Determination of dynamic load features of tank containers when transported by rail ferry. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (7 (101)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177311>
38. Domin, Yu. V. (2001). Zaliznychna tekhnika mizhnarodnykh transportnykh system (vantazhni perevezennia). Kyiv: “Yunikom-Pres”, 342.
39. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
40. Nikitchenko, A., Artiukh, V., Shevchenko, D., Prakash, R. (2016). Evaluation of Interaction Between Flat Car and Container at Dynamic Coupling of Flat Cars. MATEC Web of Conferences, 73, 04008. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167304008>
41. Artiukh, V., Nikitchenko, A., Ignatovich, I., Prykina, L. (2017). The prospects of creation of the draft gear with the polyurethane resin elastic element for the rolling stock. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 90, 012191. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012191>
42. Gevorkyan, E., Nerubatskyi, V., Chyshkala, V., Morozova, O. (2021). Revealing specific features of structure formation in composites based on nanopowders of synthesized zirconium dioxide. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (12 (113)), 6–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242503>
43. Lytovchenko, S. V., Gevorkyan, E. S., Nerubatskyi, V. P., Chyshkala, V. O., Voloshyna, L. V. (2022). A Study of the Peculiarities of Molding and Structure Formation of Compacted Multicomponent Silicide Composites. Journal of Superhard Materials, 44 (3), 176–190. doi: <https://doi.org/10.3103/s1063457622030054>
44. Lee, W. G., Kim, J.-S., Sun, S.-J., Lim, J.-Y. (2018). The next generation material for lightweight railway car body structures: Magnesium alloys. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 232 (1), 25–42. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409716646140>

DOI: [10.15587/1729-4061.2022.269840](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269840)

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT OF VARIABLE CONFIGURATION (p. 30–44)

Natalja Ashhepkova

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1870-1062>

This paper considers the construction of a mathematical model of the movement of an autonomous mobile robot (AMR) in variable configuration, taking into account the relationship of the dynamic parameters of a mechanical system.

As an example, the design of AMR with a manipulator is considered.

The object of this study is the dynamics of AMR with a manipulator. The peculiarities of the dynamics of AMR with the manipulator are due to the change in the position of the center of mass of the system with the relative movement of the manipulator and the commensurate non-diagonal and diagonal elements of the inertia tensor calculated relative to the axes of the base coordinate system. The construction of the mathematical model was carried out according to the Nyton-Euler method. The resulting mathematical model contains:

– an equation of motion of the center of mass of the AMR system of variable configuration along the trajectory in the inertial coordinate system;

– an equation of angular motion of AMR in variable configuration in the inertial coordinate system;

– an equation of motion of the manipulator with respect to AMR. In a general case, the center of mass of the AMR platform moves in a horizontal plane. Establishing the relationship of dynamic parameters of the mechanical system will make it possible to maintain functionality and ensure the orientation of AMR in vertical planes despite the movement of the manipulator. As an object of control, AMR with a manipulator is a multi-connected system with a cross-internal connection of control channels, which is formed by the dynamic parameters of a mechanical system. Based on the results of mathematical modeling using the proposed model, it is possible to develop algorithms for adaptive control using cross-connection of channels. This will make it possible to identify reserves to reduce energy consumption, increase stability, improve the efficiency and survivability of AMR in variable configuration during autonomous work under extreme conditions.

Keywords: autonomous mobile robot, manipulator, mathematical model, dynamics, dynamic parameters relationship.

References

1. Lopota, A., Spassky, B. (2020). Mobile ground-based robot systems for professional use. Robotics and Technical Cybernetics, 8 (1), 5–17. doi: <https://doi.org/10.31776/rtcj.8101>
2. Tsarichenko, S., Antokhin, E., Chernova, P., Dementey, V. (2020). The state and problems of standardization and unification of military ground robot systems. Robotics and Technical Cybernetics, 8 (1), 18–23. doi: <https://doi.org/10.31776/rtcj.8102>
3. Liu, X.-F., Li, H.-Q., Chen, Y.-J., Cai, G.-P. (2015). Dynamics and control of space robot considering joint friction. Acta Astronautica, 111, 1–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.02.010>
4. Liu, G., Geng, X., Liu, L., Wang, Y. (2019). Haptic based teleoperation with master-slave motion mapping and haptic rendering for space exploration. Chinese Journal of Aeronautics, 32 (3), 723–736. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.07.009>
5. Li, D., Lu, K., Cheng, Y., Zhao, W., Yang, S., Zhang, Y., Li, J., Shi, S. (2020). Dynamic analysis of multi-functional maintenance platform based on Newton-Euler method and improved virtual work principle. Nuclear Engineering and Technology, 52 (11), 2630–2637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.04.017>
6. Sun, H., Zhang, Y., Xue, J., Wu, Z. (2014). The remote control system of the manipulator. Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/chicc.2014.6896388>
7. Korayem, M. H., Shafei, A. M. (2015). Motion equation of nonholonomic wheeled mobile robotic manipulator with revolute-prismatic joints using recursive Gibbs–Appell formulation. Applied Mathematical Modelling, 39 (5-6), 1701–1716. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.09.030>

8. Ashhepkova, N. (2022). Analysis of the inertia tensor of autonomous mobile robot. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (2 (63)), 36–40. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.252712>
9. Ashchepkova, N. S. (2020). Algorithm for adaptive control of autonomous mobile robot. *Science and Education a New Dimension*, VIII (30 (244)), 41–44. doi: <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30-10>
10. Ashchepkova, N. S., Ashchepkov, S. A., Kapera, S. S. (2018). Dynamics of transport robot model during the turns. *Science and Education a New Dimension*, VI (19 (171)), 26–29. doi: <https://doi.org/10.31174/send-nt2018-171vi19-05>
11. Chebly, A., Talj, R., Charara, A. (2017). Coupled Longitudinal and Lateral Control for an Autonomous Vehicle Dynamics Modeled Using a Robotics Formalism. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 12526–12532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2190>
12. Mauny, J., Porez, M., Boyer, F. (2017). Symbolic Dynamic Modeling of Locomotion Systems with Persistent Contacts - Application to the 3D Bicycle. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (1), 7598–7605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1007>
13. Ma, Y. (2020). Dynamics of tracked UGVs in three-dimensional space. *Dynamics and Advanced Motion Control of Off-Road UGVs*, 77–94. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818799-9.00003-7>
14. Gilimyanov, R. F., Pesterev, A. V., Rapoport, L. B. (2008). Motion control for a wheeled robot following a curvilinear path. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 47 (6), 987–994. doi: <https://doi.org/10.1134/s1064230708060129>
15. Bertonecelli, F., Ruggiero, F., Sabattini, L. (2019). Wheel Slip Avoidance through a Nonlinear Model Predictive Control for Object Pushing with a Mobile Robot. *IFAC-PapersOnLine*, 52 (8), 25–30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.043>
16. Ashchepkova, N. S. (2021). Control of a dynamic object with a non-diagonal and non-stationary inertia tensor moving along a trajectory. *Modern engineering and innovative technologies*, 18 (2), 44–52. Available at: <https://www.moderntechno.de/index.php/meit/issue/view/meit18-02/meit18-02>
17. Bai, S., Zhou, L., Wu, G. (2014). Manipulator Dynamics. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*, 1855–1872. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4_91
18. Ashchepkova, N. S., Sheptun, Yu. D. (1997). Mathematical model of the motion of a space vehicle with a manipulator. *Space Science and Technology*, 3 (5-6), 34–42. doi: <https://doi.org/10.15407/knit1997.05.034>
19. Korayem, M. H., Shafei, A. M., Seidi, E. (2014). Symbolic derivation of governing equations for dual-arm mobile manipulators used in fruit-picking and the pruning of tall trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 105, 95–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.04.013>
20. Lloyd, S., Irani, R., Ahmadi, M. (2021). A numeric derivation for fast regressive modeling of manipulator dynamics. *Mechanism and Machine Theory*, 156, 104149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.104149>
21. Khurpade, J., Dhani, S. S., Banwait, S. S. (2018). A Virtual Model of 2D Planar Manipulator Dynamics. 2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT). doi: <https://doi.org/10.1109/icssit.2018.8748674>
22. Tian, S. X., Wang, S. Z. (2011). Dynamic Modeling and Simulation of a Manipulator with Joint Inertia. *Information and Automation*, 10–16. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-19853-3_2
23. Bulhakov, V. M., Yaremenko, V. V., Chernysh, O. M., Berezovyi, M. H. (2019). *Teoretychna mekhanika*. Kyiv: TsUL, 640.
24. Kuzo, I. V., Zinko, Ya. A., Vankovych, T.-N. M. et al. (2017). *Teoretychna mekhanika*. Kharkiv: Folio, 576.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268718

ESTIMATING THE STABILITY OF STEADY MOTION OF VIBRATION MACHINES OPERATING ON THE SOMERFELD EFFECT USING AN EMPIRICAL METHOD (p. 45–53)

Gennadiy FilimonikhinCentral Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2819-0569>**Volodymyr Amosov**Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0154-2886>**Antonina Haleeva**Mykolayiv Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8017-3133>**Iryna Ienina**Flight Academy of the National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2122-7808>**Mareks Mezitis**Transport Academy, Lestenes pag., Latvia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0269-7297>**Yuriy Nevdkaha**Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4355-4065>**Guntis Strautmanis**Latvian Maritime Academy, Riga, Latvia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8405-939X>**Oleksii Vasylykovskiy**Central Ukrainian National Technical University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9590-742X>

One-, two-, and three-mass vibration machines with translational motion of platforms and a vibration exciter of a ball, roller, or pendulum type with several loads were studied. The empirical criterion for the onset of auto-balancing was applied in the extended formulation.

It has been established that a single-mass vibration machine has one resonant speed, and:

- at the after-resonance speeds of rotation of loads synchronously with the rotor, the auto-balancing mode becomes stable;
- at the pre-resonance speeds of rotation of loads, loads tend to gather together.

In a dual-mass vibration machine, there are two resonant speeds and one additional speed located between two resonant ones. The auto-balancing mode is stable when the loads rotate synchronously with the rotor at the following speeds:

- between the first resonant speed and the additional speed;
- greater than the second resonant speed.

At other speeds of rotation of loads, loads tend to gather together.

The three-mass vibration machine has three resonant speeds and two additional speeds, located one by one between adjacent resonant speeds. The auto-balancing mode is stable when the loads rotate synchronously with the rotor at the following speeds:

- between the first resonant speed and the first additional speed;
- between the second resonant speed and the second additional speed;
- greater than the third resonant speed.

At other speeds of rotation of loads, loads tend to gather together.

In a single-mass vibration machine, the value of the resonant speed does not depend on the viscosity of supports. In dual-mass and three-mass vibration machines, all characteristic speeds depend on the viscosity of supports. With small forces of viscous resistance, the values of these speeds are close to the characteristic speeds found in the absence of resistance forces.

Keywords: inertial vibration exciter, resonant vibration machine, steady state mode of motion, Sommerfeld effect, stability of motion.

References

1. Thearle, E. L. (1950). Automatic dynamic balancers (Part 2 – Ring, pendulum, ball balancers). *Machine Design*, 22 (10), 103–106.
2. Sommerfeld, A. (1902). Beiträge zum dynamischen Ausbau der Festigkeitslehre. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 46, 391–394.
3. Ryzhik, B., Sperling, L., Duckstein, H. (2004). Non-Synchronous Motions Near Critical Speeds in a Single-Plane Auto-Balancing Device. *Technische Mechanik*, 24 (1), 25–36. Available at: <https://journals.uni-magdeburg.de/index.php/techmech/article/view/911>
4. Lu, C.-J., Tien, M.-H. (2012). Pure-rotary periodic motions of a planar two-ball auto-balancer system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 32, 251–268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.06.001>
5. Jung, D. (2018). Supercritical Coexistence Behavior of Coupled Oscillating Planar Eccentric Rotor/Autobalancer System. *Shock and Vibration*, 2018, 1–19. doi: <https://doi.org/10.1155/2018/4083897>
6. Drozdetskaya, O., Fidin, A. (2021). Passing through resonance of the unbalanced rotor with self-balancing device. *Nonlinear Dynamics*, 106 (3), 1647–1657. doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-021-06973-4>
7. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2017). Equations of motion of vibration machines with a translational motion of platforms and a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111216>
8. Kuzo, I. V., Lanets, O. V., Gurskyi, V. M. (2013). Synthesis of low-frequency resonance vibratory machines with an aeroinertia drive. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 2, 60–67. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_2_11
9. Tusset, A. M., Bueno, Á. M., dos Santos, J. P. M., Tsuchida, M., Balthazar, J. M. (2016). A non-ideally excited pendulum controlled by SDRE technique. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38 (8), 2459–2472. doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0517-7>
10. Blekhman, I. I., Semenov, Yu. A., Yaroshevych, M. P. (2020). On the Possibility of Designing Adaptive Vibration Machinery Using Self-synchronizing Exciters. *Mechanisms and Machine Science*, 231–236. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33491-8_28
11. Sperling, L., Ryzhik, B., Duckstein, H. (2004). Single-Plane Auto-Balancing of Rigid Rotors. *Technische Mechanik*, 24 (1).
12. Yaroshevich, N., Puts, V., Yaroshevich, T., Herasymchuk, O. (2020). Slow oscillations in systems with inertial vibration exciters. *Vibro-engineering PROCEDIA*, 32, 20–25. doi: <https://doi.org/10.21595/vp.2020.21509>
13. Sohn, J.-S., Lee, J. W., Cho, E.-H., Park, N.-C., Park, Y.-P. (2007). Dynamic Analysis of a Pendulum Dynamic Automatic Balancer. *Shock and Vibration*, 14 (2), 151–167. doi: <https://doi.org/10.1155/2007/452357>
14. Filimonikhin, G., Filimonikhina, I., Dumenko, K., Lichuk, M. (2016). Empirical criterion for the occurrence of auto-balancing and its application for axisymmetric rotor with a fixed point and isotropic elastic support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (83)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79970>
15. Filimonikhin, G., Filimonikhina, I., Yakymenko, M., Yakimenko, S. (2017). Application of the empirical criterion for the occurrence of auto-balancing for axisymmetric rotor on two isotropic elastic supports. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (86)), 51–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96622>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265224

DEVELOPMENT OF A METHOD TO HARVEST MECHANICAL ENERGY TO USE AS AN ALTERNATIVE TO ELECTRICAL ENERGY IN ELECTRIC POWERED RIDES (p. 54–62)

Rajesh Kannan Megalingam

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1097-5576>

Bharath Sasikumar

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7455-8961>

Dhananjay Raghavan

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1808-4479>

Shree Rajesh Raagul Vadivel

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8108-6576>

Sreekanth Makkal Mohandas

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2922-6746>

Sakthiprasad Kuttankulangara Manoharan

Amrita Vishwa Vidyapeetham, Kollam, India
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4234-3995>

Mechanical energy harvesting, storage and utilization methods and devices are a little explored area with a potential to replace electrical energy in machines operated with electricity and which is environmentally friendly. Energy harvesting from human actions is an optimistic solution to provide energy supply. There are various methods and techniques that discuss energy harvesting from human actions. The problem is that most of these methods deal with tiny energy output. The object of this study is to design and characterize a flat spiral spring based method to harvest enough mechanical energy, to store and to drive a ride as in an amusement park instead of electricity. A flat spiral spring is specifically designed and fabricated for this purpose. To begin with, a life-size prototype of the kids' ride using the flat spiral spring is modeled, analyzed, fabricated and implemented on the kids' ride prototype. The stability of the ride is analyzed by modeling the impact of the collision between two kids' rides. Energy is harvested by winding the spring by hands using a handle or by pulling back the kids' ride and is stored in the spring. Experimental results show that the proposed method of harvesting, storing and utilization of mechanical energy can be an alternative to electrical energy in operating high-power machines like kids' rides. An optimum width of 30 mm and a thickness of 1.4 mm for the flat spiral spring are found to help in ease of manufacturability, ease of rotation by human and compactness. The average force required to wind the spring is calculated to be 16.06 N, which is approximately 33 % of the force that can be exerted by a human hand. The stability of the proposed system in case of collision is verified by calculating the roll angle, which is less than 3.83 degrees, which is well below the recommended roll angle limit in case of collision.

Keywords: mechanical energy harvesting, alternative to electricity, energy conversion, flat spiral spring, kids' ride.

References

1. Indian Amusement Park Industry. *Insight Alpha*. Available at: https://insightalpha.com/news_details.php?cid=81&sid=11&nid=402
2. Wang, J. C., Wang, Y.-C., Ko, L., Wang, J. H. (2017). Greenhouse gas emissions of amusement parks in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 581–589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.070>

3. Fan, F. R., Tang, W., Wang, Z. L. (2016). Flexible Nanogenerators for Energy Harvesting and Self-Powered Electronics. *Advanced Materials*, 28 (22), 4283–4305. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201504299>
4. Guo, L., Lu, Q. (2017). Potentials of piezoelectric and thermoelectric technologies for harvesting energy from pavements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 761–773. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.090>
5. Donelan, J. M., Li, Q., Naing, V., Hoffer, J. A., Weber, D. J., Kuo, A. D. (2008). Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity During Walking with Minimal User Effort. *Science*, 319 (5864), 807–810. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1149860>
6. Abdelkareem, M. A. A., Xu, L., Ali, M. K. A., Elagouz, A., Mi, J., Guo, S. et al. (2018). Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review. *Applied Energy*, 229, 672–699. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.030>
7. Guo, H., He, X., Zhong, J., Zhong, Q., Leng, Q., Hu, C. et al. (2014). A nanogenerator for harvesting airflow energy and light energy. *J. Mater. Chem. A*, 2 (7), 2079–2087. doi: <https://doi.org/10.1039/c3ta14421f>
8. Jiang, T., Zhang, L. M., Chen, X., Han, C. B., Tang, W., Zhang, C. et al. (2015). Structural Optimization of Triboelectric Nanogenerator for Harvesting Water Wave Energy. *ACS Nano*, 9 (12), 12562–12572. doi: <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b06372>
9. de Araujo, M. V. V., Nicoletti, R. (2015). Electromagnetic harvester for lateral vibration in rotating machines. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 52–53, 685–699. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.07.025>
10. Ting, C.-C., Tsai, D.-Y., Hsiao, C.-C. (2012). Developing a mechanical roadway system for waste energy capture of vehicles and electric generation. *Applied Energy*, 92, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.10.006>
11. Trinh, V. L., Chung, C. K. (2018). Harvesting mechanical energy, storage, and lighting using a novel PDMS based triboelectric generator with inclined wall arrays and micro-topping structure. *Applied Energy*, 213, 353–365. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.039>
12. Li, X., Chen, C., Li, Q., Xu, L., Liang, C., Ngo, K. et al. (2020). A compact mechanical power take-off for wave energy converters: Design, analysis, and test verification. *Applied Energy*, 278, 115459. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115459>
13. Halim, M. A., Rantz, R., Zhang, Q., Gu, L., Yang, K., Roundy, S. (2018). An electromagnetic rotational energy harvester using sprung eccentric rotor, driven by pseudo-walking motion. *Applied Energy*, 217, 66–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.093>
14. Xue, T., Yeo, H. G., Trolrier-McKinstry, S., Roundy, S. (2018). Wearable inertial energy harvester with sputtered bimorph lead zirconate titanate (PZT) thin-film beams. *Smart Materials and Structures*, 27 (8), 085026. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-665x/aa037>
15. von Buren, T., Mitcheson, P. D., Green, T. C., Yeatman, E. M., Holmes, A. S., Troster, G. (2006). Optimization of inertial micro-power Generators for human walking motion. *IEEE Sensors Journal*, 6 (1), 28–38. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2005.853595>
16. Mi, J., Li, Q., Liu, M., Li, X., Zuo, L. (2020). Design, modelling, and testing of a vibration energy harvester using a novel half-wave mechanical rectification. *Applied Energy*, 279, 115726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115726>
17. Wu, F., Li, C., Yin, Y., Cao, R., Li, H., Zhang, X. et al. (2018). A Flexible, Lightweight, and Wearable Triboelectric Nanogenerator for Energy Harvesting and Self-Powered Sensing. *Advanced Materials Technologies*, 4 (1), 1800216. doi: <https://doi.org/10.1002/admt.201800216>
18. Cao, S., Li, J. (2017). A survey on ambient energy sources and harvesting methods for structural health monitoring applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 9 (4), 1687814017696210. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814017696210>
19. Megalingam, R. K., Nair, L. M., Viswanath, M., Sugathan, S. (2012). Pedalite: Lighting up Lives in Un-electrified Villages. 2012 IEEE Global Humanitarian Technology Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/ghct.2012.61>
20. Megalingam, R. K., Gedela, V. V. (2017). Solar powered automated water pumping system for eco-friendly irrigation. 2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI). doi: <https://doi.org/10.1109/icici.2017.8365208>
21. Prabhu, R. S., Vasudev, O. P. N., Nandu, V., Lokesh, K. J., Anudev, J. (2018). Design and Implementation of A Power Conversion System On A Bicycle With Utilisation By Sensors. 2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). doi: <https://doi.org/10.1109/i-smac.2018.8653679>
22. Bhargavi, P., Likhthi, S., Mohanty, A., Mahalakshmi, R. (2021). Design and Power Flow Control in TCSC Compensated SCIG based Wind Energy Conversion Systems. 2021 5th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). doi: <https://doi.org/10.1109/iceca52323.2021.9675974>
23. Zou, H.-X., Zhao, L.-C., Gao, Q.-H., Zuo, L., Liu, F.-R., Tan, T. et al. (2019). Mechanical modulations for enhancing energy harvesting: Principles, methods and applications. *Applied Energy*, 255, 113871. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113871>
24. Evans, V. (2020). Newton's Laws, G-forces and the impact on the brain. *Australasian Journal of Neuroscience*, 30 (1), 24–29. doi: <https://doi.org/10.21307/ajon-2020-003>
25. Chen, J.-S., Chen, I.-S. (2015). Deformation and vibration of a spiral spring. *International Journal of Solids and Structures*, 64–65, 166–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2015.03.022>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269399

DETERMINING STATIC CHARACTERISTICS OF CORRUGATED SHELL ELEMENTS MADE FROM COMPOSITE MATERIALS (p. 63–76)

Irina Polyakova

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4080-5423>

Raikhan Imambayeva

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0806-3308>

Bakyt Aubakirova

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3064-5876>

Nazym Shogelova

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5220-1459>

Yevgeniya Glyzno

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9914-0764>

Aigerim Zhumagulova

International Educational Corporation, Campus “Kazakh Head of Architecture and Civil Engineering Academy”, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4120-3002>

This paper considers elastic shell elements. They move under pressure. The type of dependence of displacement on pressure is called the elastic characteristic of the element. The object of this study is shell elements with a complex surface shape, consisting of composite materials of the “metal-metal” type. The composite is a metal shell with reinforcing fiber made of another metal material. The form of reinforcement is different. The task to be solved is to determine the elastic characteristics of the shell elements depending on the geometric parameters, as well as the mechanical values of the shell at its various points and in different directions. To this end, algorithms were built for calculating mechanical quantities depending on the percentage of the fiber and the shell matrix. It was required to derive a system of equations for determining the displacements and internal forces in the element depending on the geometric and mechanical parameters. A numerical calculation of shell elastic elements was performed and a comparison of the results of analytical calculation according to the algorithm developed in this work and experimental data was performed. The match between these results is 99.8–100 %. The characteristics of the shell elements were determined depending on the type of reinforcing fiber and matrix, on the geometric parameters, and the type of reinforcement of the shell. These studies make it possible to design shell elements with specified characteristics and predefined sensitivity.

Keywords: corrugated shell membrane, elastic static characteristic, composite materials, mechanical characteristics of reinforced shells.

References

- Andreeva, L. E. (1962). *Uprugie elementy priborov*. Moscow: Mashgiz, 456.
- Alfutov, N. A., Zinov'ev, P. A., Popov, B. G. (1984). *Raschet mnogosloynnyh plastin i obolochek iz kompozitsionnyh materialov*. Moscow: Mashinostroenie, 264.
- Shimyrbaev, M. K. (1992). *Utochnennyye metody opredeleniya uprugih postoyannyh odnonapravlenno armirovannogo materiala*. Vestnik AN RK.
- Kurochka, K. S., Nesterenya, I. L. (2014). *Raschet mnogosloynnyh osesimmetrichnyh obolochek metodom konechnykh elementov. Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2014 (ITS 2014): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Minsk, 214–215. Available at: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/2008>
- Golova, T. A., Andreeva, N. V. (2019). *Analysis of methods of calculation of layered plates and shells for the calculation of multilayer structures*. The Eurasian Scientific Journal, 5 (11).
- Bazhenov, V. A., Solovei, N. A., Krivenko, O. P., Mishchenko, O. A. (2014). *Modeling of nonlinear deformation and buckling of elastic inhomogeneities shells. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*, 5, 14–33.
- Kairov A. S., Vlasov O. I., Latanskaya L. A. (2017). *Free vibrations of constructional non-homogeneous multilayer orthotropic composite cylindrical shells. Visnik Zaporiz'kogo nacional'nogo universitetu. Fiziko-matematichni nauki*, 2, 57–65.
- San'kov, P., Tkach, N., Voziian, K., Lukianenko, V. (2016). *Composite building materials and products. International scientific journal*, 4 (1), 80–82. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2016_4\(1\)_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2016_4(1)_24)
- Yankovskii, A. P. (2020). *The refined model of viscoelastic-plastic deformation of reinforced cylindrical shells. PNRPU Mechanics Bulletin*, 1, 138–149. doi: <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2020.1.11>
- Bakulin, V. N. (2019). *Posloynnyy analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya trekhsloynnyh obolochek s vyrezami. Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Mekhanika Tverdogo Tela*, 2, 111–125. doi: <https://doi.org/10.1134/s0572329919020028>
- Senjanović, I., Čakmak, D., Alujević, N., Čatipović, I., Vladimir, N., Cho, D.-S. (2019). *Pressure and rotation induced tensional forces of toroidal shell and their influence on natural vibrations. Mechanics Research Communications*, 96, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2019.02.003>
- Polyakova, I., Imambayeva, R., Aubakirova, B. (2021). *Determining the dynamic characteristics of elastic shell structures. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (114)), 43–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245885>
- Abramczyk, J. (2021). *Transformed Shell Structures Determined by Regular Networks as a Complex Material for Roofing. Materials*, 14 (13), 3582. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14133582>
- Treshchev, A., Lapshina, M., Zavyalova, Y. (2021). *Thermomechanical deformation of the orthotropic shell taking into account the deformation anisotropy. E3S Web of Conferences*, 274, 03026. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127403026>
- Myntiuk, V. (2021). *Spectral solution to a problem on the axisymmetric nonlinear deformation of a cylindrical membrane shell due to pressure and edges convergence. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (113)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242372>
- Liu, Y., Zhu, R., Qin, Z., Chu, F. (2022). *A comprehensive study on vibration characteristics of corrugated cylindrical shells with arbitrary boundary conditions. Engineering Structures*, 269, 114818. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114818>
- Lai, M., Eugster, S. R., Reccia, E., Spagnuolo, M., Cazzani, A. (2022). *Corrugated shells: An algorithm for generating double-curvature geometric surfaces for structural analysis. Thin-Walled Structures*, 173, 109019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109019>
- Khurukijwanich, C., Aimmanee, S. (2021). *Anisotropic behaviors of helically corrugated cylindrical shells: Homogenized in-plane stiffness. Thin-Walled Structures*, 160, 107378. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107378>
- Khurukijwanich, C., Aimmanee, S. (2021). *Anisotropic behaviors of helically corrugated cylindrical shells: Stress distributions and edge effects. Thin-Walled Structures*, 168, 108263. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108263>
- Biderman, V. L. (1977). *Mekhanika tonkostennykh konstruksiy*. Moscow: Mashinostroenie, 488.

АНОТАЦІЇ
APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268904

ОЦІНЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПІДСИЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТРУБИ ПРИ СУМІСНІЙ ДІЇ ТЕМПЕРАТУРИ СЕРЕДОВИЩА ТА СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ (с. 6–12)**В. В. Ковальчук, Р. Т. Рибак, Ю. М. Гнатів, В. А. Ткаченко, А. М. Онищенко, І. Б. Кравець, Ю. М. Германюк, М. О. Баб'як, Н. О. Гембара, І. В. Вельган**

Об'єктом досліджень є підсилена тришарова транспортна труба, що зазнає сумісної дії температури навколишнього середовища та статичного навантаження ґрунту земляного полотна дороги.

Удосконалено аналітичну модель оцінювання напружено-деформованого стану підсиленних тришарових труб, при сумісній дії температури та статичних навантажень, із використанням теорії пружності.

Проведено оцінювання напружено-деформованого стану підсиленої труби із врахуванням величин сумісної дії температури і навантажень від транспортних засобів, фізико-механічних параметрів конструкційних матеріалів та геометричних параметрів труби.

У результаті розрахунку підсиленої багатошарової труби встановлено, що максимальні переміщення, які виникають на зовнішній стороні дефектної труби складають 0,64 мм, металевої труби – 0,75 мм та у бетонному розчині (дрібнозернистому бетоні) 0,69 мм.

Встановлено, що при сумісній дії температури навколишнього середовища та статичних навантажень від насипу земляного полотна максимальними є кільцеві напруження. Вони становлять 151 МПа. Високими також є осьові напруження – 141 МПа. При цьому максимальні радіальні напруження є найменшими – 37,4 МПа.

Встановлено, що на контактні конструкційних матеріалів підсиленої труби виникає невеликий перепад переміщень. Однак величина напружень є високою. Максимальна величина перепаду кільцевих напружень склала 73 МПа, при цьому перепад радіальних та осьових напружень склав до 1,0 МПа.

Встановлено, що для відновлення несучої здатності пошкоджених залізобетонних труб можна використовувати технологію ремонту, методом «гільзування». Вона передбачає у протягуванні металевої труби у середину пошкодженої із заповненням бетонним розчином прошарку, що залишається між бетонною дефектною та новою металевою трубами.

Ключові слова: бетонна дефектна труба, температура, металева труба, переміщення, напруження, статичне навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266933

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБЕРТОВИХ АНІЗОТРОПНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З ОТВОРОМ НА ОСНОВІ ВАРІАЦІЙНОГО RVR-МЕТОДУ (с. 13–20)**В. А. Сало, В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, В. П. Раківненко, В. В. Воїнов, В. І. Самоквіт, М. О. Кіторов**

Запропоновано новий варіаційний RVR-метод розрахунку тривимірного напружено-деформованого стану статично навантажених оболонкових елементів конструкцій з отворами довільних форм і розмірів. Науково обґрунтований RVR-метод заснований на використанні варіаційного принципу Рейсснера, метода Векуа, теорії R-функцій Рвачова та загальних рівнянь просторової теорії пружності. Застосування змішаного варіаційного принципу Рейсснера призводить до підвищення точності рішення крайових задач в силу незалежного варіювання вектору переміщень і тензора напружень. Метод Векуа дозволяє замінити рішення тривимірної задачі регулярною послідовністю рішень двовимірних задач. Теорія R-функцій на аналітичному рівні враховує геометричну інформацію крайових задач, що необхідно для побудови структур розв'язків, які точно задовольняють усім граничним умовам. При цьому розроблений алгоритм двосторонньої інтегральної оцінки точності дозволяє автоматизувати пошук такої кількості апроксимацій, при якому процес збіжності розв'язків набуває стійкого характеру. Можливості RVR-методу показані в чисельних прикладах розв'язання крайових задач розрахунку циліндричних оболонок з еліптичним отвором при завданні відцентрових навантажень за деформованою схемою. Розрахунки за вказаною схемою навантаження анізотропного циліндра призводять (при певних величинах кутової швидкості обертання) до суттєвого збільшення напружень. Тому для отримання достовірних результатів треба задавати відцентрове навантаження, що враховує зміну розмірів тіла в процесі його деформації. Обговорено характерні особливості запропонованого RVR-методу, який може знайти ефективне застосування при виготовленні оболонкових елементів конструкцій в різних галузях техніки.

Ключові слова: обертова ортотропна оболонка з отвором, концентрація напружень, принцип Рейсснера, теорія R-функцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266855 266855

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОНЦЕПТУ ЗЙОМНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ДОВГОМІРНИХ ВАНТАЖІВ (с. 21–29)**Г. Л. Ватуля, А. О. Ловська, М. В. Павлюченков, В. П. Нерубацький, А. М. О कोरोков, Д. А. Гордієнко, Р. В. Вернигора, І. Л. Журавель**

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції зйомного модуля для перевезень довгомірних вантажів.

Для адаптації вагонів-платформ до перевезень довгомірних вантажів пропонується впровадження зйомного модуля з пружно-фрикційними зв'язками в конструкції.

З метою вибору оптимальних з точки зору мінімальної матеріалоемності профілів виконання зйомного модуля проведено розрахунок у програмному комплексі "Ліра". За результатами розрахунку створено просторову модель концепту зйомного модуля.

Для визначення динамічних навантажень, які діють на вагон-платформу, завантажений зйомним модулем проведено математичне моделювання. Встановлено, що використання пружно-фрикційних зв'язків в конструкції зйомного модуля сприяє зменшенню його динамічної навантаженості, а також вагона-платформи на 4,6 %. Отримане прискорення враховане при розрахунках на міцність зйомного модуля. Результати розрахунку показали, що міцність зйомного модуля при експлуатаційних навантаженнях забезпечується.

Особливістю отриманих результатів є те, що запропонована конструкція зйомного модуля дозволяє не тільки адаптувати вагон-платформу до перевезень довгомірних вантажів, а і зменшити його навантаженість в експлуатації.

Сферою практичного використання отриманих результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Необхідно сказати, що умовами практичного використання результатів є впровадження пружно-фрикційних зв'язків в конструкцію зйомного модуля.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій транспортних засобів, зокрема зйомного типу, а також підвищенню ефективності залізничних перевезень.

Ключові слова: транспортна механіка, зйомний модуль, несуча конструкція, міцність конструкції, адаптація конструкції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269840

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІКИ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА ЗМІНЮВАНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ (с. 30–44)

Н. С. Ащепкова

Стаття присвячена розробці математичної моделі руху автономного мобільного робота (АМР) змінюваної конфігурації з врахуванням взаємозв'язку динамічних параметрів механічної системи.

В якості прикладу розглянуто конструкцію АМР з маніпулятором.

Об'єкт дослідження – динаміка АМР з маніпулятором. Особливості динаміки АМР з маніпулятором обумовлені зміною положення центру мас системи при відносному русі маніпулятора та сумірністю недиагональних і діагональних елементів тензору інерції, обчислених відносно осей базової системи координат. Складання математичної моделі здійснено за методом Ньютона-Ейлера. Отримана математична модель містить:

- рівняння руху центру мас системи АМР змінюваної конфігурації вздовж траєкторії в інерціальній системі координат;
- рівняння кутового руху АМР змінюваної конфігурації в інерціальній системі координат;
- рівняння руху маніпулятора відносно АМР.

У загальному випадку центр мас платформи АМР рухається у горизонтальній площині. Встановлення взаємозв'язку динамічних параметрів механічної системи дозволить зберегти функціональність та забезпечити орієнтацію АМР у вертикальних площинах незважаючи на переміщення маніпулятора.

Як об'єкт керування АМР з маніпулятором це багатозв'язна система з перехресним внутрішнім зв'язком каналів керування, який утворено динамічними параметрами механічної системи. За результатами математичного моделювання із застосуванням запропонованої моделі можна розробити алгоритми адаптивного керування з використанням перехресного зв'язку каналів. Це дасть можливість виявити резерви для зниження енерговитрат, підвищення стійкості, поліпшення ефективності і живучості АМР змінюваної конфігурації при автономній роботі в екстремальних умовах.

Ключові слова: автономний мобільний робот, маніпулятор, математична модель, динаміка, взаємозв'язок динамічних параметрів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.268718

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ УСТАЛЕНИХ РУХІВ ВІБРОМАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ЕФЕКТІ ЗОМЕРФЕЛЬДА ЕМПІРИЧНИМ МЕТОДОМ (с. 45–53)

Г. Б. Філімоніхін, В. В. Амосов, А. П. Галєєва, І. І. Єніна, М. Мезіріс, Ю. А. Невдаха, Г. Страутманис, О. М. Васильковський

Вивчалися одно-, дво- і трьохмасові вібростани з поступальним рухом платформ і вібростаном кульового, роликового чи маятникового типу з декількома вантажами. Застосовувався емпіричний критерій настання автобалансування у розширеному формулюванні.

Встановлено, що у одномасової вібростани існує одна резонансна швидкість, причому:

- на зарезонансних швидкостях обертання вантажів синхронно з ротором стійким стає режим автобалансування;
- на дорезонансних швидкостях обертання вантажів, вантажі схильні збиратися разом.

У двомасової вібростани існують дві резонансні швидкості і одна додаткова швидкість, розташована між двома резонансними. Автобалансувальний режим стійкий при обертанні вантажів синхронно з ротором з швидкостями:

- між першою резонансною швидкістю і додатковою швидкістю;
- більшими за другу резонансну швидкість.

На інших швидкостях обертання вантажів, вантажі схильні збиратися разом.

У трьохмасової вібростани існують три резонансні швидкості і дві додаткові швидкості, розташовані по одній між сусідніми резонансними швидкостями. Автобалансувальний режим стійкий при обертанні вантажів синхронно з ротором з швидкостями:

- між першою резонансною швидкістю і першою додатковою швидкістю; – між другою резонансною швидкістю і другою додатковою швидкістю;
- більшими за третю резонансну швидкість.

На інших швидкостях обертання вантажів, вантажі схильні збиратися разом.

У одномасовій вібростанини величина резонансної швидкості не залежить від в'язкості опор. У двомасовій і трьохмасовій вібростанини всі характерні швидкості залежать від в'язкості опор. При невеликих силах в'язкого опору величини цих швидкостей близькі до характерних швидкостей, знайдених за відсутністю сил опор.

Ключові слова: інерційний вібростанин, резонансна вібростанина, усталений режим руху, ефект Зомерфельда, стійкість руху.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265224

РОЗРОБКА СПОСОБУ ЗБОРУ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЯКОСТІ АЛЬТЕРНАТИВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ АТРАКЦІОНАХ (с. 54–62)

Rajesh Kannan Megalingam, Bharath Sasikumar, Dhananjay Raghavan, Shree Rajesh Raagul Vadivel, Sreekanth Makkal Mohandas, Sakthiprasad Kuttankulangara Manoharan

Методи та пристрої збору, зберігання та використання механічної енергії, яка потенційно може замінити електричну енергію в машинах, що працюють на електриці, і є екологічно чистою, є маловивченою областю. Збір енергії, одержуваної в результаті дій людини, є оптимістичним рішенням для забезпечення енергопостачання. Існують різні методи і технології отримання енергії від дій людини. Проблема полягає в тому, що більшість з цих методів дозволяють отримати дуже малий вихід енергії. Метою дослідження є розробка та характеристика методу на основі плоскої спіральної пружини для збору достатньої кількості механічної енергії, зберігання та управління атракціоном, як у парку розваг, замість електрики. Для цього спеціально розроблена і виготовлена плоска спіральна пружина. Для початку з використанням плоскої спіральної пружини моделюється, аналізується, виготовляється та реалізується прототип дитячого атракціону в натуральну величину. Стійкість атракціону аналізується шляхом моделювання наслідків зіткнення двох дитячих атракціонів. Енергія збирається шляхом намотування пружини руками за допомогою ручки або відтягування дитячого атракціону назад і накопичується в пружині. Результати експериментів показують, що запропонований спосіб збору, зберігання та використання механічної енергії може бути альтернативою електричній енергії при експлуатації високопотужних машин, таких як дитячі атракціони. Встановлено, що оптимальна ширина 30 мм і товщина 1,4 мм для плоскої спіральної пружини сприяють простоті виготовлення, легкості обертання людиною і компактності. Середнє зусилля, необхідне для намотування пружини, становить 16,06 Н, що є приблизно 33 % від зусилля, що може бути прикладено людською рукою. Стійкість запропонованої системи при зіткненні перевіряється шляхом розрахунку кута нахилу менше 3,83 градусів, що значно нижче рекомендованої межі кута нахилу при зіткненні.

Ключові слова: збір механічної енергії, альтернатива електриці, перетворення енергії, плоска спіральна пружина, дитячий атракціон

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269399

ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОФРОВАНИХ ОБОЛОНКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ (с. 63–76)

Irina Polyakova, Raikhan Imambayeva, Bakyt Aubakirova, Nazym Shogelova, Yevgeniya Glyzno, Aigerim Zhumagulova

У цій роботі розглядалися пружні оболонкові елементи. Під тиском вони переміщуються. Вид залежності переміщення від тиску називається пружною характеристикою елемента. Об'єктом дослідження є оболонкові елементи, що мають складну форму поверхні та складаються з композитних матеріалів типу «метал-метал». Композит є металевою оболонкою з армуючим волокном з іншого металевого матеріалу. Форма армування різна. Розв'язувана проблема полягає у визначенні пружних характеристик оболонкових елементів залежно від геометричних параметрів, а також механічних величин оболонки у різних її точках та за різними напрямками. Для цього було складено алгоритми обчислення механічних величин залежно від відсоткового вмісту волокна та матриці оболонки. Необхідно було вивести систему рівнянь визначення переміщень і внутрішніх зусиль в елементі залежно від геометричних і механічних параметрів. Виконано чисельний розрахунок оболонкових пружних елементів та дано порівняння результатів аналітичного розрахунку за алгоритмом, розробленим у даній роботі, та досвідченими даними. Збіг цих результатів досягає 99,8–100 %. Отримано характеристики оболонкових елементів залежно від виду армуючого волокна та матриці, від геометричних параметрів та виду армування оболонки. Ці дослідження дозволяють проектувати оболонкові елементи із заданими характеристиками та заданою чутливістю.

Ключові слова: гофрована оболонкова мембрана, пружна статична характеристика, композитні матеріали, механічні характеристики армованих оболонок.