

## ABSTRACT AND REFERENCES

## APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.278267

**DETERMINING LOADING PATTERNS IN THE BEARING STRUCTURE OF A RAILROAD FLATCAR WITH A FLOOR MADE FROM SANDWICH PANELS (p. 6–13)****Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**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>**Roman Vernyhora**Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7618-4617>**Iryna Zhuravel**Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4405-6386>

The object of research is the processes of emergence, perception, and redistribution of loads in the supporting structure of a flatcar with a floor made of sandwich panels.

To reduce the impact of dynamic loads on the supporting structure of a flatcar, as well as the safety of goods transported in it, it is proposed to manufacture floors from sandwich panels.

Within the framework of the study, mathematical modeling of the dynamic load on a flatcar when it runs in a loaded state was carried out. It was found that, taking into account the proposed solution, the accelerations acting on the supporting structure of a flatcar are reduced by 8.4 % compared to the typical one. At the same time, accelerations acting on cargo placed on a flatbed car are reduced by 11.7 %. The results of calculating the strength of sandwich panels, when arranged on a flatcar, proved the feasibility of the proposed improvement. The main indicators of dynamics of the improved flatcar structure operated in an empty state were determined. It was established that the flatcar movement is assessed as “good”.

A feature of the results reported here is that the improved supporting structure of a flatcar contributes not only to reducing its dynamic load but also to improving the safety of transported cargoes.

The scope of practical application of the results is the engineering industry, in particular, railroad transport. The condition for the practical application of the research results is the use of energy-absorbing material in the structure of sandwich panels.

The study could contribute to devising recommendations regarding the design of modern structures of railroad vehicles and increasing the efficiency of the functioning of the transportation industry.

**Keywords:** railroad car, sandwich panel, dynamic loading of the railroad car, strength of frame structure, safety of goods.

**References**

- Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2022). Adaptive Modulation Frequency Selection System in Power Active Filter. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). doi: <https://doi.org/10.1109/ess57819.2022.9969261>
- Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2022). Improving the energy efficiency of traction power supply systems by means the implementation of alternative power sources. *Transport Means 2022. Part I. Proceedings of the 26th International Scientific Conference*, 459–464. Available at: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1610/transport-means-2022-part-i-proceedings-of-the-26th-international-scientific-conference/>
- Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2022). Efficiency Analysis of DC-DC Converter with Pulse-Width and Pulse-Frequency Modulation. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano54667.2022.9926762>
- 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>
- Šťastniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703004>
- Harak, S. S., Sharma, S. C., Harsha, S. P. (2014). Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method. *Procedia Materials Science*, 6, 1891–1898. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.221>
- Fomin, O., Gorbunov, M., Lovska, A., Gerlici, J., Kravchenko, K. (2021). Dynamics and Strength of Circular Tube Open Wagons with Aluminum Foam Filled Center Sills. *Materials*, 14 (8), 1915. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
- Płaczek, M., Wróbel, A., Buchacz, A. (2016). A concept of technology for freight wagons modernization. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161, 012107. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012107>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
- Al-Sukhon, A., ElSayed, M. S. (2021). Design optimization of hopper cars employing functionally graded honeycomb sandwich panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 236 (8), 920–935. doi: <https://doi.org/10.1177/09544097211049640>
- 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>
- Jeong, D. Y., Tyrell, D. C., Carolan, M. E., Perlman, A. B. (2009). Improved Tank Car Design Development: Ongoing Studies on Sandwich Structures. 2009 Joint Rail Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/jrc2009-63025>

15. Street, G. E., Mistry, P. J., Johnson, M. S. (2021). Impact Resistance of Fibre Reinforced Composite Railway Freight Tank Wagons. *Journal of Composites Science*, 5 (6), 152. doi: <https://doi.org/10.3390/jcs5060152>
16. Wróbel, A., Placzek, M., Buchacz, A. (2017). An Endurance Test of Composite Panels. *Solid State Phenomena*, 260, 241–248. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.260.241>
17. Fomin, O., Gerlici, J., Vatulina, G., Lovska, A., Kravchenko, K. (2021). Determination of the Loading of a Flat Rack Container during Operating Modes. *Applied Sciences*, 11 (16), 7623. doi: <https://doi.org/10.3390/app11167623>
18. Panchenko, S., Vatulina, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Elyazov, I., Huseynov, I. (2022). Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 45–55. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638>
19. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.
20. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulina, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13 (1), 79. doi: <https://doi.org/10.3390/app13010079>
21. Zadachyn, V. M., Koniushenko, I. H. (2014). *Chyselni metody*. Kharkiv, 180. Available at: [http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/CHM\\_Zadachin.pdf](http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/CHM_Zadachin.pdf)
22. Hoi, T. P., Makhnei, O. V. (2012). *Dyferentsialni rivniannia*. Ivano-Frankivsk, 352. Available at: [https://kdrpm.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/55/2018/03/deinf\\_el.pdf](https://kdrpm.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/55/2018/03/deinf_el.pdf)
23. Siasiev, A. V. (2004). *Vstup do systemy MathCad*. Dnipropetrovsk, 108. Available at: [https://library\\_donetsk19.donetsk.edu.com/uk/library/vstup-do-sistemi-mathcad-navchalnii-posibnik.html](https://library_donetsk19.donetsk.edu.com/uk/library/vstup-do-sistemi-mathcad-navchalnii-posibnik.html)
24. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Kylyk, L. V. (2020). *Chyselni metody rozvazannia 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)
25. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geo-information system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
26. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, 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>
27. 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>
28. Yang, C., Li, E., 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>
29. Bezukhov, N. I. (1957). *Sbornik zadach po teorii upru gosti i plastichnosti*. Moscow: Gosudartvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 286.
30. Lovska, 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>
31. 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>
32. 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>
33. Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E. (2021). Mathematical Analysis of Technological Parameters for Producing Superfine Prepregs by Flattening Carbon Fibers. *Mechanics of Composite Materials*, 57 (1), 91–100. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-021-09936-3>
34. Vambol, O., Kondratiev, A., Purhina, S., Shevtsova, M. (2021). Determining the parameters for a 3D-printing process using the fused deposition modeling in order to manufacture an article with the required structural parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 70–80. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227075>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.279098**

**OSCILLATION FREQUENCIES OF THE REINFORCED WALL OF A STEEL VERTICAL CYLINDRICAL TANK FOR PETROLEUM PRODUCTS DEPENDING ON WINDING PRE-TENSION (p. 14–25)**

**Timur Tursunkululy**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6215-7677>

**Nurlan Zhangabay**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8153-1449>

**Konstantin Avramov**

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8740-693X>

**Maryna Chernobryvko**

A. Pidhornyi Institute of Mechanical Engineering Problems  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8808-2415>

**Medetbek Kamarov**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6397-1451>

**Arman Abildabekov**

Peoples' Friendship University named after  
Academician A. Kuatbekov, Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-6476-1146>

**Kanat Narikov**

University of Innovation and Technology of Western Kazakhstan,  
Uralsk, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6459-140X>

**Otabek Azatkulov**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-9513-1014>

This paper reports a study of the frequencies and vibration modes of a vertical steel tank with a variable wall thickness in the ANSYS software suite using a finite-element model of vibrations of a tank with a volume of 3000 m<sup>3</sup> for oil and petroleum products, hardened

by a prestressed winding. The simulation was carried out for two variants of fixing the upper edge of the tank wall, which correspond to cases of absence or presence of tank coating. The estimation cases for the coefficients of the tension force of the wire relative to its tensile strength were investigated: at  $k_1=0.2$ ;  $k_2=0.4$ ;  $k_3=0.6$  and  $k_4=0.8$ . Variation studies were carried out both taking into account the additional loads caused by the action of hydrostatic pressure from the maximum and half poured oil into the tank, and without oil. The magnitude of changes in the vibration frequencies of the tank wall without the influence of the coating varies within 12–27 % and when taking into account the influence of tank coating, 21–62 %, depending on the degree of filling of the tank. The revealed pattern relates to the fact that a decrease in the tension force of the filament in the winding leads to an increase in the frequency of oscillations. Thus, pre-stress can be applied to regulate the oscillation frequency of the tank wall. By decreasing which in the winding, it is possible to increase the natural frequencies of the wall and to lower the frequencies through an increase in the prestress. The research results can be used in the future as anti-seismic measures in the design and construction of steel vertical cylindrical tanks, as well as to improve the strength characteristics of existing cylindrical structures.

**Keywords:** vertical steel tank, prestress, seismic loads, oscillation frequency.

#### References

- Lai, E., Zhao, J., Li, X., Hu, K., Chen, G. (2021). Dynamic responses and damage of storage tanks under the coupling effect of blast wave and fragment impact. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 73, 104617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104617>
- Zhang, M., Zheng, F., Chen, F., Pan, W., Mo, S. (2019). Propagation probability of domino effect based on analysis of accident chain in storage tank area. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62, 103962. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103962>
- Krentowski, J., Ziminski, K. (2019). Consequences of an incorrect assessment of a structure damaged by explosion. *Engineering Failure Analysis*, 101, 135–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng-failanal.2019.03.009>
- Jaramillo, F., Almazán, J. L., Colombo, J. I. (2022). Effects of the anchor bolts and soil flexibility on the seismic response of cylindrical steel liquid storage tanks. *Engineering Structures*, 263, 114353. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114353>
- Dijkstra, G. J., Francis, B., van der Heden, H., Gresnigt, A. M. (2011). Industrial Steel pipe systems under seismic loading: A comparison of European and American design codes. 3rd International Conferences on Computational Methods in structural Dynamics and Earthquake Engineering. Available at: [https://research.tudelft.nl/en/publications/industrial-steel-pipe-systems-under-seismic-loading-a-comparison-](https://research.tudelft.nl/en/publications/industrial-steel-pipe-systems-under-seismic-loading-a-comparison/)
- Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Azmi Murad, M. A., Dosmakanbetova, A., Abshenov, K. et al. (2022). Estimation of the strength of vertical cylindrical liquid storage tanks with dents in the wall. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 6–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252599>
- Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Suleimenov, U., Abshenov, K., Utebayeva, A., Kolesnikov, A. et al. (2022). Analysis of Stress-Strain State for a Cylindrical Tank Wall Defected Zone. *Materials*, 15 (16), 5732. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15165732>
- Suleimenov, U., Zhangabay, N., Abshenov, K., Utebayeva, A., Imanaliyev, K., Mussayeva, S. et al. (2022). Estimating the stressed-strained state of the vertical mounting joint of the cylindrical tank wall taking into consideration imperfections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258118>
- Zhangabay, N., Suleimenov, U., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Babilov, K., Imanaliyev, K. et al. (2022). Analysis of a Stress-Strain State of a Cylindrical Tank Wall Vertical Field Joint Zone. *Buildings*, 12 (9), 1445. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12091445>
- Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Aldiyarov, Z., Dossybekov, S. et al. (2022). Experimental Analysis of the Stress State of a Prestressed Cylindrical Shell with Various Structural Parameters. *Materials*, 15 (14), 4996. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15144996>
- Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Ibrahim, M. N. M., Moldagaliyev, A., Abshenov, K. et al. (2021). Determining the features of oscillations in prestressed pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (114)), 85–92. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246751>
- Bonopera, M., Chang, K.-C., Tullini, N. (2023). Vibration of prestressed beams: Experimental and finite-element analysis of post-tensioned thin-walled box-girders. *Journal of Constructional Steel Research*, 205, 107854. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.107854>
- Gkantou, M., Theofanous, M., Baniotopoulos, C. (2019). A numerical study of prestressed high strength steel tubular members. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14 (1), 10–22. doi: <https://doi.org/10.1007/s11709-019-0547-1>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. et al. (2022). Strength analysis of prestressed vertical cylindrical steel oil tanks under operational and dynamic loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 14–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254218>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Avramov, K., Chernobryvko, M., Suleimenov, U., Utebayeva, A. (2022). Influence of the parameters of the pre-stressed winding on the oscillations of vertical cylindrical steel oil tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265107>
- Tursunkululy, T., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Abshenov, K., Utebayeva, A., Moldagaliyev, A. et al. (2023). Analysis of strength and eigenfrequencies of a steel vertical cylindrical tank without liquid, reinforced by a plain composite thread. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02019>
- Kendzera, A., Semenova, Yu. (2019). Calculated accelerograms for the direct dynamic method of determining seismic loads. 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902111>
- Hud, M. (2022). Simulation of the stress-strain state of a cylindrical tank under the action of forced oscillations. *Procedia Structural Integrity*, 36, 79–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.006>
- Sierikova, O., Strelnikova, E., Degtyariv, K. (2022). Strength Characteristics of Liquid Storage Tanks with Nanocomposites as Reservoir Materials. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916369>
- Al-Yacoub, A. M., Hao, L. J., Liew, M. S., Ratnayake, R. M. C., Samarakoon, S. M. K. (2021). Thin-Walled Cylindrical Shell Storage Tank under Blast Impacts: Finite Element Analysis. *Materials*, 14 (22), 7100. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14227100>
- Ye, Z., Birk, A. M. (1994). Fluid Pressures in Partially Liquid-Filled Horizontal Cylindrical Vessels Undergoing Impact Acceleration. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 116 (4), 449–458. doi: <https://doi.org/10.1115/1.2929615>
- Yasniy, P. V., Mykhailyshyn, M. S., Pyndus, Yu. I., Hud, M. I. (2020). Numerical Analysis of Natural Vibrations of Cylindrical Shells Made of Aluminum Alloy. *Materials Science*, 55 (4), 502–508. doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00331-2>

23. Fan, Y., Hunt, J., Wang, Q., Yin, S., Li, Y. (2019). Water tank modeling of variations in inversion breakup over a circular city. *Building and Environment*, 164, 106342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106342>
24. Martynenko, G., Avramov, K., Martynenko, V., Chernobryvko, M., Tonkonozhenko, A., Kozharin, V. (2021). Numerical simulation of warhead transportation. *Defence Technology*, 17 (2), 478–494. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.03.005>
25. Wang, Z., Hu, K., Zhao, Y. (2022). Doom-roof steel tanks under external explosion: Dynamic responses and anti-explosion measures. *Journal of Constructional Steel Research*, 190, 107118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107118>
26. Rastgar, M., Showkati, H. (2018). Buckling behavior of cylindrical steel tanks with concavity of vertical weld line imperfection. *Journal of Constructional Steel Research*, 145, 289–299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.028>
27. Thongchom, C., Jearsiripongkul, T., Refahati, N., Roudgar Saffari, P., Roodgar Saffari, P., Sirimontree, S., Keawsawavong, S. (2022). Sound Transmission Loss of a Honeycomb Sandwich Cylindrical Shell with Functionally Graded Porous Layers. *Buildings*, 12 (2), 151. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12020151>
28. Avramov, K. V., Chernobryvko, M., Uspensky, B., Seitkazanova, K. K., Myrzaliyev, D. (2019). Self-sustained vibrations of functionally graded carbon nanotubes-reinforced composite cylindrical shells in supersonic flow. *Nonlinear Dynamics*, 98 (3), 1853–1876. doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-019-05292-z>
29. Kou, S., Zhang, X., Li, W., Song, C. (2022). Dynamic Response Parameter Analysis of Steel Frame Joints under Blast Loading. *Buildings*, 12 (4), 433. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12040433>
30. Wang, J., Kusunoki, K. (2022). Study on the Flexural Strength of Interior Thick Wall-Thick Slab Joints Subjected to Lateral Force Using Finite-Element Analysis. *Buildings*, 12 (5), 535. doi: <https://doi.org/10.3390/buildings12050535>
31. Idesman, A., Bhuiyan, A., Foley, J. R. (2017). Accurate finite element simulation of stresses for stationary dynamic cracks under impact loading. *Finite Elements in Analysis and Design*, 126, 26–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finel.2016.12.004>
32. Altenbach, H., Breslavsky, D., Chernobryvko, M., Senko, A., Tatari-nova, O. (2022). Fast Fracture of Conic Shell Under the Action of Belt Explosive Charge. *Advances in Mechanical and Power Engineering*, 366–376. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18487-1_37)
33. Bishop, P. (1986). *Kolebaniya*. Moscow: Nauka, 192. Available at: <https://obuchalka.org/20190329108081/kolebaniya-bishop-r-1986.html>
34. EN 1998-4:2006 (E) design of structures for earthquake resistance - Part 4: silos, tanks and pipelines. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=37105813&doc\\_id2=37807474#activate\\_doc=2&pos=1;-0.0999908447265625&pos2=3;-100.09999084472656](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37105813&doc_id2=37807474#activate_doc=2&pos=1;-0.0999908447265625&pos2=3;-100.09999084472656)
35. VBN V.2.2-58.2-94. Rezervuary vertikal'nye stal'nye dlya khraneniya nefi i nefteproduktov s davleniem nasyschennykh parov ne vyshe 93,3 kPa. Available at: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=4889](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=4889)
36. SN RK 3.05-24-2004. Instruction for cylindrical vertical steel oil and oil products tanks design, production and erection. Available at: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=30056879](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30056879)
37. PB 03-605-03. Pravila ustroystva vertikal'nykh tsilindricheskikh stal'nykh rezervuarov dlya nefi i nefteproduktov (2008). Moscow, 173. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/0cc/4294816744.pdf>
38. API Standard 650 Welded Steel tanks for oil storage. American Petroleum Institute. Available at: <https://vzrk.ru/public/images/api.650.2007.pdf>
39. Pat. No. 35915 RK. Method for increasing the seismic stability of vertical steel cylindrical reservoirs using a pre-tensioned winding (2022).
40. Pat. No. 6208 RK. Cylindrical shell for storage and transportation of liquid and hydrocarbon raw materials (2021).

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282205

**METHOD FOR IDENTIFYING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CONCRETE OF A REINFORCED CONCRETE CROSSBAR DURING HEATING UNDER CONDITIONS OF FIRE (p. 26–36)**

Serhii Pozdieiev

Cherkasy Institute of Fire Safety Named After Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

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

Olga Nekora

Cherkasy Institute of Fire Safety Named After Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5202-3285>

Svitlana Fedchenko

Cherkasy Institute of Fire Safety Named After Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3294-2214>

Nataliya Zaika

Cherkasy Institute of Fire Safety Named After Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8757-5709>

Taras Shnal

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>

Andriy Subota

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8605-344X>

Mykhailo Nesukh

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2561-110X>

This paper proposes a method that makes it possible to study the patterns of changes in the concrete strength of reinforced concrete crossbars depending on the heating temperature under fire conditions by interpreting the results of their standard fire tests. For the implementation of this method, it is proposed to use similar data obtained using mathematical modeling based on the finite element method and given material properties, including the curve of concrete strength reduction recommended by the guidelines, as data included in the set of measurement results during fire tests depending on temperature. Such data are time dependences of temperature indicators at individual cross-section points and time dependence of the maximum deflection of the crossbar. The article proposes an interpolation method that makes it possible to set the temperature at any point of the section based on the approximation of the isotherms by parabolas with a variable indicator of their power. A method based on the mathematical interpretation of temperature indicators obtained using the proposed interpolation method and the curve of the dependence of the maximum deflection on time using a deformation model for describing the stress-strain state is proposed to identify the dependence of the concrete strength of reinforced concrete crossbars.

The work also shows that the results obtained using the proposed method of identifying concrete strength reduction coefficients

are adequate as their relative error is on average no more than 7 %. Based on the results, the possibility of its application to study the regularities of the decrease in the strength of reinforced concrete crossbars under fire conditions has been proven.

**Keywords:** reinforced concrete crossbar, concrete strength reduction factor, fire resistance, concrete strength.

## References

- Liu, C., Zhou, B., Guo, X., Liu, C., Wang, L. (2023). Analysis and prediction methods for the static properties of reinforced concrete beams under fire. *Structures*, 47, 2319–2330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.12.041>
- Casandjian, C., Challamel, N., Lanos, C., Hellesland, J. (2013). Bibliography. Reinforced Concrete Beams, Columns and Frames, 279–292. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118639511.biblio>
- Kodur, V., Banerji, S. (2020). Comparative fire behavior of reinforced concrete beams made of different concrete strengths. Proceedings of the 11th International Conference on Structures in Fire (SiF2020). doi: <https://doi.org/10.14264/bd10594>
- Quagliarini, E., Clementi, F., Maracchini, G., Monni, F. (2016). Experimental assessment of concrete compressive strength in old existing RC buildings: A possible way to reduce the dispersion of DT results. *Journal of Building Engineering*, 8, 162–171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.job.2016.10.008>
- Johnson, R. P., Wang, Y. C. (2019). Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119401353>
- Dmitriev, I., Lyulikov, V., Bazhenova, O., Bayanov, D. (2019). Calculation of fire resistance of building structures in software packages. *E3S Web of Conferences*, 91, 02007. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102007>
- De Souza, R. C. S., Andreini, M., La Mendola, S., Zehfuß, J., Knaust, C. (2019). Probabilistic thermo-mechanical finite element analysis for the fire resistance of reinforced concrete structures. *Fire Safety Journal*, 104, 22–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2018.12.005>
- Shchipets, S. D. (2014). Metod vyznachennia temperaturnykh poliv u pererizakh nesuchykh stin za rezul'tatamy yikh vyprobuvan na vohnestiykist. *Naukovyi visnyk Ukrain'skoho naukovo-doslidnoho instytutu pozhehznoi bezpeky*, 1 (29), 79–84.
- Kilpatrick, A. E., Gilbert, R. I. (2017). Simplified calculation of the long-term deflection of reinforced concrete flexural members. *Australian Journal of Structural Engineering*, 19 (1), 34–43. doi: <https://doi.org/10.1080/13287982.2017.1368071>
- EN 1992-1-2 (2004) (English): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.2.2004.pdf>
- Nekora, O., Slovynsky, V., Pozdieiev, S. (2017). The research of bearing capacity of reinforced concrete beam with use combined experimental-computational method. *MATEC Web of Conferences*, 116, 02024. doi: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602024>
- Gedam, B. A. (2021). Fire resistance design method for reinforced concrete beams to evaluate fire-resistance rating. *Structures*, 33, 855–877. doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.046>
- Shnal, T., Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S. (2020). Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions. *Materials Science Forum*, 1006, 107–116. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.107>
- Kovalyshyn, V., Pozdieiev, S., Fedchenko, S. (2018). Concrete walls conduct under the fire influence investigation using final elements method. *Zbirnyk naukovykh prats ChIPB imeni Heroiv Chornobylia NUTsZ Ukrainy «Nadzvychnai situatsi: poperedzhennia ta likvidatsiia»*, 4, 89–98. Available at: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/6482>
- Aliş, B., Yazici, C., Mehmet Özkal, F. (2022). Investigation of Fire Effects on Reinforced Concrete Members via Finite Element Analysis. *ACS Omega*, 7 (30), 26881–26893. doi: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03414>
- Tsvetkov, R., Shardakov, I., Shestakov, A., Gusev, G., Epin, V. (2017). Deformation monitoring of load-bearing reinforced concrete beams. *Procedia Structural Integrity*, 5, 620–626. doi: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.028>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283078

## IDENTIFYING THE MECHANISM OF THE FATIGUE BEHAVIOR OF THE COMPOSITE SHAFT SUBJECTED TO VARIABLE LOAD (p. 37–44)

**Imad O. Bachi Al-Fahad**

University of Basrah, Al Basrah, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-6261>

**Hussein Kadhim Sharaf**

Bilad Alrafidain University College, Al-Quds Intersection,

Baqubah, Diyala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-6671>

**Lina Nasseer Bachache**

Dijlah University College, Baghdad, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6376-7442>

**Nasseer Kassim Bachache**

Bilad Alrafidain University College, Al-Quds Intersection,

Baqubah, Diyala, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8929-3011>

This paper presents a finite element analysis of a composite shaft under dynamic variable fatigue loading. The object of this study is the behavior of the fatigue life of a composite shaft under dynamic variable fatigue loading. The fatigue life of the shaft is then determined by analyzing the stress distribution and its effect on the material's fatigue strength. The investigation of fatigue behavior involves evaluating factors such as stress concentrations, fatigue crack initiation and propagation, and the cumulative damage caused by cyclic loading. The study explores the impact of biaxial loading on the shaft's fatigue performance and provides insights into its significance in predicting fatigue life and it is 10e7 cycles. Furthermore, a damage indicator is predicted to assess the accumulated damage and monitor the progression of fatigue-related degradation. This indicator serves as a valuable tool for predicting the remaining useful life of the composite shaft. The equivalent alternative stress is calculated to characterize the combined effect of different loading conditions on the fatigue life of the composite shaft. By quantifying the stress level and variations experienced by the structure, this parameter allows for a comprehensive assessment of the fatigue performance under variable loading scenarios 250 N. The findings of this research contribute to the understanding of fatigue behavior in composite shafts under dynamic variable fatigue loading. The insights gained from the fatigue life investigation, biaxiality indication, damage prediction, and equivalent alternative stress calculation can aid in optimizing design considerations, maintenance planning, and enhancing the reliability and durability of composite shafts in various engineering applications.

**Keywords:** composite shaft, variable loading, fatigue life, biaxiality indication, damage indicator.

## References

- Nadeem, S. K. S., Giridhara, G., Rangavittal, H. K. (2018). A Review on the design and analysis of composite drive shaft. *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 2738–2741. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.058>
- Stedile Filho, P., Almeida, J. H. S., Amico, S. C. (2017). Carbon/epoxy filament wound composite drive shafts under torsion and compression. *Journal of Composite Materials*, 52 (8), 1103–1111. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998317722043>
- Hao, W., Yuan, Z., Tang, C., Zhang, L., Zhao, G., Luo, Y. (2019). Acoustic emission monitoring of damage progression in 3D braiding composite shafts during torsional tests. *Composite Structures*, 208, 141–149. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.10.011>
- Zhao, G., Zhang, L., Tang, C., Zhou, Y., Hao, W., Luo, Y. (2018). Experimental study on the torsion behavior of a 3D 4-directionally braided composite shaft using DIC and AE. *Polymer Testing*, 72, 122–131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.10.016>
- Zhao, G., Zhang, L., Tang, C., Hao, W., Luo, Y. (2019). Clustering of AE signals collected during torsional tests of 3D braiding composite shafts using PCA and FCM. *Composites Part B: Engineering*, 161, 547–554. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.145>
- Aghajani Derazkola, H., Kordani, N., Aghajani Derazkola, H. (2021). Effects of friction stir welding tool tilt angle on properties of Al-Mg-Si alloy T-joint. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 33, 264–276. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.03.015>
- Zhao, G., Wang, J., Hao, W., Liu, Y., Luo, Y. (2017). Numerical Study on the Tensile Behavior of 3D Four Directional Cylindrical Braided Composite Shafts. *Applied Composite Materials*, 25 (5), 1103–1114. doi: <https://doi.org/10.1007/s10443-017-9655-z>
- Hao, W., Liu, Y., Huang, X., Liu, Y., Zhu, J. (2017). A Unit-Cell Model for Predicting the Elastic Constants of 3D Four Directional Cylindrical Braided Composite Shafts. *Applied Composite Materials*, 25 (3), 619–633. doi: <https://doi.org/10.1007/s10443-017-9639-z>
- Huang, X., Liu, Y., Hao, W., Liu, Y., Zhu, J. (2017). Computational Analysis of Torsional Bulking Behavior of 3D 4-Directional Braided Composites Shafts. *Applied Composite Materials*, 25 (1), 163–176. doi: <https://doi.org/10.1007/s10443-017-9616-6>
- Wang, Y. Q., Wang, A. S. D. (1997). Spatial distribution of yarns and mechanical properties in 3D braided tubular composites. *Applied Composite Materials*, 4 (2), 121–132. doi: <https://doi.org/10.1007/bf02481384>
- Wang, Y. Q., Wang, A. S. D. (1994). On the topological yarn structure of 3-D rectangular and tubular braided preforms. *Composites Science and Technology*, 51 (4), 575–586. doi: [https://doi.org/10.1016/0266-3538\(94\)90090-6](https://doi.org/10.1016/0266-3538(94)90090-6)
- Kalidindi, S. R., Franco, E. (1997). Numerical evaluation of isostrain and weighted-average models for elastic moduli of three-dimensional composites. *Composites Science and Technology*, 57 (3), 293–305. doi: [https://doi.org/10.1016/s0266-3538\(96\)00119-4](https://doi.org/10.1016/s0266-3538(96)00119-4)
- Gideon, R. K., Zhou, H., Li, Y., Sun, B., Gu, B. (2015). Quasi-static compression and compression-compression fatigue characteristics of 3D braided carbon/epoxy tube. *The Journal of The Textile Institute*, 107 (7), 938–948. doi: <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1071964>
- Gideon, R. K., Zhou, H., Wu, X., Sun, B., Gu, B. (2015). Finite element analysis of 3D circular braided composites tube damage based on three unit cell models under axial compression loading. *International Journal of Damage Mechanics*, 25 (4), 574–607. doi: <https://doi.org/10.1177/1056789515605568>
- Sun, J., Wang, Y., Zhou, G., Wang, X. (2016). Finite Element Analysis of Mechanical Properties of 3D Surface-Core Braided Composites. *Polymer Composites*, 39 (4), 1076–1088. doi: <https://doi.org/10.1002/pc.24035>
- Ouyang, Y., Sun, B., Gu, B. (2017). Finite element analyses on bending fatigue of three-dimensional five-directional braided composite T-beam with mixed unit-cell model. *Journal of Composite Materials*, 52 (9), 1139–1154. doi: <https://doi.org/10.1177/0021998317722203>
- Berardi, V. P., Perrella, M., Feo, L., Cricri, G. (2017). Creep behavior of GFRP laminates and their phases: Experimental investigation and analytical modeling. *Composites Part B: Engineering*, 122, 136–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.04.015>
- Shokrieh, M. M., Mazloomi, M. S. (2012). A new analytical model for calculation of stiffness of three-dimensional four-directional braided composites. *Composite Structures*, 94 (3), 1005–1015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.09.010>
- El-Sayed, M. M., Shash, A. Y., Abd-Rabou, M., ElSherbiny, M. G. (2021). Welding and processing of metallic materials by using friction stir technique: A review. *Journal of Advanced Joining Processes*, 3, 100059. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2021.100059>
- Vuherer, T., Milčić, M., Glodež, S., Milčić, D., Radović, L., Kramberger, J. (2021). Fatigue and fracture behaviour of Friction Stir Welded AA-2024-T351 joints. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 114, 103027. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103027>
- Deng, L., Li, S., Ke, L., Liu, J., Kang, J. (2019). Microstructure and Fracture Behavior of Refill Friction Stir Spot Welded Joints of AA2024 Using a Novel Refill Technique. *Metals*, 9 (3), 286. doi: <https://doi.org/10.3390/met9030286>
- Salman, S., Sharaf, H. K., Hussein, A. F., Khalaf, N. J., Abbas, M. K., Aned, A. M. et al. (2022). Optimization of raw material properties of natural starch by food glue based on dry heat method. *Food Science and Technology*, 42. doi: <https://doi.org/10.1590/fst.78121>
- Almagsoosi, L., Abadi, M. T. E., Hasan, H. F., Sharaf, H. K. (2022). Effect of the Volatility of the Crypto Currency and Its Effect on the Market Returns. *Industrial Engineering & Management Systems*, 21 (2), 238–243. doi: <https://doi.org/10.7232/iems.2022.21.2.238>
- Ashham, M., Sharaf, H. K., Salman, K., Salman, S. (2017). Simulation of heat transfer in a heat exchanger tube with inclined vortex rings inserts. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12 (20), 9605–9613. Available at: [https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n20\\_48.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n20_48.pdf)
- Raheemah, S. H., Fadheel, K. I., Hassan, Q. H., Aned, A. M., Turki Al-Taie, A. A., Sharaf, H. K. (2021). Numerical Analysis of the Crack Inspections Using Hybrid Approach for the Application of the Circular Cantilever Rods. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29 (2). doi: <https://doi.org/10.47836/pjst.29.2.22>
- Subhi, K. A., Hussein, E. K., Al-Hamadani, H. R. D., Sharaf, H. K. (2022). Investigation of the mechanical performance of the composite prosthetic keel based on the static load: a computational analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 22–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.256943>
- Sharaf, H. K., Alyousif, S., Khalaf, N. J., Hussein, A. F., Abbas, M. K. (2022). Development of bracket for cross arm structure in transmission tower: Experimental and numerical analysis. *New Materials, Compounds and Applications*, 6 (3), 257–275. Available at: <http://www.jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/NMCA/V6N3/SharafHS.pdf>
- Ghosh, B., Das, H., Samanta, A., Majumdar, J. D., Ghosh, M. (2022). Influence of tool rotational speed on the evolution of microstructure and mechanical properties of precipitation-hardened Aluminium 6061 butt joint during friction stir welding. *Engineering Research Express*. doi: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ac4a48>
- Salimi, S., Bahemmat, P., Haghpanahi, M. (2018). Study on residual stresses caused by underwater friction stir welding: FE modeling and ultrasonic measurement. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 233 (1), 118–137. doi: <https://doi.org/10.1177/0954408917751963>

30. Malopheyev, S., Vysotskiy, I., Zhemchuzhnikova, D., Mironov, S., Kaibyshev, R. (2020). On the Fatigue Performance of Friction-Stir Welded Aluminum Alloys. *Materials*, 13 (19), 4246. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13194246>
31. Shekhan, S. M. M. (2020). A model for the distribution of temperature on the aluminum alloy when using friction welding. *Altınbaş Üniversitesi*. Available at: <http://openaccess.altinbas.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12939/1889>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281936

**REVEALING THE EFFECT OF CHANGING THE OPERATING PARAMETERS OF A DOUBLE HYDROSTATIC BEARING ON ITS CHARACTERISTICS (p. 45–52)**

Vladimir Nazin

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7872-5429>

The object of research is hydrostatic processes in sliding bearings with several layers of lubricant.

The task addressed was the influence of the structural and operational parameters of dual hydrostatic plain bearings on their static and dynamic characteristics. As a static characteristic, the bearing capacities of dual and conventional sleeve hydrostatic bearings were considered. When analyzing the dynamic characteristics, the amplitude-frequency characteristics were determined. They were obtained by calculation and as a result of experimental studies. When calculating the amplitude-frequency characteristics, the trajectory method was used. As external forces in the equations of motion of the rotor, hydrodynamic forces, the weight of the rotor, and its unbalance were considered.

Experimental determination of the trajectories of the rotor was carried out on a special bench.

It has been established that the bearing capacity of a double type bearing is approximately 1.75–1.85 times higher than the bearing capacity of a conventional sleeve bearing. The range of stable operation of the rotor on double-type bearings is approximately 1.4 times greater in comparison with the range of stable operation of the rotor on sleeve hydrostatic bearings. The vibration amplitudes in the resonance region for double bearings were approximately 1.5 times less than the rotor vibration amplitudes for sleeve bearings.

The results make it possible to recommend dual-type hydrostatic bearings for rotor bearings of nuclear power plants, in powerful aircraft engines with a gearbox, various types of pumps, and other power plant units. The derived theoretical dependences make it possible to carry out practical calculation of hydrostatic bearings of a double type.

**Keywords:** double bearing, bearing capacity, dynamic characteristics, non-stationary loading, motion trajectory.

**References**

- Xu, H., Yang, J., Gao, L., An, Q. (2020). The influences of bump foil structure parameters on the static and dynamic characteristics of bump-type gas foil bearings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 234 (10), 1642–1657. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650120912609>
- Hu, Z., Wang, Z., Huang, W., Wang, X. (2019). Supporting and friction properties of magnetic fluids bearings. *Tribology International*, 130, 334–338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.10.006>
- Xiang, G., Han, Y., He, T., Wang, J., Xiao, K., Li, J. (2020). Wear and fluid-solid-thermal transient coupled model for journal bearings. *Applied Mathematical Modelling*, 85, 19–45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.03.037>
- Santos, I. (2018). Controllable Sliding Bearings and Controllable Lubrication Principles – An Overview. *Lubricants*, 6 (1), 16. doi: <https://doi.org/10.3390/lubricants6010016>
- EL-Said, A. KH., EL-Souhily, B. M., Crosby, W. A., EL-Gamal, H. A. (2017). The performance and stability of three-lobe journal bearing textured with micro protrusions. *Alexandria Engineering Journal*, 56 (4), 423–432. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.08.003>
- Summer, F., Bergmann, P., Grün, F. (2017). Damage Equivalent Test Methodologies as Design Elements for Journal Bearing Systems. *Lubricants*, 5 (4), 47. doi: <https://doi.org/10.3390/lubricants5040047>
- Zernin, M. V., Mishin, A. V., Rybkin, N. N., Shil'ko, S. V., Ryabchenko, T. V. (2017). Consideration of the multizone hydrodynamic friction, the misalignment of axes, and the contact compliance of a shaft and a bush of sliding bearings. *Journal of Friction and Wear*, 38 (3), 242–251. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068366617030163>
- Zhang, J., Tan, A., Spikes, H. (2016). Effect of Base Oil Structure on Elastohydrodynamic Friction. *Tribology Letters*, 65 (1). doi: <https://doi.org/10.1007/s11249-016-0791-7>
- Villaverde, R. (2016). Base isolation with sliding hydromagnetic bearings: concept and feasibility study. *Structure and Infrastructure Engineering*, 13 (6), 709–721. doi: <https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1187634>
- Polyakov, R., Savin, L., Fetisov, A. (2018). Analysis of the conditions for the occurrence of the effect of a minimum of friction in hybrid bearings based on the load separation principle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 233 (2), 271–280. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650118777143>
- Schüler, E., Berner, O. (2021). Improvement of Tilting-Pad Journal Bearing Operating Characteristics by Application of Eddy Grooves. *Lubricants*, 9 (2), 18. doi: <https://doi.org/10.3390/lubricants9020018>
- Avishai, D., Morel, G. (2021). Experimental Investigation of Lubrication Regimes of a Water-Lubricated Bearing in the Propulsion Train of a Marine Vessel. *Journal of Tribology*, 143 (4). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4048382>
- Amann, T., Chen, W., Baur, M., Kailer, A., Rühle, J. (2020). Entwicklung von galvanisch gekoppelten Gleitlagern zur Reduzierung von Reibung und Verschleiß. *Forschung Im Ingenieurwesen*, 84 (4), 315–322. doi: <https://doi.org/10.1007/s10010-020-00416-z>
- Gheisari, R., Lan, P., Polycarpou, A. A. (2020). Efficacy of surface microtexturing in enhancing the tribological performance of polymeric surfaces under starved lubricated conditions. *Wear*, 444–445, 203162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.203162>
- Liu, Y., Zou, J., Deng, Y., Ji, H. (2020). Research on the seawater-lubricated sliding bearing of a novel buoyancy-regulating seawater pump considering the working depth. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20 (2), 469–488. doi: <https://doi.org/10.1080/14484846.2020.1716510>
- Zhao, Y., Jianxi, Y. (2019). Influence of interface slip on the surface frictional force of texturing sliding bearing. *Industrial Lubrication and Tribology*, 72 (6), 735–742. doi: <https://doi.org/10.1108/ilt-01-2018-0032>
- Nazin, V. I. (2013). Theory of double radial bearing in gidrostatodinamicheskogo stationary external load. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 8 (105), 160–166. Available at: <http://nti.khai.edu:57772/csp/nauchportal/Arhiv/AKTT/2013/AKTT813/Nazin.pdf>
- Nazin, V. I. (2014). Stand, pilot plant and method of experimental researches of hydrostatodynamic bearings of the doubled type. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 8 (115), 100–103. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit\\_2014\\_8\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2014_8_19)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273635

**DEVELOPING A METHOD OF ACCOUNTING FOR THE EXISTENCE OF LOCAL SURFACE HEAT EXCHANGE IN RODS OF VARIABLE CROSS-SECTION (p. 53–64)****Mukaddas Arshidinova**Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2695-6823>**Azat Tashev**Institute of Information and Computational Technologies,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6140-416X>**Anarbay Kudaykulov**Institute of Information and Computational Technologies,  
Almaty, Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0609-1332>

The load-bearing elements of a number of strategic equipment are of limited length and variable cross-section. Most of them are exposed to certain types of heat sources. In order to ensure the reliable operation of this equipment, it is necessary to know the temperature field along the length of the variable cross-section rod. In this paper, a computational algorithm and a method for determining the temperature field along the length of a rod with a limited length and variable cross-section are proposed. They are based on the fundamental laws of conservation of energy.

The nonlinearity of the process is due to nonlinear dependencies of the areas of the variable cross-section on the coordinate. The radius of the cross-section of the rod decreases linearly along the entire length, starting from the left end. The side surface of the first and third discrete elements of the rod is heat-insulated. Convective heat exchange with the environment takes place on the side surface of the second discrete element of the rod.

The cross-sectional area of the left end of the rod is under the heat flow with a constant intensity, and a heat flow with different intensities is supplied to the right end, wherein the heat transfer coefficient is considered constant. For this task, you must first determine the law of temperature distribution along the length of the rod. In addition, if one end is rigidly fixed and the other end is free, the elongation must be calculated depending on the available heat sources, the physical and geometric characteristics of the rod, taking into account the presence of insulation.

In case of pinching of both ends of the investigated rod, the value of axial compressive force is calculated taking into account the addition of real factors. The distribution of all components of the strain, stress, and displacement field is also defined.

**Keywords:** heat flux intensity, thermal conductivity coefficient, temperature, heat transfer coefficient.

**References**

- Timoshenko, S., Goodier, J. N. (1951). *Theory of Elasticity*. New York. Available at: <http://parastesh.usc.ac.ir/files/1538886893033.pdf>
- Shorr, B. F. (2015). Thermoelasticity. *Thermal Integrity in Mechanics and Engineering*, 33–56. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46968-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46968-2_2)
- Banerjee, B. (2006). *Basic Thermoelasticity*. doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1144.2005>
- Saoud, S. (2009). *Etude et Analyse Mathematique des Problemes Non Lineaires Modelisant les Etats Thermiques d'un Superconducteur: Generalisation au Cas Tridimensionnel*.
- Griffith, G., Tucker, S., Milsom, J., Stone, G. (2000). Problems with modern air-cooled generator stator winding insulation. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 16 (6), 6–10. doi: <https://doi.org/10.1109/57.887599>
- Li, Y. (2019). Investigation of Heat Transfer Characteristics on Rod Fastening Rotor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 677 (3), 032032. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/677/3/032032>
- Shibib, K., Minshid, M., Alattar, N. (2011). Thermal and stress analysis in Nd: YAG laser rod with different double end pumping methods. *Thermal Science*, 15, 399–407. doi: <https://doi.org/10.2298/tsci101201004s>
- Andreev, V., Turusov, R. (2016). Nonlinear modeling of the kinetics of thermal stresses in polymer rods. *Advanced Materials and Structural Engineering*, 719–722. doi: <https://doi.org/10.1201/b20958-150>
- Belytschko, T., Liu, W. K., Moran, B. (2000). *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*. John Wiley and Sons.
- Wright, T. W. (2002). *The Physics and Mathematics of Adiabatic Shear Bands*. Cambridge University Press.
- Batra, R. C. (2006). *Elements of Continuum Mechanics*. AIAA. doi: <https://doi.org/10.2514/4.861765>
- Sukarno, D. H. (2021). Analysis of nuclear fuel rod temperature distribution using CFD calculation and analytical solution. *PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CURRENT PROGRESS IN MATHEMATICS AND SCIENCES 2020 (ISCPMS 2020)*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0058888>
- El-Azab, J. M., Kandel, H. M., Khedr, M. A., El-Ghandoor, H. M. (2014). Numerical Study of Transient Temperature Distribution in Passively Q-Switched Yb:YAG Solid-State Laser. *Optics and Photonics Journal*, 04 (03), 46–53. doi: <https://doi.org/10.4236/opj.2014.43007>
- Khany, S. E., Krishnan, K. N., Wahed, M. A. (2012). Study of Transient Temperature Distribution in a Friction Welding Process and its effects on its Joints. *International Journal Of Computational Engineering Research*, 2 (5), 1645.
- Mishchenko, A. (2020). Spatially Structure Spatial Problem of the Stressed-Deformed State of a Structural Inhomogeneous Rod. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 953, 012004. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/953/1/012004>
- Hwang, J.-K. (2020). Thermal Behavior of a Rod during Hot Shape Rolling and Its Comparison with a Plate during Flat Rolling. *Processes*, 8 (3), 327. doi: <https://doi.org/10.3390/pr8030327>
- Logan, D. L. (2012). *A First Course in the Finite Element Method*. CENGAGE Learning, 727–764.
- Liu, Q., He, X. (2023). Thermal Analysis of Terfenol-D Rods with Different Structures. *Micromachines*, 14 (1), 216. doi: <https://doi.org/10.3390/mi14010216>
- Gaspar Jr., J. C. A., Moreira, M. L., Desampaio, P. A. B. (2011). Temperature Distribution on Fuel Rods: A study on the Effect of Eccentricity in the Position of UO<sub>2</sub> Pellets. 20-th International Conference «Nuclear Energy for New Europe». Available at: <https://arhiv.djs.si/proc/nene2011/pdf/814.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283073

**BUILDING A MODEL OF THE IMPACT GRINDING MECHANISM IN A TUMBLING MILL BASED ON DATA VISUALIZATION (p. 65–73)****Yuriy Naumenko**National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3658-3087>**Kateryna Deineka**National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-6734>



A mathematical model was built based on data visualization for the impact grinding mechanism in a tumbling mill, which is mainly implemented during coarse grinding.

The determination of impulse interaction parameters is problematic due to the difficulty of modeling and the complexity of hardware analysis of the behavior of intramill loading.

Conceptually, it was envisaged to identify the relative dynamic parameters of the impact action as components of the model, which are criteria for the similarity of the loading movement and the grinding process. Impact power was taken as an analog of grinding performance. The initial characteristic of the impact was considered to be the averaged vertical component of the speed of loading movement in the flight zone at the boundary of contact with the shear layer. The formalization of the model revealed the effect on the performance of the mass fraction of the flight zone and the reversibility of loading.

The method of numerical modeling was applied, based on experimental visualization of the behavior of granular loading in the cross section of a rotating chamber.

The influence of the rotation speed on the performance at a chamber filling degree of 0.45 and a relative particle size of a milling load of 0.0104 was estimated by experimental simulation. The maximum productivity value was found at the relative speed of rotation  $\psi_{\omega}=1-1.05$ . A rational condition for impact grinding at  $\psi_{\omega}=0.75-0.9$  has been established.

The test proved the effectiveness of using visualization to evaluate dynamic loading interaction analogs. Verification of modeling results was implemented by comparison with the data of the technical standard. The use of similarity criteria unifies approaches to modeling different mechanisms of destruction.

The model built makes it possible to predict the rational parameters of the grinding processes by impact, crushing, and abrasion.

**Keywords:** tumbling mill, intra-chamber loading, impact action, flight zone, similarity criteria, grinding performance.

## References

- Fuerstenau, D. W., Abouzeid, A.-Z. M. (2002). The energy efficiency of ball milling in comminution. *International Journal of Mineral Processing*, 67 (1-4), 161–185. doi: [https://doi.org/10.1016/s0301-7516\(02\)00039-x](https://doi.org/10.1016/s0301-7516(02)00039-x)
- Tromans, D. (2008). Mineral comminution: Energy efficiency considerations. *Minerals Engineering*, 21 (8), 613–620. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.12.003>
- Napier-Munn, T. (2015). Is progress in energy-efficient comminution doomed? *Minerals Engineering*, 73, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.06.009>
- Bouchard, J., LeBlanc, G., Levesque, M., Radziszewski, P., Georges-Filteau, D. (2019). Breaking down energy consumption in industrial grinding mills. *CIM Journal*, 10 (4), 157–164. doi: <https://doi.org/10.15834/cimj.2019.18>
- Chimwani, N. (2021). A Review of the Milestones Reached by the Attainable Region Optimisation Technique in Particle Size Reduction. *Minerals*, 11 (11), 1280. doi: <https://doi.org/10.3390/min11111280>
- Cleary, P. W. (2001). Charge behaviour and power consumption in ball mills: sensitivity to mill operating conditions, liner geometry and charge composition. *International Journal of Mineral Processing*, 63 (2), 79–114. doi: [https://doi.org/10.1016/s0301-7516\(01\)00037-0](https://doi.org/10.1016/s0301-7516(01)00037-0)
- Morrison, R. D., Cleary, P. W. (2008). Towards a virtual comminution machine. *Minerals Engineering*, 21 (11), 770–781. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.06.005>
- Bilgili, E., Scarlett, B. (2005). Population balance modeling of non-linear effects in milling processes. *Powder Technology*, 153 (1), 59–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2005.02.005>
- Wills, B. A., Finch, J. (2015). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/c2010-0-65478-2>
- Gupta, V. K. (2020). Energy absorption and specific breakage rate of particles under different operating conditions in dry ball milling. *Powder Technology*, 361, 827–835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.033>
- Datta, A., Mishra, B. K. (1999). Power draw estimation of ball mills using neural networks. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 16 (1), 57–60. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03402857>
- Rezaeizadeh, M., Fooladi, M., Powell, M. S., Mansouri, S. H. (2010). Experimental observations of lifter parameters and mill operation on power draw and liner impact loading. *Minerals Engineering*, 23 (15), 1182–1191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.07.017>
- Soleymani, M. M., Fooladi, M., Rezaeizadeh, M. (2016). Experimental investigation of the power draw of tumbling mills in wet grinding. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 230 (15), 2709–2719. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406215598801>
- Góralczyk, M., Krot, P., Zimroz, R., Ogonowski, S. (2020). Increasing Energy Efficiency and Productivity of the Comminution Process in Tumbling Mills by Indirect Measurements of Internal Dynamics—An Overview. *Energies*, 13 (24), 6735. doi: <https://doi.org/10.3390/en13246735>
- Golpayegani, M. H., Rezaei, B. (2022). Modelling the power draw of tumbling mills: A comprehensive review. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. doi: <https://doi.org/10.37190/ppmp/151600>
- Govender, I Powell, M. S. (2006). An empirical power model derived from 3D particle tracking experiments. *Minerals Engineering*, 19 (10), 1005–1012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.03.017>
- Bbosa, L. S., Govender, I., Mainza, A. N., Powell, M. S. (2011). Power draw estimations in experimental tumbling mills using PEPT. *Minerals Engineering*, 24 (3-4), 319–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.10.005>
- Bbosa, L. S., Govender, I., Mainza, A. (2016). Development of a novel methodology to determine mill power draw. *International Journal of Mineral Processing*, 149, 94–103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.02.009>
- Tohry, A., Chehreh Chelgani, S., Matin, S. S., Noormohammadi, M. (2020). Power-draw prediction by random forest based on operating parameters for an industrial ball mill. *Advanced Powder Technology*, 31 (3), 967–972. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.12.012>
- Tavares, L. M. (2017). A Review of Advanced Ball Mill Modelling. *KONA Powder and Particle Journal*, 34, 106–124. doi: <https://doi.org/10.14356/kona.2017015>
- Kelly, E. G., Spottiswood, D. J. (1982). *Introduction to mineral processing*. Wiley- Interscience.
- King, R. P. (2001). *Modeling and simulation of mineral processing systems*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-26303-3>
- Chieregati, A. C., Delboni Júnior, H. (2001). *Novo método de caracterização tecnológica para cominuição de minérios*. São Paulo: EPUSP.
- Gupta, A., Yan, D. (2016). *Mineral processing design and operations: An introduction*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2014-0-01236-1>
- Yin, Z., Peng, Y., Zhu, Z., Yu, Z., Li, T. (2017). Impact Load Behavior between Different Charge and Lifter in a Laboratory-Scale Mill. *Materials*, 10 (8), 882. doi: <https://doi.org/10.3390/ma10080882>
- Boateng, A. A., Barr, P. V. (1996). Modelling of particle mixing and segregation in the transverse plane of a rotary kiln. *Chemical Engineering Science*, 51 (17), 4167–4181. doi: [https://doi.org/10.1016/0009-2509\(96\)00250-3](https://doi.org/10.1016/0009-2509(96)00250-3)
- Ding, Y. L., Forster, R., Seville, J. P. K., Parker, D. J. (2002). Granular motion in rotating drums: bed turnover time and slumping–rolling transition. *Powder Technology*, 124 (1-2), 18–27. doi: [https://doi.org/10.1016/s0032-5910\(01\)00486-7](https://doi.org/10.1016/s0032-5910(01)00486-7)

28. Mellmann, J. (2001). The transverse motion of solids in rotating cylinders—forms of motion and transition behavior. *Powder Technology*, 118 (3), 251–270. doi: [https://doi.org/10.1016/s0032-5910\(00\)00402-2](https://doi.org/10.1016/s0032-5910(00)00402-2)
29. Rajchenbach, J. (1990). Flow in powders: From discrete avalanches to continuous regime. *Physical Review Letters*, 65 (18), 2221–2224. doi: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.65.2221>
30. Zik, O., Levine, D., Lipson, S. G., Shtrikman, S., Stavans, J. (1994). Rotationally Induced Segregation of Granular Materials. *Physical Review Letters*, 73 (5), 644–647. doi: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.73.644>
31. Orpe, A. V., Khakhar, D. V. (2001). Scaling relations for granular flow in quasi-two-dimensional rotating cylinders. *Physical Review E*, 64 (3). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.64.031302>
32. Taberlet, N., Richard, P., Hinch, E. J. (2006). S shape of a granular pile in a rotating drum. *Physical Review E*, 73 (5), 050301. doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.73.050301>
33. Govender, I., Richter, M. C., Mainza, A. N., De Klerk, D. N. (2016). A positron emission particle tracking investigation of the scaling law governing free surface flows in tumbling mills. *AIChE Journal*, 63 (3), 903–913. doi: <https://doi.org/10.1002/aic.15453>
34. Yin, Z., Peng, Y., Li, T., Wu, G. (2018). DEM Investigation of Mill Speed and Lifter Face Angle on Charge Behavior in Ball Mills. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 394, 032084. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/394/3/032084>
35. Maleki-Moghaddam, M., Yahyaei, M., Banisi, S. (2013). A method to predict shape and trajectory of charge in industrial mills. *Minerals Engineering*, 46–47, 157–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.04.013>
36. Powell, M. S McBride, A. T. (2004). A three-dimensional analysis of media motion and grinding regions in mills. *Minerals Engineering*, 17 (11–12), 1099–1109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.06.022>
37. Morrison, A. J., Govender, I., Mainza, A. N., Parker, D. J. (2016). The shape and behaviour of a granular bed in a rotating drum using Eulerian flow fields obtained from PEPT. *Chemical Engineering Science*, 152, 186–198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.06.022>
38. de Klerk, D. N., Govender, I., Mainza, A. N. (2019). Geometric features of tumbling mill flows: A positron emission particle tracking investigation. *Chemical Engineering Science*, 206, 41–49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.05.020>
39. Naumenko, Y. (2017). Modeling a flow pattern of the granular fill in the cross section of a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 59–69. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110444>
40. Naumenko, Y. (2017). Modeling of fracture surface of the quasi solid-body zone of motion of the granular fill in a rotating chamber. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (86)), 50–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96447>
41. Naumenko, Y., Sivko, V. (2017). The rotating chamber granular fill shear layer flow simulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (88)), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107242>
42. Deineka, K., Naumenko, Y. (2019). Revealing the effect of decreased energy intensity of grinding in a tumbling mill during self-excitation of auto-oscillations of the intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155461>
43. Deineka, K., Naumenko, Y. (2020). Establishing the effect of decreased power intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill when the crushed material content in the intra-chamber fill is reduced. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (106)), 39–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209050>
44. Deineka, K., Naumenko, Y. (2019). Establishing the effect of a decrease in power intensity of self-oscillating grinding in a tumbling mill with a reduction in an intrachamber fill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (102)), 43–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183291>
45. Deineka, K., Naumenko, Y. (2021). Establishing the effect of a simultaneous reduction in the filling load inside a chamber and in the content of the crushed material on the energy intensity of self-oscillatory grinding in a tumbling mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (109)), 77–87. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224948>
46. Deineka, K., Naumenko, Y. (2022). Revealing the mechanism of stability loss of a two-fraction granular flow in a rotating drum. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (118)), 34–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263097>
47. Deineka, K. Yu., Naumenko, Yu. V. (2018). The tumbling mill rotation stability. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 60–68. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/10>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.278267****ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З ПІДЛОГОЮ ІЗ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ (с. 6–13)****А. О. Ловська, В. П. Нерубацький, А. М. Окороков, Р. В. Вернигора, І. Л. Журавель**

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції вагона-платформи з підлогою із сендвіч-панелей.

Для зменшення впливу динамічних навантажень на несучу конструкцію вагона-платформи, а також схоронність вантажів, що перевозяться на ньому, пропонується виготовлення підлоги із сендвіч-панелей.

В рамках дослідження проведено математичне моделювання динамічної навантаженості вагона-платформи при русі у завантаженому стані. Встановлено, що з урахуванням запропонованого рішення прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи зменшуються на 8,4 % у порівнянні з типовою. При цьому прискорення, які діють на вантаж, розміщений на вагоні-платформі, зменшуються на 11,7 %. Результати розрахунку на міцність сендвіч-панелей за умови розміщення на вагоні-платформі довели доцільність запропонованого удосконалення. Проведено визначення основних показників динаміки удосконаленої конструкції вагона-платформи за умови руху у порожньому стані. Встановлено, що рух вагона-платформи оцінюється як "добрий".

Особливість отриманих результатів полягає у тому, що удосконалення несучої конструкції вагона-платформи сприяє не тільки зменшенню його динамічної навантаженості, а і покращенню схоронності перевозимих вантажів.

Сфера практичного застосування результатів – машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного застосування результатів дослідження є використання енергопоглинального матеріалу в конструкції сендвіч-панелей.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій залізничних транспортних засобів та підвищенню ефективності функціонування транспортної галузі.

**Ключові слова:** залізничний вагон, сендвіч-панель, динамічна навантаженість вагона, міцність конструкції рами, схоронність вантажів.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.279098****ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ЗМІЩЕНОЇ СТІНКИ СТАЛЕВОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ ДЛЯ НАФТИ-НАФТОПРОДУКТІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ ОБМОТКИ (с. 14–25)****Timur Tursunkululy, Nurlan Zhangabay, К. В. Аврамов, М. В. Чернобривко, Medetbek Kambarov, Arman Abildabekov, Kanat Narikov, Otabek Azatkulov**

Проведено дослідження частот та форм коливань вертикального сталевго резервуару при змінній товщині стінки в програмному комплексі ANSYS з використанням скінчено-елементної моделі коливань резервуару об'ємом 3000м<sup>3</sup> для нафти-нафтопродуктів, зміщеного поперечно-напруженою обмоткою. Моделювання проводилося для двох варіантів закріплення верхнього краю стінки резервуару, які відповідають випадкам відсутності чи наявності покриття резервуару. Досліджувалися розрахункові випадки для коефіцієнтів сили натягу дроту щодо його межі міцності: при  $k_1=0,2$ ; при  $k_2=0,4$ ; при  $k_3=0,6$ ; при  $k_4=0,8$ . Варіативні дослідження проводилися з урахуванням додаткових навантажень, викликаних дією гідростатичного тиску від максимально і наполовину налитої нафти в резервуар, і без нафти. Величина змін частот коливань стінки резервуару без впливу покриття варіюється в межах 12–27 %, а з урахуванням впливу покриття резервуару 21–62 %, залежно від ступеня наповнення резервуару. Виявлена закономірність у тому, що зменшення сили натягу нитки в обмотці призводить до підвищення частоти коливань. Таким чином, для регулювання частоти коливань стінки резервуару можна застосувати попередню напругу, зниженням якої в обмотці можна підвищити частоти власних коливань стінки, а знизити частоти через збільшення попередньої напруги. Отримані результати досліджень у перспективі можна використовувати як антисейсмічні заходи при проектуванні та будівництві сталевих вертикальних циліндричних резервуарів, а також для підвищення характеристик міцності існуючих циліндричних конструкцій.

**Ключові слова:** вертикальний сталевий резервуар, попереднє напруження, сейсмічні навантаження, частота коливань.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282205****МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО РИГЕЛЯ ПРИ НАГРІВІ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ (с. 26–36)****С. В. Поздєєв, О. В. Некора, С. М. Федченко, Н. П. Заїка, Т. М. Шналь, А. В. Субота, М. М. Несух**

У статті запропоновано метод, який дозволяє досліджувати закономірності зміння міцності бетону залізобетонних ригелів у залежності від температури нагріву в умовах пожежі шляхом інтерпретації результатів їхніх стандартних вогневих випробувань. Для реалізації даного методу запропоновано в якості даних, що входять у набір результатів вимірювань під час здійснення вогневих випробувань, використовувати аналогічні дані, отримані за допомогою математичного моделювання на основі методу скінчених елементів та заданих властивостей матеріалів у тому числі рекомендованої настановами кривої зниження міцності бетону у залежності від температури. Такими даними є залежності від часу температурних показників в окремих точках перерізу та залежність максимального

прогину ригеля від часу. У статті запропоновано метод інтерполяції, що дозволяє встановити температуру в будь-якій точці перерізу на основі наближення ізотерм параболою із перемінним показником їхньої степені. Для ідентифікації залежності міцності бетону залізобетонних ригелів запропоновано метод, заснований на математичній інтерпретації температурних показників, отриманих за допомогою запропонованого методу інтерполяції, та кривої залежності максимального прогину від часу з використанням деформаційної моделі для описання напружено-деформованого стану.

У роботі також показано, що результати, отримані за допомогою запропонованого методу ідентифікації коефіцієнтів зниження міцності бетону, є адекватними, оскільки їх відносна похибка у середньому складає не більше 7%. На основі отриманих результатів доведено можливість його застосування для вивчення закономірностей зниження міцності бетону залізобетонних ригелів в умовах пожежі.

**Ключові слова:** залізобетонний ригель, коефіцієнт зниження міцності бетону, вогнестійкість, міцність бетону.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283078**

### **ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВТОМНОЇ ПОВЕДІНКИ КОМПОЗИТНОГО ВАЛУ ПРИ ЗМІННОМУ НАВАНТАЖЕННІ (с. 37–44)**

**Imad O. Bachi Al-Fahad, Hussein Kadhim Sharaf, Lina Nasseer Bachache, Nasseer Kassim Bachache**

У роботі представлений скінченно-елементний аналіз композитного валу при динамічному змінному втомному навантаженні. Об'єктом дослідження є зміна втомної довговічності композитного валу при динамічному змінному втомному навантаженні. Втомна довговічність валу визначається шляхом аналізу розподілу напруження та його впливу на втомну міцність матеріалу. Дослідження втомної поведінки включає оцінку таких факторів, як концентрація напружень, виникнення та поширення втомних тріщин, а також накопичені пошкодження, спричинені циклічним навантаженням. У роботі вивчається вплив двовісного навантаження на втомні характеристики валу і дається уявлення про його значення для прогнозування втомної довговічності, що становить  $10e7$  циклів. Крім того, для оцінки накопичених пошкоджень та відстеження прогресування втомної деградації прогнозується показник пошкоджень. Цей показник служить цінним інструментом для прогнозування залишкового терміну служби композитного валу. Для характеристики сукупного впливу різних умов навантаження на втомну довговічність композитного валу розраховується еквівалентне змінне напруження. Шляхом кількісної оцінки рівня напруження та змін, яких зазнає конструкція, цей параметр дозволяє провести всебічну оцінку втомних характеристик при змінних навантаженнях 250 Н. Результати дослідження сприяють розумінню втомної поведінки композитних валів при динамічному змінному втомному навантаженні. Дані, отримані в результаті дослідження втомної довговічності, коефіцієнта біаксіальності, прогнозування пошкоджень та розрахунку еквівалентного змінного напруження можуть бути корисними при оптимізації конструктивних рішень, плануванні технічного обслуговування і підвищенні надійності та довговічності композитних валів у різних технічних застосуваннях.

**Ключові слова:** композитний вал, змінне навантаження, втомна довговічність, коефіцієнт біаксіальності, показник пошкоджень.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281936**

### **ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗДВОЄНОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ (с. 45–52)**

**В. І. Назін**

Об'єктом дослідження є гідростатичні процеси в опорах ковзання з кількома шарами мастильного матеріалу.

Вирішувалась проблема впливу конструктивних та експлуатаційних параметрів здвоєних гідростатичних підшипників ковзання на їх статичні та динамічні характеристики. В якості статичної характеристики розглядалися несучі здібності здвоєних та звичайних втулкових гідростатичних підшипників. Під час аналізу динамічних характеристик визначалися амплітудно-частотні характеристики. Вони були отримані розрахунковим шляхом та в результаті експериментальних досліджень. Під час розрахунку амплітудно-частотних характеристик використовувався метод траєкторій. Під час розрахунку амплітудно-частотних характеристик використовувався метод траєкторій. В якості зовнішніх сил в рівняннях руху ротора розглядалися гідродинамічні сили, вага ротора та його невривноваженість.

Експериментальне визначення траєкторій руху ротора проводилося на спеціальному стенді.

Встановлено, що несуча здатність підшипника здвоєного типу, приблизно в 1,75–1,85 рази вище несучої здатності звичайного втулкового підшипника. Діапазон стійкої роботи ротора на підшипниках здвоєного типу приблизно в 1,4 рази більше порівняно з діапазоном стійкої роботи ротора на гідростатичних втулкових підшипниках. Амплітуди коливань в області резонансу у здвоєних підшипників були меншими приблизно в 1,5 рази в порівнянні з амплітудами коливань ротора на втулкових підшипниках.

Отримані результати дозволяють рекомендувати гідростатичні підшипники здвоєного типу для опор роторів атомних електростанцій, потужних авіаційних двигунів з редуктором, різних типів насосів та інших агрегатів енергоустановок. Розроблені теоретичні залежності дають змогу виконувати практичний розрахунок гідростатичних підшипників здвоєного типу.

**Ключові слова:** здвоєний підшипник, несуча здатність, динамічні характеристики, нестационарне навантаження, траєкторія руху.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.273635**

### **РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБЛІКУ НАЯВНОСТІ ЛОКАЛЬНОГО ПОВЕРХНЕВОГО ТЕПЛООБМІНУ В СТРИЖНЯХ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ (с. 53–64)**

**Mukaddas Arshidinova, Azat Tashev, Anarbay Kudaykulov**

Несучі елементи ряду стратегічних видів обладнання мають обмежену довжину та змінний переріз. Більшість з них схильні до впливу певних типів джерел тепла. Для забезпечення надійної роботи цього обладнання необхідно знати температурне поле по до-

вжині стрижня змінного перерізу. У даній роботі запропоновано обчислювальний алгоритм та спосіб визначення температурного поля по довжині стрижня обмеженої довжини та змінного перерізу. Вони ґрунтуються на фундаментальних законах збереження енергії.

Нелінійність процесу обумовлена нелінійними залежностями площ змінного поперечного перерізу від координати. Радіус перерізу стрижня лінійно зменшується по всій довжині, починаючи з лівого кінця. Бічна поверхня першого і третього дискретних елементів стрижня теплоізолювана. На бічній поверхні другого дискретного елемента стрижня відбувається конвективний теплообмін з навколишнім середовищем.

Площа перерізу лівого кінця стрижня знаходиться під впливом теплового потоку з постійною інтенсивністю, а до правого кінця подається тепловий потік з різною інтенсивністю, при цьому коефіцієнт теплопередачі вважається постійним. Для вирішення цієї задачі необхідно спочатку визначити закон розподілу температури по довжині стрижня. Крім того, якщо один кінець жорстко закріплений, а інший кінець вільний, то подовження необхідно розраховувати в залежності від наявних джерел тепла, фізичних і геометричних характеристик стрижня з урахуванням ізоляції.

У разі защемлення обох кінців досліджуваного стрижня величина осьової стискаючої сили розраховується з урахуванням складання реальних коефіцієнтів. Також визначається розподіл всіх компонентів поля деформації, напруги та переміщення.

**Ключові слова:** інтенсивність теплового потоку, коефіцієнт теплопровідності, температура, коефіцієнт теплопередачі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283073

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ МЕХАНІЗМУ ПОДРІБНЕННЯ УДАРОМ В БАРАБАННОМУ МЛІНІ НА ОСНОВІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ (с. 65–73)

Ю. В. Науменко, К. Ю. Дейнека

Побудовано математичну модель на основі візуалізації даних для механізму подрібнення ударом в барабанному млині, що реалізується переважно при грубому помелі.

Визначення параметрів імпульсної взаємодії є проблематичним через труднощі моделювання та складність апаратного аналізу поведінки внутрішньомлинного завантаження.

Концептуально передбачалось виявлення відносних динамічних параметрів ударної дії як складових моделі, що є критеріями подібності руху завантаження та процесу помелу. Як аналог продуктивності подрібнення прийнято потужність ударних сил. Вихідною характеристикою удару вважалась усереднена вертикальна складова швидкості руху завантаження у зоні польоту на межі контакту зі зсувним шаром. Формалізація моделі виявила вплив на продуктивність масової частки зони польоту та оборотності завантаження.

Застосовано метод чисельного моделювання на основі експериментальної візуалізації поведінки зернистого завантаження в поперечному перерізі обертової камери.

Експериментальним моделюванням оцінено вплив швидкості обертання на продуктивність при ступені заповнення камери 0.45 та відносному розмірі частинок молоткового завантаження 0.0104. Виявлено максимальне значення продуктивності при відносній швидкості обертання  $\psi_{\omega}=1-1.05$ . Встановлено раціональну умову реалізації подрібнення ударом при  $\psi_{\omega}=0.75-0.9$ .

Апробація засвідчила ефективність застосування візуалізації для оцінювання динамічних аналогів взаємодії завантаження. Верифікація результатів моделювання реалізована порівнянням із даними технічного стандарту. Використання критеріїв подібності уніфікує підходи до моделювання різних механізмів руйнування.

Розроблена модель дозволяє прогнозувати раціональні параметри процесів подрібнення ударом, роздавлюванням та стиранням.

**Ключові слова:** барабанний млин, внутрішньокамерне завантаження, ударна дія, зона польоту, критерії подібності, продуктивність подрібнення.