

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258201

**DETERMINING THE FEATURES OF LOADING THE BEARING STRUCTURE OF A MULTIFUNCTIONAL CAR UNDER OPERATING MODES (p. 6–13)****Oleksij Fomin**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2387-9946>**Alyona Lovska**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**Andrii Lytvynenko**Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5182-9607>**Sergiy Sova**Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,  
Severodonetsk, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3380-7604>

This paper substantiates the modernization and commissioning of a railroad car for high-temperature, bulk/loose cargoes in order to improve the efficiency of railroad transportation. A feature of the car is the presence of an open-type boiler, which is made of heat-resistant material. To prevent splashing of transported cargo, it is possible to use a removable cover, which is attached to the top of the boiler.

The boiler of the car was calculated for strength under the main operating modes. The vertical load on the boiler was taken into consideration while accounting for the transportation of bulk cargo, as well as longitudinal, and the effect of temperature load. The strength was calculated by the method of finite elements. It is taken into consideration that the boiler is made of composite heat-resistant material. The calculation results showed that with the considered load modes, the strength of the boiler is ensured.

The dynamic load of the boiler was mathematically modeled at car shunting. The calculation was performed in a flat coordinate system. Solving the mathematical model of the car dynamic load has established that the maximum acceleration that acts on the boiler is  $36.5 \text{ m/s}^2$ .

The dynamic load of the boiler was simulated. The dislocation fields and numerical values of accelerations that act on it were determined. The maximum acceleration, in this case, is concentrated in the bottom of the boiler; it is  $37.4 \text{ m/s}^2$ .

To verify the dynamic load model, the F-criterion was used for calculation. It has been established that the hypothesis about the adequacy of the model is confirmed.

The study reported here could contribute to improving the efficiency of railroad transport operation and advancing the design of multifunctional car structures.

**Keywords:** transport mechanics, railroad car, load-bearing structure, composite material, structure load.

**References**

- Gattuso, D., Cassone, G. C., Lucisano, A., Lucisano, M., Lucisano, F. (2017). Automated rail wagon for new freight transport opportunities. 2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS). doi: <https://doi.org/10.1109/mtits.2017.8005581>
- Šťastniak, P., Smetanka, L., Moravčík, M. (2018). Structural Analysis of a Main Construction Assemblies of the New Wagon Prototype Type Zans. Manufacturing Technology, 18 (3), 510–517. doi: <https://doi.org/10.21062/ujep/130.2018/a/1213-2489/mt/18/3/510>
- Stoilov, V., Purgic, S., Slavchev, S. (2015). STATIC Strength Analysis Of The Body Of A Wagon, Series Zans. Journal of the Balkan Tribological Association, 21, 49–57. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/STATIC-STRENGTH-ANALYSIS-OF-THE-BODY-OF-A-WAGON%2C-Stoilov-Purgi%2C-C4%87/633c5cf68afdd73c979ef9a2c4f505deb600988c>
- Liu, W., Wang, Y., Wang, T. (2021). Box Girder Optimization by Orthogonal Experiment Design and GA-BP Algorithm in the Gondola Car Body. Processes, 10 (1), 74. doi: <https://doi.org/10.3390/pr10010074>
- Silva, R., Ribeiro, D., Bragança, C., Costa, C., Arêde, A., Calçada, 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>
- Wei, C., Kaiwu, C., Fukang, Q., Jin, X. (2018). Study on Fatigue Strength and Life of Freight Car Frame after Making Holes. MATEC Web of Conferences, 175, 01035. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817501035>
- Plączek, M., Buchacz, A., Baier, A., Herbuś, K., Ociepka, P., Majzner, M. (2018). Development and analysis of a new technology of freight cars modernization. Journal of Vibroengineering, 20 (8), 2978–2997. doi: <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19206>
- 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>
- Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. Scientific Bulletin of National Mining University, 6, 89–96. Available at: [https://nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2017/06/06\\_2017\\_Fomin.pdf](https://nvngu.in.ua/jdownloads/pdf/2017/06/06_2017_Fomin.pdf)
- Kondratiev, A. (2019). Improving the mass efficiency of a composite launch vehicle head fairing with a sandwich structure. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (102)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.184551>
- Kondratiev, A., Gaidachuk, V., Nabokina, T., Kovalenko, V. (2019). Determination of the influence of deflections in the thickness of a composite material on its physical and mechanical properties with a local damage to its wholeness. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (1 (100)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174025>
- Gallager, R. (1984). Metod konechnikh elementov. Osnovy. Moscow: Mir, 428.
- Alyamovskiy, A. A. (2010). COSMOS Works. Osnovy rascheta konstruktivnykh na prochnost' v srede SolidWorks. Moscow: DMK, 784.
- Alyamovskiy, A. A. (2007). SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Inzhenernyy analiz metodom konechnykh elementov. Moscow: DMK, 784.
- Vatulia, G. L., Petrenko, D. H., Novikova, M. A. (2017). Experimental estimation of load-carrying capacity of circular, square and rectangular CFST columns. Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu, 6, 97–102. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2017\\_6\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_6_16)
- 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>

17. Pištěk, V., Kučera, P., Fomin, O., Lovska, A. (2020). Effective Mistuning Identification Method of Integrated Bladed Discs of Marine Engine Turbochargers. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (5), 379. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8050379>
18. Lovska, A. O. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
19. Lovska, A. (2018). Simulation of Loads on the Carrying Structure of an Articulated Flat Car in Combined Transportation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.3), 140. doi: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19724>
20. 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>
21. 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>
22. Lovska, A. A. (2015). Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry-bridge. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 49–54. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Peculiarities-of-computer-modeling-of-strength-of-Lovska/b86e05254031bcd026118d57f8504a58686d9905>
23. Kelykh, M. B., Fomin, O. V. (2014). Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Metallurgical and Mining Industry*, 6, 57–60. Available at: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI\\_2014\\_6/11-Fomin.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/MMI_2014_6/11-Fomin.pdf)
24. Bogomaz, G. I., Mekhov, D. D., Pilipchenko, O. P., Chernomashentseva, Yu. G. (1992). Nagruzhennost' konteynerov-tsistern, raspolozhennykh na zheleznodorozhnoy platforme, pri udarakh v avtostsepku. *Zb. nauk. prats «Dynamika ta keruvannia rukhom mekhanichnykh system»*. Kyiv: ANU, Instytut tekhnichnoi mekhaniky, 87–95.
25. Fomin, O. V., Burlutsky, O. V., Fomina, Yu. V. (2015). Development and application of cataloging in structural design of freight car building. *Metallurgical and Mining Industry*, 2, 250–256. Available at: [https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2015\\_2/039Fomin.pdf](https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_2/039Fomin.pdf)
26. Fomin, O. (2014). Modern requirements to carrying systems of railway general-purpose gondola cars. *Metallurgical and Mining Industry*, 5, 31–43. Available at: <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/9-Fomin.pdf>
27. Kosmin, V. V. (2007). *Osnovy nauchnykh issledovaniy*. Moscow: GOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 271.
28. Krol, O., Porkuan, O., Sokolov, V., Tsankov, P. (2019). Vibration stability of spindle nodes in the zone of tool equipment optimal parameters. *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences*, 72 (11), 1546–1556. doi: <https://doi.org/10.7546/crabs.2019.11.12>
29. Krol, O., Sokolov, V. (2020). Modeling of Spindle Node Dynamics Using the Spectral Analysis Method. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 35–44. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_4)
30. Kobzar', A. I. (2006). *Prikladnaya matematicheskaya statistika*. Moscow, 816.
31. Ivchenko, G. I., Medvedev, Yu. I. (2014). *Matematicheskaya statistika*. Moscow, 352.
32. Rudenko, V. M. (2012). *Matematychna statystyka*. Kyiv, 304.
33. A Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiyi, R., Prokopenko, Y., Hurskyi, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation 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>
34. Lukin, V. V., Shadur, L. A., Koturanov, V. I., Khokhlov, A. A., Anisimov, P. S. (2000). *Konstruirovaniye i raschet vagonov*. Moscow, 731.
35. Vysloukh, S. P. (2011). *Informatsiyni tekhnolohiyi v zadachakh tekhnolohichnoi pidhotovky prylyado- ta mashynobudivnoho vyrobnytstva*. Kyiv, 488.
36. Petrovich, M. L. (1982). *Regressionniy analiz i ego matematicheskoe obespechenie na ES EVM*. Moscow, 199.
37. Lapach, S. N., Chubenko, A. V., Babich, P. N. (2001). *Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh s ispol'zovaniem Excel*. Kyiv, 408.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258118

**ESTIMATING THE STRESSED-STRAINED STATE OF THE VERTICAL MOUNTING JOINT OF THE CYLINDRICAL TANK WALL TAKING INTO CONSIDERATION IMPERFECTIONS (p. 14–21)**

**Ulanbator Suleimenov**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7798-1044>

**Nurlan Zhababay**

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

**Khassen Abshenov**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0173-2524>

**Akmara Utelbayeva**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4771-9835>

**Kuanys Imanaliyev**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1141-8424>

**Saule Mussayeva**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3779-0600>

**Arman Moldagaliyev**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4286-8401>

**Myrzabek Yermakhanov**

Central Asian Innovation University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0939-1792>

**Gulnura Raikhanova**

Mukhtar Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4215-2929>

Based on the use of a multi-level mathematical model, this paper estimates the stressed-strained state of a cylindrical reservoir in the mounting joint and considers the concentration of stresses in the joint zone.

The correctness of the selected mathematical model was verified to show that for an engineering assessment of the stressed-strained

state of the wall of a cylindrical tank with variable thickness, it is possible to use the ratios for a cylindrical shell with a constant wall thickness. The spread of values is no more than 1 %, which indicates the proper selection of the mathematical model.

A numerical assessment of the stressed-strained state in the zone of the mounting joint proved the assumption of significant stress concentrations in the zone and indicated the determining effect exerted on the concentration of stresses by its geometric dimensions.

The concentration of stresses in the joint zone of the tank wall was investigated at various sizes in the ANSYS programming environment. The result of calculating the stressed-strained state of the reservoir for various values of the dent parameters  $f/t$  and  $a/\sqrt{Rt}$  is the constructed polynomials that approximate the stress concentration coefficient  $K_G$ .

As a result of the calculations, an interpolation polynomial and an approximating stress concentration coefficient were derived, which could be used to assess the strength, durability, residual life of the tank and to normalize the limiting dimensions of the imperfection of the joint.

This paper reports comparative results of the calculations of the stress concentration coefficient depending on the geometric dimensions of the imperfection of the mounting joint in the ANSYS software package, as well as using an interpolation polynomial.

The results could be used to assess the strength and residual life of such structures.

Keywords: steel tank, stress concentration, mounting joint, joint parameters, numerical method.

## References

- 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>
- 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>
- Oil tankers: Danger on the rails. Available at: <https://edition.cnn.com/2015/05/14/us/oil-tank-investigation/>
- Oil Tank Leaks or Oil Tank & Tank Piping Failure & Oil Leak Odor Causes. Available at: [https://inspectapedia.com/oiltanks/Oil\\_Tank\\_Leak\\_Causes.php](https://inspectapedia.com/oiltanks/Oil_Tank_Leak_Causes.php)
- Analiz rynka nefteproduktov v Kazakhstane - 2022. Pokazateli i prognozy. Available at: <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-nefteproduktov-v-kazakhstane>
- 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>
- Farhan, M. M., Al-Jumaily, M. M., Al-Muhammadi, A. D., Ismail, A. S. (2017). Development of a New Method for Reducing the Loss of Light Hydrocarbons at Breather Valve of Oil Tanks. *Energy Procedia*, 141, 471–478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.061>
- Hong, F., Jiang, L., Zhuo, Q., Zhang, F., Lu, X., Ma, X., Hao, J. (2018). Types of abnormal high-pressure gas reservoir in foreland basins of China. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 3 (4), 191–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2018.10.001>
- Duissenbekov, B., Tokmuratov, A., Zhangabay, N., Orzabayev, Z., Yerimbetov, B., Aldiyarov, Z. (2020). Finite-difference equations of quasistatic motion of the shallow concrete shells in nonlinear setting. *Curved and Layered Structures*, 7 (1), 48–55. doi: <https://doi.org/10.1515/cls-2020-0005>
- Borodin, K., Zhangabayuly Zhangabay, N. (2019). Mechanical characteristics, as well as physical-and-chemical properties of the slag-filled concretes, and investigation of the predictive power of the metaheuristic approach. *Curved and Layered Structures*, 6 (1), 236–244. doi: <https://doi.org/10.1515/cls-2019-0020>
- Utelbaeva, A. B., Ermakhanov, M. N., Zhanabai, N. Z., Utelbaev, B. T., Mel'deshov, A. A. (2013). Hydrogenation of benzene in the presence of ruthenium on a modified montmorillonite support. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 87 (9), 1478–1481. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036024413090276>
- Filippov, V. V., Prokhorov, V. A., Argunov, S. V., Buslaeva, I. I. (1993). Tekhnicheskoe sostoyanie rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov obedineniya «Yakutnefteprodukt». *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 7-8, 13–16.
- Biletskiy, S. M., Golin'ko, V. M. (1983). *Industrial'noe izgotovlenie negabaritnykh svarynykh listovykh konstruksiy*. Kyiv: Nauk. dumka, 272. Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001165555>
- Ivantsova, S. G., Rakhmanin, A. I., Tarasenko, M. A., Sil'nitskiy, P. F. (2011). Kontseptsiya analiza riska rezervuarnykh konstruksiy. *Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse*, 3, 31–35.
- Mansurova, S. M., Tlyasheva, R. R., Ivakin, A. V., Shayzakov, G. A., Bayramgulov, A. S. (2014). Cylindrical steel tank stress-strain state evaluation with operational loads taken into account. *Oil and Gas Business*, 1, 329–344. doi: <https://doi.org/10.17122/ogbus-2014-1-329-344>
- Fan, Y., Hunt, J., Wang, Q., Yin, S., Li, Y. (2019). Water tank modelling of variations in inversion breakup over a circular city. *Building and Environment*, 164, 106342. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106342>
- 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>
- 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>
- Rastgar, M., Showkati, H. (2018). Buckling behavior of cylindrical steel tank 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>
- Aydın Korucuk, F. M., Maali, M., Kılıç, M., Aydın, A. C. (2019). Experimental analysis of the effect of dent variation on the buckling capacity of thin-walled cylindrical shells. *Thin-Walled Structures*, 143, 106259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106259>
- Coramik, M., Ege, Y. (2017). Discontinuity inspection in pipelines: A comparison review. *Measurement*, 111, 359–373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.07.058>
- Bannikov, R. Yu., Smetannikov, O. Yu., Trufanov, N. A. (2014). Calculation of the amplitude of local conditional elastic stresses on the wall section tank with defects the form as a dent. *Vestn. Samar. Gos. Tekhn. Un-ta. Ser. Tekhnicheskie nauki*, 2 (42), 79–86. Available at: [http://vestnik-teh.samgtu.ru/sites/vestnik-teh.samgtu.ru/files/auto/42\\_4\\_mashinostroenie\\_2014.pdf](http://vestnik-teh.samgtu.ru/sites/vestnik-teh.samgtu.ru/files/auto/42_4_mashinostroenie_2014.pdf)
- Dmitrieva, A. S., Lyagova, A. A. (2016). Problemy otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya stal'nykh rezervuarov s defektom «Vmyatina». *Nauka i molodezh' v XXI veke, materialy 2-y Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitete*, 138–142.
- Maslak, M., Pazdanowski, M., Siudut, J., Tarsa, K. (2017). Corrosion Durability Estimation for Steel Shell of a Tank Used to Store Liquid Fuels. *Procedia Engineering*, 172, 723–730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.092>
- Kolesov, A. I., Ageeva, M. A. (2011). Ostatechniy resurs stal'nykh rezervuarov khimii i neftekhimii, otrabotavshikh normativnye sroki ekspluatatsii. *Vestnik MGSU*, 1, 388–391.

26. TP-704-1-167-84. Rezervuar stal'noy vertikal'nyy tsilindricheskiy dlya nefi i nefteproduktov emkost'yu 2000m3. Al'bom I. Konstruktsii metallicheskie rezervuara. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293833/4293833208.pdf>
27. Likhman, V. V., Kopytsitskaya, L. N., Muratov, V. M. (1992). Kontsentratsiya napryazheniy v rezervuarakh s lokal'nymi nesovershenstvami formy. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 6, 22–24.
28. Kopytsitskaya, L. N., Likhman, V. V., Muratov, V. M. (1989). Inzhenerniy metod rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svarnykh tsilindricheskikh rezervuarov s uvodom kromok. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 10, 15–18.
29. Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utelbayeva, 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256943

### INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF THE COMPOSITE PROSTHETIC KEEL BASED ON THE STATIC LOAD: A COMPUTATIONAL ANALYSIS (p. 22–30)

**Kussay Ahmed Subhi**

Al-Furat Al-Awsat Technical University ATU, Babil, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5132-859X>

**Emad Kamil Hussein**

Al-Furat Al-Awsat Technical University ATU, Babil, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-1659>

**Haider Rahman Dawood Al-Hamadani**

Al-Furat Al-Awsat Technical University ATU, Babil, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2921-2512>

**Hussein Kadhim Sharaf**

Dijlah University College, Baghdad, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-6671>

In this paper, the numerical simulation of the mechanical performance of a composite prosthetic keel structure under static load has been explored, and the findings of this inquiry have been included. The prosthetic keel is constructed from an epoxy and glass fiber composite, 3 percent weight (MWCNTs with SiC), and a carbon nanotube, which are utilized in conjunction with other materials to create the structure. The force that is applied in this example is 1,000 N, and it is applied in accordance with the boundary condition that has been previously established in this case. The ANSYS modeling software package was used to create the prosthetic keel model, which was meshed and created. Because of the total deformation, the fundamental simulation results of the prosthetic keel model have been converged in line with the total deformation, which was used as a reference to determine the total deformation. The major outcome of the current numerical analysis has been successfully validated by considering the findings of the earlier experimental study. The mechanical performance of the composite prosthetic keel structure is determined by four primary criteria, the results of which are based on the findings. Aspects to analyze include equivalent elastic strain, three-axis directed deformation, total deformation, and equivalent stress (von Mises). Although only 0.00058 mm total deformation is created by the imposed static load of 1,000 N (the least attainable value), it represents the largest total deformation. The equivalent stress (von Mises) responded to the load with a response of 0.045 MPa, which is quite small. Furthermore, the equivalent elastic strain has also been undertaken and it resulted in a value of elastic strain of  $3.4 \cdot 10^{-7}$ .

**Keywords:** von Mises stress, directional deformation, total deformation, equivalent elastic strain, FEM.

### References

1. Santana, J. P., Beltran, K., Barocio, E., Lopez-Avina, G. I., Huegel, J. C. (2018). Development of a Low-Cost and Multi-Size Foot Prosthesis for Humanitarian Applications. 2018 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). doi: <https://doi.org/10.1109/ghtc.2018.8601851>
2. Hamzah, M., Gatta, A. (2018). Design of a Novel Carbon-Fiber Ankle-Foot Prosthetic using Finite Element Modeling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 433, 012056. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/433/1/012056>
3. Anane-Fenin, K., Akinlabi, E. T., Perry, N. (2019). Optimization Methods for Minimizing Induced Stress During Tensile Testing of Prosthetic Composite Materials. *Advances in Mechatronics and Mechanical Engineering*, 180–206. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8235-9.ch008>
4. Hussein, E. K., Subhi, K. A., Gaaz, T. S. (2021). Effect of Stick – Slip Phenomena between Human Skin and UHMW Polyethylene. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29 (3). doi: <https://doi.org/10.47836/pjst.29.3.06>
5. Cavallaro, L., Tessari, F., Milandri, G., De Benedictis, C., Ferraresi, C., Laffranchi, M., De Michieli, L. (2021). Finite element modeling of an energy storing and return prosthetic foot and implications of stiffness on rollover shape. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 236 (2), 218–227. doi: <https://doi.org/10.1177/09544119211044556>
6. Prost, V., Peterson, H. V., Winter, A. G. (2021). Multi-Keel Passive Prosthetic Foot Design Optimization Using the Lower Leg Trajectory Error Framework. Volume 8A: 45th Mechanisms and Robotics Conference (MR). doi: <https://doi.org/10.1115/detc2021-67673>
7. Mohammed, S. karim. (2021). Design and Manufacturing of a New Prosthetic Foot. *Journal Port Science Research*, 4 (2), 109–115. doi: <https://doi.org/10.36371/port.2020.2.8>
8. Subhi, K. A., Hussein, E. K., Al-Jumaili, S. A. K., Abbas, Z. A. (2022). Implementation of the numerical analysis of dynamic loads on the composite structure employing the FE method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 42–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253545>
9. Lecomte, C., Ármannsdóttir, A. L., Starker, F., Tryggvason, H., Briem, K., Brynjólfsson, S. (2021). Variable stiffness foot design and validation. *Journal of Biomechanics*, 122, 110440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110440>
10. Baharuddin, M. H., Ab Rashid, A. M., Nasution, A. K., Seng, G. H., Ramlie, M. H. (2021). Patient-specific design of passive prosthetic leg for transtibial amputee: Analysis between two different designs. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 17 (4), 228–234. Available at: [https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2021100809555732\\_MJMHS\\_0119.pdf](https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2021100809555732_MJMHS_0119.pdf)
11. Subhi, K. A., Tudor, A., Hussein, E. K., Wahad, H., Chisiu, G. (2018). Ex-Vivo Cow Skin Viscoelastic Effect for Tribological Aspects in Endoprosthesis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 295, 012018. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/295/1/012018>
12. May, C., Eglhoff, M., Butscher, A., Keel, M. J. B., Aebi, T., Siebenrock, K. A., Bastian, J. D. (2018). Comparison of Fixation Techniques for Acetabular Fractures Involving the Anterior Column with Disruption of the Quadrilateral Plate. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 100 (12), 1047–1054. doi: <https://doi.org/10.2106/jbjs.17.00295>
13. Daniele, B. (2020). Evolution of prosthetic feet and design based on gait analysis data. *Clinical Engineering Handbook*, 458–468. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813467-2.00070-5>
14. Kokz, S. A., Alher, M. A., Ajibori, H. S. S., Muhsin, J. J. (2021). Design and Analysis of a Novel Artificial Ankle-Foot Joint Mechanism.

- IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1067 (1), 012140. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1067/1/012140>
15. Kaluf, B., Cox, C., Shoemaker, E. (2021). Hydraulic- and Micro-processor-Controlled Ankle-Foot Prostheses for Limited Community Ambulators with Unilateral Transtibial Amputation: Pilot Study. *JPO Journal of Prosthetics and Orthotics*, 33 (4), 294–303. doi: <https://doi.org/10.1097/jpo.0000000000000369>
  16. Khandagale, B. D., Pise, U. V. (2022). Numerical and experimental investigation of hinged Ankle-Foot-Orthoses (AFO) using composite laminate material for Cerebral Palsy patient. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.554>
  17. Sharaf, H. K., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Yidris, N., Fattahi, A. (2020). Experimental and numerical investigation of the mechanical behavior of full-scale wooden cross arm in the transmission towers in terms of load-deflection test. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 7937–7946. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.069>
  18. Salman, S., Sharaf, H. K., Hussein, A. F., Khalaf, N. J., Abbas, M. K., Aneel, 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>
  19. Raheemah, S. H., Fadheel, K. I., Hassan, Q. H., Aneel, A. M., Turki Al-Taie, A. A., Sharaf, H. K. (2021). Numerical Analysis of the Crack Inspections Using Hybrid Approach for the Application the Circular Cantilever Rods. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29 (2). doi: <https://doi.org/10.47836/pjst.29.2.22>
  20. Sharaf, H. K., Salman, S., Dindarloo, M. H., Kondrashchenko, V. I., Davidiyants, A. A., Kuznetsov, S. V. (2021). The effects of the viscosity and density on the natural frequency of the cylindrical nanoshells conveying viscous fluid. *The European Physical Journal Plus*, 136 (1). doi: <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-01026-y>
  21. Hussien, H. M., Yasin, S. M., Udzir, N. I., Ninggal, M. I. H., Salman, S. (2021). Blockchain technology in the healthcare industry: Trends and opportunities. *Journal of Industrial Information Integration*, 22, 100217. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100217>
  22. Abu Talib, A. R., Salman, S. (2022). Heat transfer and fluid flow analysis over the microscale backward-facing step using  $\beta\text{Ga}_2\text{O}_3$  nanoparticles. *Experimental Heat Transfer*, 1–18. doi: <https://doi.org/10.1080/08916152.2022.2039328>
  23. Salman, S., Talib, A. R. A., Saadon, S., Sultan, M. T. H. (2020). Hybrid nanofluid flow and heat transfer over backward and forward steps: A review. *Powder Technology*, 363, 448–472. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.12.038>
  24. Sharaf, H. K., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., Yidris, N. (2020). Conceptual design of the cross-arm for the application in the transmission towers by using TRIZ-morphological chart-ANP methods. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (4), 9182–9188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.129>
  25. Chauhan, P., Singh, A. K., Raghuwanshi, N. K. (2022). The state of art review on prosthetic feet and its significance to imitate the biomechanics of human ankle-foot. *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.379>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257439

#### ADVANCING ASYMPTOTIC APPROACHES TO STUDYING THE LONGITUDINAL AND TORSIONAL OSCILLATIONS OF A MOVING BEAM (p. 31–39)

Andrii Slipchuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0584-6104>

Petro Pukach

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0359-5025>

Myroslava Vovk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7818-7755>

Olha Slyusarchuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3464-0252>

This paper analyzes the influence of kinetic and physical-mechanical parameters of systems on the characteristics of dynamic processes in moving one-dimensional nonlinear-elastic systems. Improved convenient calculation formulas have been derived that describe the laws of changing the amplitude-frequency characteristics of systems for both a non-resonant case and a resonant one. An important issue of studying the influence of the speed of movement of elements of mechanisms on the oscillations of one-dimensional nonlinear-elastic systems has not been considered in detail until now in the scientific literature. This issue relates to the vibrations of shafts in gears, pipe strings when drilling oil and gas wells, the oscillations of turbine blades and rotating turbine discs, the longitudinal vibrations of the beam as an element of structures. The main reason for this in the analytical study of dynamic processes were the shortcomings of the mathematical apparatus for solving the corresponding nonlinear differential equations that describe the laws of motion of those systems.

It was found that in the case of longitudinal oscillations in the moving beam with an increase in the longitudinal speed of the medium to 10 m/s, the amplitude of the oscillation also increases by 13.5 %. However, when the longitudinal velocity of the beam is 5 m/s, the amplitude will increase by only 3 %. It is established that with the growth of the amplitude, the frequency of longitudinal oscillations decreases sharply, and if the system moves at a higher speed, for example, 20 m/s, it reduces the frequency of oscillation by about 13 %.

The results reported here make it possible to assess the effect of kinetic and physical-mechanical parameters on the frequency and amplitude of oscillations. The research that involved the asymptotic method makes it possible to predict resonant phenomena and obtain engineering solutions to improve the efficiency of technological equipment.

**Keywords:** nonlinear oscillations, asymptotic method, elastic beam, longitudinal oscillations, torsional oscillations.

#### References

1. Andrukhiv, A., Sokil, B., Sokil, M. (2018). Resonant phenomena of elastic bodies that perform bending and torsion vibrations. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 4 (1), 65–73. doi: <https://doi.org/10.23939/ujmms2018.01.065>
2. Humbert, S. C., Gensini, F., Andreini, A., Pascherit, C. O., Orchini, A. (2021). Nonlinear analysis of self-sustained oscillations in an annular combustor model with electroacoustic feedback. *Proceedings of the Combustion Institute*, 38 (4), 6085–6093. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.154>
3. Haris, A., Alevras, P., Mohammadpour, M., Theodossiadis, S., O'Mahony, M. (2020). Design and validation of a nonlinear vibration absorber to attenuate torsional oscillations of propulsion systems. *Nonlinear Dynamics*, 100 (1), 33–49. doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-020-05502-z>
4. Pipin, V. V., Kosovichev, A. G. (2020). Torsional Oscillations in Dynamo Models with Fluctuations and Potential for Helioseismic Predictions of the Solar Cycles. *The Astrophysical Journal*, 900 (1), 26. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aba4ad>
5. Barbosa, J. M. de O., Fărăgău, A. B., van Dalen, K. N., Steenbergen, M. J. M. (2022). Modelling ballast via a non-linear lattice to assess its compaction behaviour at railway transition zones. *Journal of Sound and Vibration*, 530, 116942. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.116942>

6. Hatami, M., Ganji, D. D., Sheikholeslami, M. (2017). Differential Transformation Method for Mechanical Engineering Problems. Academic Press. Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128051900/differential-transformation-method-for-mechanical-engineering-problems>
7. Lavrenyuk, S. P., Pukach, P. Y. (2007). Mixed problem for a nonlinear hyperbolic equation in a domain unbounded with respect to space variables. *Ukrainian Mathematical Journal*, 59 (11), 1708–1718. doi: <https://doi.org/10.1007/s11253-008-0020-0>
8. Chen, G., Deng, F., Yang, Y. (2021). Practical finite-time stability of switched nonlinear time-varying systems based on initial state-dependent dwell time methods. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 41, 101031. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nahs.2021.101031>
9. Bayat, M., Pakar, I., Domairry, G. (2012). Recent developments of some asymptotic methods and their applications for nonlinear vibration equations in engineering problems: A review. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 9 (2), 1–93. doi: <https://doi.org/10.1590/s1679-78252012000200003>
10. Sokil, B. I., Pukach, P. Y., Sokil, M. B., Vovk, M. I. (2020). Advanced asymptotic approaches and perturbation theory methods in the study of the mathematical model of single-frequency oscillations of a nonlinear elastic body. *Mathematical Modeling and Computing*, 7 (2), 269–277. doi: <https://doi.org/10.23939/mmc2020.02.269>
11. Andrukhiv, A., Sokil, B., Sokil, M. (2018). Asymptotic method in investigation of complex nonlinear oscillations of elastic bodies. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science*, 4 (2), 58–67. doi: <https://doi.org/10.23939/ujmms2018.02.058>
12. Andrukhiv, A., Sokil, M., Fedushko, S., Syerov, Y., Kalambet, Y., Peracek, T. (2020). Methodology for Increasing the Efficiency of Dynamic Process Calculations in Elastic Elements of Complex Engineering Constructions. *Electronics*, 10 (1), 40. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10010040>
13. Le van, A. (2017). *Nonlinear Theory of Elastic Plates*. ISTE Press – Elsevier. Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9781785482274/nonlinear-theory-of-elastic-plates>
14. Hashiguchi, K. (2020). *Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Elasticity-Plasticity*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2018-0-05398-0>
15. Jauregui, J. C. (2015). *Parameter Identification and Monitoring of Mechanical Systems Under Nonlinear Vibration*. Woodhead Publishing. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-16479-3>
16. Kazhaev, V. V., Semerikova, N. P. (2019). Self-modulation of quasi-harmonic bending waves in rods. *Bulletin of Science and Technical Development*, 13–19. doi: <https://doi.org/10.18411/vntr2019-142-2>
17. Babenko, A. Ye., Boronko, O. O., Lavrenko, Ya. I., Trubachev, S. I. (2020). *Kolyvannia nekonservatyvnykh mekhanichnykh system*. Kyiv: Nats. tekhn. un-t Ukrainy «KPI imeni Ithoria Sikorskoho», 153. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38187?locale=uk>
18. Sokil, B. I., Khytriak, O. I. (2009). Vibrations of drive systems flexible elements and methods of determining their optimal nonlinear characteristics based on the laws of motion. *Military Technical Collection*, 2, 9–12. doi: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.2.2009.9-12>
19. Chen, L.-Q. (2005). Analysis and Control of Transverse Vibrations of Axially Moving Strings. *Applied Mechanics Reviews*, 58 (2), 91–116. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1849169>
20. Marynowski, K., Kapitaniak, T. (2014). Dynamics of axially moving continua. *International Journal of Mechanical Sciences*, 81, 26–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2014.01.017>
21. Nazarov, V. E., Kiyashko, S. B. (2020). Stationary and Self-Similar Waves in a Rod with Bimodular Nonlinearity, Dissipation, and Dispersion. *Technical Physics*, 65 (1), 7–13. doi: <https://doi.org/10.1134/s106378422001020x>
22. Pukach, P., Beregova, H., Slipchuk, A., Pukach, Y., Hlynskyi, Y. (2020). Asymptotic Approaches to Study the Mathematical Mo-

dels of Nonlinear Oscillations of Movable 1D Bodies. 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). doi: <https://doi.org/10.1109/csit49958.2020.9321908>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259454

## BUILDING A MATHEMATICAL MODEL OF THE DESTRUCTION OF A CONNECTING ROD-PISTON GROUP IN THE CAR ENGINE AT HYDRAULIC LOCK (p. 40–49)

Alexander Khrulev

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6841-9225>

Oleksii Saraiev

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-560X>

This paper investigates the process of destruction of parts of the connecting rod-piston group of the engine due to hydraulic lock after the ingress of liquid into the cylinders of the engine. Comparing expert data on actual engine destruction due to hydrolock with existing estimation models has made it possible to identify a number of significant contradictions affecting the objectivity and accuracy of the destruction assessment.

To resolve the existing contradictions, a mathematical model for reconstructing the destruction of the connecting rod-piston group of the engine during a hydraulic lock has been improved. Unlike the existing ones, the model makes it possible to take into consideration not only the static deformation of the connecting rod but also to give a comprehensive assessment of the deformations of the connecting rod, piston pin, and piston at different volumes of hydrolock fluid.

Underlying the model is the hypothesis assuming that the deformation of the piston pin under excessive load caused by hydraulic lock leads to the emergence of tension and an increase in the friction in the mated pin-piston. The calculation from the condition of differential change in the amount of friction in the mated pin-piston produced a satisfactory result that does not contradict the practical data and has confirmed the working hypothesis.

By calculation, the onset of the destruction of engine parts during hydrolock at a pressure in the cylinder close to 17.3 MPa, at a crankshaft angle of about 346°, was revealed. In addition, it was found that in the case of violating the operating conditions, due to friction, the mated pin-piston is exposed to the lateral force on the skirt that reaches 17.2 MPa, which exceeds the permissible one, calculated according to known procedures, by 2.8 times.

The results reported here are confirmed by known practical data, which makes the devised model applicable to the practice of expert studies into the causes of engine malfunctions when violating the operating conditions of a car.

**Keywords:** violation of operating conditions, hydrolock in the cylinder, connecting rod-piston group, deformation of parts.

### References

1. Greuter, E., Zima, S. (2012). Engine Failure Analysis. *SAE International*, 582. doi: <https://doi.org/10.4271/0768008859>
2. Khrulev, A. E., Drozdovskiy, V. B., Losavio, S. K. (2019). *Ekspertiza tekhnicheskogo sostoyaniya i prichiny neispravnostey avtomobil'noy tekhniki*. Moscow: Izdatel'stvo ABS, 966.
3. Khrulev, A., Dmitriev, S. (2020). The calculating model of air compression process with liquid in the internal combustion engine cylinder. *The National Transport University Bulletin*, 1 (46), 416–426. doi: <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2020-1-46-416-426>

4. CHaynov, N. D., Krasnokutskiy, A. N., Myagkov, L. L. (2018). Konstruirovaniye i raschet porshnevnykh dvigateley. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman, 536.
5. Van Basshuysen, R., Schafer, F. (2004). Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems, and Perspectives. SAE International, 868.
6. Cylinder components: Properties, applications, materials (2010). Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, 130. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9697-1>
7. Pistons and engine testing (2012). Vieweg+Teubner, 284. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8662-0>
8. Piston damage - recognising and rectifying (2014). Service Tips and Infos. Kolbenschmidt.
9. Engine Components and Filters: Damage Profiles, Probable Causes and Prevention. Technical Information (2016). Mahle, 76.
10. Raquibul Hasan, M. (2017). Failure Investigation Report on Different Components of an Automotive Engine. International Journal of Mechanical Engineering and Applications, 5 (1), 47. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijmea.20170501.16>
11. Singhai, T., Mishra, A., Saxena, R., Chhalotre, T. (2014). Analysis and Performance of Automobile Engine Components Considering Thermal and Structural Effects. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3 (1), 8661–8666. Available at: [https://www.academia.edu/69131216/Analysis\\_and\\_Performance\\_of\\_AutomobileEngine\\_Components\\_Considering\\_Thermal\\_andStructural\\_Effects](https://www.academia.edu/69131216/Analysis_and_Performance_of_AutomobileEngine_Components_Considering_Thermal_andStructural_Effects)
12. Dmitriev, S. A., Khrulev, A. E. (2020). Study of the conrod deformation during piston interaction with liquid in the internal combustion engine cylinder. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 14 (2), 6557–6569. doi: <https://doi.org/10.15282/jmes.14.2.2020.03.0515>
13. Free Student Software Downloads. ANSYS, Inc. Available at: <https://www.ansys.com/academic/students>
14. Khrulev, A. E. (1999). Remont dvigateley zarubezhnykh avtomobiley. Moscow: Izdatel'stvo «Za Rulem», 440.
15. Lotus Engineering Software (LESOFT). Group Lotus PLC.
16. Khrulev, A. E. (2020). Simulation of the connecting rod damage when fluid enters the engine cylinder. Vehicle and Electronics. Innovative Technologies, 17, 5–18. doi: <https://doi.org/10.30977/veit.2226-9266.2020.17.05>
17. Khrulev, A., Samokhin, S. (2011). Gidroudar zamedlennogo deystviya. Avtomobil' i servis, 1, 36–39. Available at: <https://ab-engine.com/smi/01-2011hydro.pdf>
18. Strozzi, A., Baldini, A., Giacomini, M., Bertocchi, E., Mantovani, S. (2016). A repertoire of failures in connecting rods for internal combustion engines, and indications on traditional and advanced design methods. Engineering Failure Analysis, 60, 20–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.11.034>
19. Dolatabadi, N., Theodossiadis, S., Rothberg, S. J. (2015). On the identification of piston slap events in internal combustion engines using tribodynamic analysis. Mechanical Systems and Signal Processing, 58-59, 308–324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.11.012>
20. Littlefair, B., Cruz, M. D. L., Mills, R., Theodossiadis, S., Rahnejat, H., Dwyer-Joyce, R., Howell-Smith, S. (2013). Lubrication of a flexible piston skirt conjunction subjected to thermo-elastic deformation: A combined numerical and experimental investigation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 228 (1), 69–81. doi: <https://doi.org/10.1177/1350650113499555>
21. Viet Nguyen, D., Nguyen Duy, V. (2018). Numerical Analysis of the Forces on the Components of a Direct Diesel Engine. Applied Sciences, 8 (5), 761. doi: <https://doi.org/10.3390/app8050761>
22. Kokorev, Yu. A., Zvyagin, F. V. (2018). Sposoby rascheta tochnostnykh kharakteristik detaley i uzlov priborov. Moscow: Izdatel'stvo MPU im. N. E. Bauman, 211.
23. Krylov, N. A., Skotnikova, M. A. (2010). Poluchenie sravnitel'nykh tribotekhnicheskikh kharakteristik na bronzovykh i siluminovykh splavakh. Promezhutochnyy otchet o NIR, tema 33/2009. Sankt-Peterburg, 37. Available at: [http://www.itm.by/antifriction/itm/09\\_Report\\_Saint-Petersburg.pdf](http://www.itm.by/antifriction/itm/09_Report_Saint-Petersburg.pdf)
24. Pan, Z., Guo, L. (2019). Failure Analysis of the Pin Bore of the Combined Piston for the Aero Engine. International Journal of Aerospace Engineering, 2019, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/7693403>
25. Perin, A. P., Andreev, A. G. (2007). Raschet posadok s natyagom pri oval'nosti i ekscentrisitete soedinyaemykh detaley na osnove PK ANSYS. Visnyk NTU «KhPI». Seriya «Dynamika ta mitsnist mashyn», 38, 117–123.
26. Saraiev, O., Khrulev, A. (2021). Devising a model of the airflow with dust particles in the intake system of a vehicle's internal combustion engine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (110)), 61–69. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230113>

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259439

**DETERMINING THE STRAINED STATE OF PREFABRICATED METAL CORRUGATED STRUCTURES OF A TUNNEL OVERPASS EXPOSED TO THE DYNAMIC LOADING FROM RAILROAD ROLLING STOCK (p. 50–58)**

**Vitalii Kovalchuk**

Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine

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

**Maksym Koval**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1244-1738>

**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>

**Olena Bal**

Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2188-4098>

**Ruslan Markul**

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7630-8963>

**Svitlana Vikhot**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1063-2103>

**Oleksiy Petrenko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8870-8534>

**Roman Rybak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0745-6620>

**Andriy Milyanych**

Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technology, Lviv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3583-792X>

This paper reports the analysis of prospects for the use of prefabricated metal corrugated structures in the body of the embankment of a railroad track in the form of a tunnel overpass in order to pass road vehicles and railroad rolling stock.

A technique of inertial dynamic tests of the deformed state of a tunnel overpass from prefabricated metal corrugated structures during the passage of railroad rolling stock is given, by measuring accelerations at the top and on the sides of overpass structures.

An algorithm is proposed for processing the acceleration signal for assessing the strained state of metal corrugated structures of a tunnel overpass under the action of dynamic load from railroad transport.

Experimental dynamic measurements of accelerations arising at the top and on the sides of a tunnel overpass during the passage of passenger and freight railroad rolling stock were carried out. The maximum value of accelerations arising at the top of a tunnel overpass during the passage of a freight train was  $7.99 \text{ m/s}^2$ , and when passing a passenger train –  $6.21 \text{ m/s}^2$ ; the maximum accelerations that occur on the sides were  $2.63 \text{ m/s}^2$  and  $1.77 \text{ m/s}^2$ .

It is established that the maximum deformations of metal corrugated structures of the top of a tunnel overpass, when passing freight and passenger trains are, respectively, 1.63 mm and 1.11 mm. The maximum strains of metal corrugated structures on the sides of an overpass are 1.07 mm and 0.48 mm.

The value of relative deformations in the vertical and horizontal dimensions of the structures of a tunnel overpass under the action of dynamic loads from the railroad rolling stock has been found. The relative vertical strains of an overpass amounted to 0.020 %; horizontal – 0.012 %.

The practical significance of this work is that with the help of the devised procedure for measuring accelerations, it is possible to assess the strained state of metal corrugated structures under the influence of dynamic loads from the railroad rolling stock.

**Keywords:** tunnel overpass, prefabricated metal corrugated structures, railroad track, acceleration of metal structures, vertical and horizontal strains of structures.

## References

- Kovalchuk, V., Markul, R., Bal, O., Milyanych, A., Pentsak, A., Parneta, B., Gajda, A. (2017). The study of strength of corrugated metal structures of railroad tracks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (86)), 18–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96549>
- 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/rabdim.019.006>
- Beben, D. (2013). Evaluation of backfill corrosivity around steel road culverts. *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*, 12 (3), 255–268. doi: <https://doi.org/10.7409/rabdim.013.018>
- 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>
- Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016L0797>
- VBN V.2.3-218-198:2007. Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruktsiy na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia (2007). Kyiv. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=24463](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=24463)
- 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>
- Kovalchuk, V., Luchko, J., Bondarenko, I., Markul, R., Parneta, B. (2016). Research and analysis of the stressed-strained state of metal corrugated structures of railroad tracks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (84)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.84236>
- 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>
- Esmaili, M., Zakeri, J. A., Abdulrazagh, P. H. (2013). Minimum depth of soil cover above long-span soil-steel railway bridges. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 5 (1), 7. doi: <https://doi.org/10.1186/2008-6695-5-7>
- 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)
- Kovalchuk, V., Kuzyshyn, A., Kostriysya, S., Sobolevska, Y., Batig, A., Dovganyuk, S. (2018). Improving a methodology of theoretical determination of the frame and directing forces in modern diesel trains. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 19–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149838>
- Nabochenko, O., Sysyn, M., Kovalchuk, V., Kovalchuk, Y., Pentsak, A., Braichenko, S. (2019). Studying the railroad track geometry deterioration as a result of an uneven subsidence of the ballast layer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (97)), 50–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154864>
- 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>
- Kovalchuk, V., Sobolevska, Y., Onyshchenko, A., Bal, O., Kravets, I., Pentsak, A. et al. (2022). Investigating the influence of the diameter of a fiberglass pipe on the deformed state of railroad transportation structure «embankment-pipe». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (116)), 35–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254573>
- 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>
- Stankevych, V. Z., Butrak, I. O., Kovalchuk, V. V. (2018). Cracks Interaction in the Elastic Composite under Action of the Harmonic Loading Field. 2018 XXIIIrd International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED). doi: <https://doi.org/10.1109/diped.2018.8543323>
- Gerber, U., Zoll, A., Fengler, W. (2015). Verschleiß und Fahrflächenermüdung an Weichen mit starrer Herzstückspitze. *Eisenbahntechnische Rundschau*, 1, 36–41.
- Zoll, A., Gerber, U., Fengler, W. (2016). The measuring system ESAH-M. *Eisenbahningenieur Kalender*, 49–62.
- Scholz, S., Lommock, R. (2018). Models for Onboard Train Diagnostics Data to Improve Condition-Based Maintenance. *Automated People Movers and Automated Transit Systems 2018*. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784481318.010>
- Sysyn, M., Gerber, U., Nabochenko, O., Li, Y., Kovalchuk, V. (2019). Indicators for common crossing structural health monitoring with track-side inertial measurements. *Acta Polytechnica*, 59 (2), 170–181. doi: <https://doi.org/10.14311/ap.2019.59.0170>
- Sysyn, M., Nabochenko, O., Kluge, F., Kovalchuk, V., Pentsak, A. (2019). Common Crossing Structural Health Analysis with Track-



- Side Monitoring. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 21 (3), 77–84. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.3.77-84>
23. Izvolt, L., Sestakova, J., Smalo, M. (2016). Analysis of Results of Monitoring and Prediction of Quality Development of Ballasted and Ballastless Track Superstructure and its Transition Areas. Communications – Scientific Letters of the University of Zilina, 18 (4), 19–29. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2016.4.19-29>
  24. Sysyn, M., Gruen, D., Gerber, U., Nabochenko, O., Kovalchuk, V. (2019). Turnout Monitoring with Vehicle Based Inertial Measurements of Operational Trains: A Machine Learning Approach. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 21 (1), 42–48. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.1.42-48>
  25. Sysyn, M., Przybylowicz, M., Nabochenko, O., Liu, J. (2021). Mechanism of Sleeper–Ballast Dynamic Impact and Residual Settlements Accumulation in Zones with Unsupported Sleepers. Sustainability, 13 (14), 7740. doi: <https://doi.org/10.3390/su13147740>
  26. Jamshidi, A., Hajizadeh, S., Su, Z., Naeimi, M., Núñez, A., Dollevoet, R. et. al. (2018). A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 95, 185–206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.007>
  27. Sysyn, M., Gerber, U., Nabochenko, O., Kovalchuk, V. (2019). Common crossing fault prediction with track based inertial measurements: statistical vs. mechanical approach. Pollack Periodica, 14 (2), 15–26. doi: <https://doi.org/10.1556/606.2019.14.2.2>
  28. Ben Ali, J., Saidi, L., Harrath, S., Bechhoefer, E., Benbouzid, M. (2018). Online automatic diagnosis of wind turbine bearings progressive degradations under real experimental conditions based on unsupervised machine learning. Applied Acoustics, 132, 167–181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.11.021>
  29. Domin, R., Mostovych, A., Kolomiets, A. (2014). Improving the means of experimental determination of dynamic loading of the rolling stock. TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture, 14 (1), 37–49. Available at: <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-d7fbd1b2-71d4-4101-b564-8f2ec1d12342>
  30. Attoh-Okine, N. O. (2017). Big Data and Differential Privacy: Analysis Strategies for Railway Track Engineering. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119229070>
  31. Liu, X., Markiene, V., Shevtsov, I., Dollevoet, R. (2015). Experimental study of key parameters in turnout crossing degradation process. 10th International Conference on Contact Mechanics. Colorado. Available at: <https://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:tudelft.nl:uuid%3A6faf146e-fc15-4d00-a287-bba31442d9ca>
  32. Martey, E. N., Ahmed, L., Attoh-Okine, N. (2017). Track geometry big data analysis: A machine learning approach. 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). doi: <https://doi.org/10.1109/bigdata.2017.8258381>
  33. Liu, J., Liu, Z., Wang, P., Kou, L., Sysyn, M. (2022). Dynamic characteristics of the railway ballast bed under water-rich and low-temperature environments. Engineering Structures, 252, 113605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113605>
  34. Si, X., Zhang, Z., Hu, C. (2017). Data-Driven Remaining Useful Life Prognosis Techniques: Stochastic Models, Methods and Applications. Springer, 430. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54030-5>
  35. Gebrael, N. Z., Lawley, M. A., Li, R., Ryan, J. K. (2005). Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach. IIE Transactions, 37 (6), 543–557. doi: <https://doi.org/10.1080/07408170590929018>
  36. Ma, Y., Mashal, A. A., Markine, V. L. (2018). Modelling and experimental validation of dynamic impact in 1:9 railway crossing panel. Tribology International, 118, 208–226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.09.036>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260035

## ENSURING THE SEISMIC RESISTANCE OF A BUILDING USING A GEOTECHNICAL SEISMIC INSULATING SCREEN (p. 59–67)

Yerik Bessimbayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0869-3513>

Zauresh Zhambakina

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3089-563X>

Sayat Niyetbay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9748-6830>

This paper considers the issue related to the protection of buildings and structures against seismic influences and the prevention, exclusion, or reduction of seismic hazards. The catastrophic destruction of modern «earthquake-resistant» buildings in Turkey and Taiwan has shown that existing methods of strengthening and reinforcing structures are not perfect and require further study. Analysis of existing approaches to ensuring seismic resistance showed that seismic insulation and seismic suppression systems still do not have a scientific and technical justification for the effectiveness of their operation from the point of view of ensuring the stability of structures. The estimation-dynamic models of the «base-seismic insulation-structure» system developed to date do not always make it possible to simulate the joint work of their interaction during an earthquake and account for the transformation of the seismic impact on the structure. An alternative technique has been devised, a geotechnical seismic insulation screen, as a seismic insulation system that reduces the intensity of seismic loads on the structure and ensures its seismic resistance. In a specific example, the effectiveness of this seismic insulation system is confirmed. This seismic insulation technique in the form of damper screens is characterized by reliability and manufacturability in ensuring the seismic resistance of objects under construction.

The results of computational and experimental modeling of the interaction of an earthquake-insulated structure with a ground base found that the values of axial forces and bending moments in a building with a seismic insulating screen are less than in a building without seismic insulation by 30–40 %.

The geotechnical seismic insulation screen makes it possible to advance the development of new seismic insulation techniques and determine their effectiveness. This technique will also be effective when strengthening the base and seismic insulation systems of historical monuments, protecting them against seismic and dynamic influences.

**Keywords:** seismic impacts, ground movement, seismic protection and seismic insulation, geotechnical damper of horizontal stresses, geotechnical seismic insulating screen.

### References

1. Zhunusov, T. Zh. (1990). Osnovy seysmostoykosti sooruzheniy. Alma-Ata, 270.
2. Cherepinskiy, Yu. D. (2003). Seysmoizolyatsiya zhilykh zdaniy. Alma-Ata, 157.
3. Dzhinchvelashvili, G. A., Kolesnikov, A. V., Zaalishvili, V. B., Godustov, I. S. (2009). Perspektivy razvitiya sistem seysmoizolyatsii sovremennykh zdaniy i sooruzheniy. Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy, 6, 27–31.
4. Abakarov, A. J., Omarov, K. M. (2017). Seismic response of frame buildings with combined earthquake protection system. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences, 44 (1), 116–126. doi: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126>

5. Nazarov, Y. P., Poznyak, E. V. (2016). Estimate of Rotational Components of Seismic Ground Motion. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 52 (6), 355–360. doi: <https://doi.org/10.1007/s11204-016-9353-0>
6. Poznyak, E. V. (2018). About boundary conditions in earthquake engineering analyses for differential seismic ground motion. *Stroitel Stvo Nauka i Obrazovanie [Construction Science and Education]*, 8 (3). doi: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2018.3.1>
7. Chang, Y., Tsai, C., Ge, L., Park, D. (2021). Influence of horizontally variable soil properties on nonlinear seismic site response and ground motion coherency. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51 (3), 704–722. doi: <https://doi.org/10.1002/eqe.3587>
8. Abovskiy, P. N. (2009). *Konstruktivnaya seysmbezopasnost' zdaniy i sooruzheniy v slozhnykh gruntovykh usloviyakh*. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'niy un-t, 186.
9. Krantsfel'd, Y. L. (2012). Prospects for earthquake-protective shielding of soil beds of buildings and structures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 49 (1), 30–35. doi: <https://doi.org/10.1007/s11204-012-9163-y>
10. Kuznetsov, S. V., Nafasov, A. E. (2010). Horizontal seismic barriers for protection from seismic waves. *Vestnik MGSU*, 4, 131–134. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorizontalnye-seysmicheskie-bariery-dlya-zaschity-ot-seysmicheskikh-voln-1>
11. Dudchenko, A., Dias, D., Kuznetsov, S. (2021). Pile Rows for Protection from Surface Waves. *Proceedings of FORM 2021*, 433–445. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79983-0\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79983-0_40)
12. Morozov, N. F., Bratov, V. A., Kuznetsov, S. V. (2021). Seismic barriers for protection against surface and headwaves: multiple scatters and metamaterials. *Mechanics of Solids*, 56 (6), 911–921. doi: <https://doi.org/10.3103/s0025654421060133>
13. Orekhov, V. V., Negahdar, H. (2013). Efficiency of Trench Barriers Used to Protect Structures from Dynamic Loads and Study of the Stress – Strain State of Soils Based on Strain Hardening and Elastic Models. *Vestnik MGSU*, 3, 105–113. doi: <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2013.3.105-113>
14. Rusinov, A. V. (1990). Pat. No. RU2006553C1. Ekran dlya zaschity zdaniy, sooruzheniy ot seysmicheskikh vozdeystviy. declared: 29.06.1990; published: 30.01.1994. Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2006553C1>
15. Shishkov, Yu. A., Reznikov, A. A., Borisov, V. D., Tynkevich, G. G., German, V. N., Bol'shakov, V. I. (1989). Pat. No. SU1629416A1. Ekran dlya zaschity zdaniy i sooruzheniy ot seysmicheskikh vozdeystviy. declared: 20.03.1989; published: 23.02.1991. Available at: <https://patenton.ru/patent/SU1629416A1>
16. Belash, T., Begaliev, U., Orunbaev, S., Abdybaliev, M. (2019). On the Efficiency of Use of Seismic Isolation in Antiseismic Construction. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 3 (4), 66. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ajese.20190304.11>
17. Mkrtychev, O. V., Dzinchvelashvili, G. A., Bunov, A. A. (2014). Study of Lead Rubber Bearings Operation with Varying Height Buildings at Earthquake. *Procedia Engineering*, 91, 48–53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.010>
18. SN RK EN 1998-1:2004/2012. Proektirovanie seysmostoykikh konstruksiy chast' 1. Obschie pravila, seysmicheskie vozdeystviya i pravila dlya zdaniy.
19. Zhambakina, Z. M., Kvatbayeva, T. K., Kozyukova, N. V., Akishev, U. K. (2021). Stress-Deformed State of Soils under Compressional Contraction Conditions. *Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future*, 169–174. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75182-1\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75182-1_23)
20. Mkrtychev, O. V., Busalova, M. S. (2016). Research of Influence of Soil Strength Failure on the Initial Seismic Action Transformation. *Procedia Engineering*, 153, 467–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.160>
21. Mkrtychev, O., Mingazova, S. (2020). Analysis of the reaction of reinforced concrete buildings with a varying number of stories with a seismic isolation sliding belt to an earthquake. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 869 (5), 052065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/869/5/052065>
22. Al'bert, I. U. (2008). Chislennaya otsenka veroyatnosti otказа sistemy «sooruzhenie seysmoizoliruyuschiy fundament – osnovanie» pri seysmicheskikh vozdeystviyakh. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 1 (14), 17–24.
23. Mkrtychev, O. V., Dzinchvelashvili, G. A., Busalova, M. S. (2014). Calculation Accelerogram Parameters for a «Construction-basis» Model, Nonlinear Properties of the Soil Taken Into Account. *Procedia Engineering*, 91, 54–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.011>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259567

**SELECTION AND RESEARCH OF STABILITY OF THE STEADY STATE MOTIONS OF A SINGLE-MASS RESONANCE VIBROMATING MACHINE WORKING ON THE SOMERFELD EFFECT (p. 68–76)**

**Gennadiy Filimonikhin**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2819-0569>

**Volodymyr Yatsun**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4973-3080>

**Anatolii Matsui**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5544-0175>

**Vasyl Kondratets**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1411-168X>

**Vladimir Pirogov**

Central Ukrainian National Technical University,  
Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5843-4552>

This paper has defined and investigated for stability the steady state modes of motion of a single-mass resonant vibratory machine. The vibratory machine has a platform that is supported by viscoelastic supports. The platform moves rectilinearly translationally. A vibration exciter is installed on the platform. The vibration exciter consists of  $N$  identical loads – balls, rollers, or pendulums. The center of mass of each load can move in a circle of a certain radius with a center on the longitudinal axis of the rotor. Each load, when moving relative to the body of the vibration exciter, is exposed to a viscous resistance force.

It was established theoretically that with small forces of viscous resistance and any number of loads, the vibratory machine has jamming modes under which the loads that are collected form a conditional combined load and lag behind the rotor. In this case, there are two bifurcation speeds of the rotor. At speeds less than the first bifurcation speed, the vibratory machine has one single (first) jamming mode. When the first bifurcation speed is exceeded, the second and third jamming modes appear. When the second bifurcation speed is exceeded, the first and second jamming modes disappear. The first jamming mode is resonant.

In the cases of two or more loads, the vibratory machine also has an auto balancing mode (no vibrations), under which the loads rotate synchronously with the body of the vibration exciter and mutually balance each other.

With small forces of viscous resistance, the computational experiment found that odd jamming modes are stable if they are numbered in ascending order of the frequency of load jamming. An auto-balancing mode is stable at the rotor speeds above the resonance. For the onset of a resonant mode of motion of the vibratory machine, it is enough to slowly accelerate the rotor to a speed lower than the second bifurcation speed.

The results reported here are applicable in the design of resonant single-mass vibratory machines with inertial vibration exciters of the ball, roller, or pendulum type.

**Keywords:** inertial vibration exciter, resonant vibratory machine, steady movement, Sommerfeld effect, auto balancing, stability of motion.

## References

1. Kryukov, B. I. (1967). *Dinamika vibratsionnykh mashin rezonansnogo tipa*. Kyiv: Naukova dumka, 210.
2. Sommerfeld, A. (1904). Beitrage zum dynamischen Ausbaw der Festigkeislehre. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 48 (18), 631–636.
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. Artyunin, A. I., Eliseyev, S. V. (2013). Effect of «Crawling» and Peculiarities of Motion of a Rotor with Pendular Self-Balancers. *Applied Mechanics and Materials*, 373-375, 38–42. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.373-375.38>
6. Lanets, O. V., Shpak, Ya. V., Lozynskiy, V. I., Leonovych, P. Yu. (2013). Realizatsiya efektu Zommerfelda u vibratsynomu maidanchyku z inertsiynom pryvodom. *Avtomatyzatsiya vyrobnychykh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, 47, 12–28. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Avtomatyzac\\_2013\\_47\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Avtomatyzac_2013_47_4)
7. Kuzo, I. V., Lanets, O. V., Gurskiy, V. M. (2013). Synthesis of low-frequency resonance vibratory machines with an aeroinertia drive. *Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 2, 60–67. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu\\_2013\\_2\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2013_2_11)
8. Filimonikhin, G., Yatsun, V. (2015). Method of excitation of dual frequency vibrations by passive autobalancers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (7 (76)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47116>
9. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Dumenko, K., Nevdakha, A. (2017). Search for two-frequency motion modes of single-mass vibratory machine with vibration exciter in the form of passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117683>
10. Yatsun, V., Filimonikhin, G., Haleeva, A., Nevdakha, A. (2018). On stability of the dual-frequency motion modes of a single-mass vibratory machine with a vibration exciter in the form of a passive auto-balancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (92)), 59–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128265>
11. 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>
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. Drozdetskaya, O., Fidlin, 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>
14. Nayfeh, A. H. (1993). *Introduction to Perturbation Techniques*. John Wiley and Sons Ltd., 536. Available at: <http://modernmath.ir/wp-content/uploads/2018/11/Ali-H.-Nayfeh-Introduction-to-perturbation-techniques-1993-Wiley-VCH.pdf>
15. Ruelle, D. (1989). *Elements of Differentiable Dynamics and Bifurcation Theory*. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2013-0-11426-2>
16. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258201

**ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ВАГОНА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ (с. 6–13)**

О. В. Фомін, А. О. Ловська, А. С. Литвиненко, С. С. Сова

Проведено обґрунтування модернізації та впровадження в експлуатацію вагона для високотемпературних, наливних/насіпних вантажів з метою підвищення ефективності експлуатації залізничних перевезень. Особливістю вагона є наявність котла відкритого типу, який виготовлений з термостійкого матеріалу. Для недопущення розплескування перевозимого вантажу є можливим використання зйомної кришки, яка кріпиться до верхньої частини котла.

Здійснено розрахунок на міцність котла вагона при основних експлуатаційних режимах. До уваги прийнято вертикальну навантаженість котла з урахуванням перевезення наливного вантажу; повздовжню, а також дію температурного навантаження. Розрахунок на міцність реалізовано за методом скінчених елементів. При цьому враховано, що котел виготовлений з композитного термостійкого матеріалу. Результати розрахунків показали, що при розглянутих режимах навантаження міцність котла забезпечується.

Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості котла при маневровому співударянні вагона. Розрахунок здійснений в плоскій системі координат. Розв'язок математичної моделі динамічної навантаженості вагона встановив, що максимальне прискорення, яке діє на котел складає  $36,5 \text{ м/с}^2$ .

Проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості котла. Визначено поля дислокації та чисельні значення прискорень, які діють на нього. Максимальне прискорення при цьому зосереджене в днище котла і складає  $37,4 \text{ м/с}^2$ .

Для верифікації моделі динамічної навантаженості проведено розрахунок за F-критерієм. Встановлено, що гіпотеза про адекватність моделі підтверджується.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту та створенню напрацювань щодо проектування багатофункціональних конструкцій вагонів.

**Ключові слова:** транспортна механіка, залізничний вагон, несуча конструкція, композитний матеріал, навантаженість конструкції.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.258118

**ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВЕРТИКАЛЬНОГО МОНТАЖНОГО СТИКУ СТІНКИ ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ З УРАХУВАННЯМ НЕДОСКОНАЛОСТІ (с. 14–21)**

Ulanbator Suleimenov, Nurlan Zhangabay, Khassen Abshenov, Akmaral Utelbayeva, Kuanysh Imanaliyev, Saule Mussayeva, Arman Moldagaliyev, Myrzabek Yermakhanov, Gulnura Raikhanova

На основі використання багаторівневої математичної моделі оцінено напружено-деформований стан циліндричного резервуару в монтажному стикі та вивчено концентрацію напружень у зоні стикі.

Проведено верифікацію правильності обраної математичної моделі, і показано, що для інженерної оцінки напружено-деформованого стану стінки циліндричного резервуару зі змінною товщиною можна скористатися співвідношеннями для циліндричної оболонки з постійною товщиною стінки. Розкид значень становить трохи більше 1 %, що свідчить про правильність обраної математичної моделі.

Проведена чисельна оцінка напружено-деформованого стану в зоні монтажної стикі довела припущення про значні концентрації напруги в зоні та вказала на визначальний вплив на концентрацію напружень її геометричних розмірів.

Досліджено концентрацію напруг у зоні стикі стінки резервуару в середовищі ANSYS при різних розмірах. В результаті розрахунків напружено-деформованого стану резервуару для різних значень параметрів  $f/t$  і  $a/\sqrt{Rt}$  побудовані поліноми, що апроксимують коефіцієнт концентрації напруг  $K_\sigma$ .

В результаті розрахунків отримано інтерполяційний поліном та апроксимуючий коефіцієнт концентрації напруг, які можуть використовуватися для оцінки міцності, довговічності, залишкового ресурсу резервуару та для нормування граничних розмірів недосконалості стикі.

Наведено порівняльні результати розрахунків коефіцієнта концентрації напруг від геометричних розмірів недосконалості монтажної стикі в програмному комплексі ANSYS, а також із застосуванням інтерполяційного полінома.

Отримані результати можуть бути використані для оцінки міцності та залишкового ресурсу подібних конструкцій.

**Ключові слова:** сталевий резервуар, концентрація напруги, монтажний стик, параметри стикі, чисельний метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.256943

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНОГО ПРОТЕЗНОГО КІЛЯ НА ОСНОВІ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ: ОБЧИСЛОВАЛЬНИЙ АНАЛІЗ (с. 22–30)**

Kussay Ahmed Subhi, Emad Kamil Hussein, Haider Rahman Dawood Al-Hamadani, Hussein Kadhim Sharaf

У роботі було вивчено чисельне моделювання механічних характеристик композитної конструкції протезного кіля при статичному навантаженні та були включені результати даного дослідження. Протезний кіль виготовлений з композиту на основі епоксидної смоли та скловолокна, 3 % (БВНТ з SiC) та вуглецевої нанотрубки, які використовуються в поєднанні з іншими матеріалами для створення конструкції. Прикладена сила в цьому прикладі становить 1000 Н відповідно до раніше встановленої в даному випадку граничної умови. Для створення моделі протезного кіля використовувався програмний пакет моделювання ANSYS. Через повне зміщення основні результати моделювання моделі протезного кіля сходяться відповідно до повного зміщення, яке використовувалось в якості еталону для визначення повного зміщення. Основний результат поточного чисельного аналізу був успішно підтверджений

з урахуванням результатів попереднього експериментального дослідження. Механічні характеристики композитної конструкції протезного кіля визначаються чотирма основними критеріями, результати яких ґрунтуються на отриманих даних. Аналізовані аспекти включають еквівалентну пружну деформацію, тривісне спрямоване зміщення, повне зміщення та еквівалентне напруження (за Мізесом). Незважаючи на те, що повне зміщення становить всього 0,00058 мм при статичному навантаженні 1000 Н (найменше досягне значення), воно являє собою найбільше повне зміщення. Еквівалентне напруження (за Мізесом) відреагувало на навантаження з відгуком 0,045 МПа, що є досить низьким значенням. Крім того, була проведена еквівалентна пружна деформація, в результаті чого значення пружної деформації склало  $3,4 \cdot 10^{-7}$ .

**Ключові слова:** напруження за Мізесом, спрямоване зміщення, повне зміщення, еквівалентна пружна деформація, МКЕ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.257439

### РОЗВИНЕННЯ АСИМПТОТИЧНИХ ПІДХОДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПОЗДОВЖНИХ ТА КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ БАЛКИ, ЯКА РУХАЄТЬСЯ (с. 31–39)

А. М. Сліпчук, П. Я. Пукач, М. І. Вовк, О. З. Слюсарчук

Проведено аналіз впливу кінетичних та фізико-механічних параметрів систем на характеристики динамічних процесів рухомих одновимірних нелінійно-пружних систем. Отримано зручні удосконалені розрахункові формули, які описують закони зміни амплітудно-частотних характеристик систем як для нерезонансного випадку, так й резонансного. Важлива проблема вивчення впливу швидкості руху елементів механізмів на коливання одновимірних нелінійно-пружних систем у достатній мірі дотепер в науковій літературі не розглядалася. Вказана проблема стосується коливань валів у зубчастих передачах, колон труб при бурінні нафтових і газових свердловин, коливань турбінних лопаток і турбінних дисків, що обертаються, поздовжніх коливань балки, як елемента конструкції. Основною причиною цього при аналітичному дослідженні динамічних процесів були недоліки математичного апарату для розв'язування відповідних нелінійних диференціальних рівнянь, які описують закони руху вказаних систем.

Встановлено, що у випадку поздовжніх коливань рухомої балки при зростанні поздовжньої швидкості руху середовища до 10 м/с амплітуда коливання також зростає на 13,5 %. Однак, коли швидкість поздовжнього руху балки дорівнюватиме 5 м/с, то величина амплітуди зростає лише на 3 %. Встановлено, що при зростанні амплітуди різко зменшується частота поздовжніх коливань, а якщо ж система буде рухатись з більшою швидкістю, наприклад, 20 м/с, то вона зменшує частоту коливання приблизно на 13 %.

Отримані результати дозволяють оцінити вплив кінетичних та фізико-механічних параметрів на частоту та амплітуду коливань. Проведені дослідження за допомогою асимптотичного методу дозволяють прогнозувати резонансні явища та отримати інженерні рішення для підвищення ефективності функціонування технологічного обладнання.

**Ключові слова:** нелінійні коливання, асимптотичний метод, пружна балка, поздовжні коливання, крутильні коливання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259454

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУЙНУВАННЯ ШАТУННО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ ПРИ ГІДРАВЛІЧНОМУ УДАРІ (с. 40–49)

О. Е. Хрулев, О. В. Сараєв

Досліджується процес руйнування деталей шатунно-поршневої групи двигуна внаслідок гідравлічного удару після влучення рідини в циліндри двигуна. Порівняння експертних даних до реальних руйнувань двигуна внаслідок гідроудару з існуючими розрахунковими моделями дозволило авторам виявити ряд істотних протиріч, що впливають на об'єктивність і точність оцінки руйнувань.

Для дозволу існуючих протиріч авторами вдосконалена математична модель реконструкції руйнувань шатунно-поршневої групи двигуна при гідравлічному ударі. На відміну від існуючих, модель дозволяє врахувати не тільки статичну деформацію шатуна, але й дати комплексну оцінку деформацій шатуна, поршневого пальця та поршня при різних обсягах рідини гідроудару.

В основу моделі покладена гіпотеза, згідно з якою деформація поршневого пальця під надмірним навантаженням, що вызвано гідроударом, приводить до появи натягу та росту тертя в сполученні палець-поршень. Розрахунки з умови диференціальної зміни величини тертя в сполученні палець-поршень дав задовільний результат, що не суперечить практичним даним, і підтвердив робочу гіпотезу.

Розрахунковим шляхом виявлений початок руйнування деталей двигуна при гідроударі при тиску в циліндрі, близькому до 17,3 МПа, при куті повороту колінчатого вала близько 346°. Крім цього встановлено, що при порушенні умов експлуатації внаслідок тертя в сполученні палець-поршень бічна сила на спідницю поршня досягає 17,2 МПа, що перевищує припустиму, розраховану по відомих методиках, в 2,8 рази.

Отримані результати підтверджуються експертними практичними даними, що робить розроблену модель застосовною до практичної експертних досліджень причин несправностей двигунів при порушенні умов експлуатації автомобіля.

**Ключові слова:** порушення умов експлуатації, гідроудар у циліндрі, шатунно-поршнева група, деформація деталей.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259439

### ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗБІРНИХ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТУНЕЛЬНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ ПРИ ДІЇ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ (с. 50–58)

В. В. Ковальчук, М. П. Коваль, А. М. Онищенко, І. Б. Кравець, О. М. Баль, Р. В. Маркуль, С. І. Віхоть, О. В. Петренко, Р. Т. Рибак, А. Р. Мілянчик

Проведено аналіз перспектив застосування збірних металевих гофрованих конструкцій у тілі насипу залізничної колії у вигляді тунельного шляхопроводу з метою пропуску автомобільних транспортних засобів та рухомого складу залізниць.

Наведено спосіб інерційних динамічних випробувань деформованого стану тунельного шляхопроводу із збірних металевих гофрованих конструкцій при проїзді рухомого складу залізничного транспорту, шляхом вимірювання прискорень у вершині та на бокових сторонах конструкцій шляхопроводу.

Запропоновано алгоритм обробки сигналу прискорень для оцінки деформованого стану металевих гофрованих конструкцій тунельного шляхопроводу при дії динамічного навантаження від залізничного транспорту.

Проведено експериментальні динамічні вимірювання прискорень, що виникають у вершині та на бокових сторонах тунельного шляхопроводу при проїзді пасажирського та вантажного рухомого складу залізничного транспорту. Максимальна величина прискорень, що виникають у вершині тунельного шляхопроводу при проїзді вантажного поїзду склала  $7,99 \text{ м/с}^2$ , а при проїзді пасажирського поїзду –  $6,21 \text{ м/с}^2$ , а максимальні прискорення, які виникають на бокових сторонах становили  $2,63 \text{ м/с}^2$  та  $1,77 \text{ м/с}^2$ .

Встановлено, що максимальні деформації металевих гофрованих конструкцій вершини тунельного шляхопроводу, при проїзді вантажного та пасажирського поїздів становлять, відповідно,  $1,63 \text{ мм}$  та  $1,11 \text{ мм}$ . Максимальні деформації металевих гофрованих конструкцій на бокових сторонах шляхопроводу становлять  $1,07 \text{ мм}$  та  $0,48 \text{ мм}$ .

Отримано величину відносних деформацій вертикального та горизонтального розмірів конструкцій тунельного шляхопроводу при дії динамічних навантажень від рухомого складу залізниці. Відносні вертикальні деформації шляхопроводу склали  $0,020 \%$ , а горизонтальні –  $0,012 \%$ .

Практичне значення роботи полягає у тому, що за допомогою розробленої методики вимірювання прискорень можна проводити оцінку деформованого стану металевих гофрованих конструкцій при дії динамічних навантажень від рухомого складу залізниці.

**Ключові слова:** тунельний шляхопровід, збірні металеві гофровані конструкції, залізнична колія, прискорення металевих конструкцій, вертикальні та горизонтальні деформації конструкцій.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.260035

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ БУДІВЛІ ПРИСТРОЄМ ГЕОТЕХНІЧНОГО СЕЙСМОІЗОЛЮЮЧОГО ЕКРАНУ (с. 59–67)

Yerik Bessimbayev, Zauresh Zhambakina, Sayat Niyetbay

Розглядається проблема захисту будівель та споруд від сейсмічних впливів, запобігання, виключення чи зниження сейсмічної небезпеки. Катастрофічні руйнування сучасних «сейсмостійких» будівель у Туреччині та на Тайвані показали, що існуючі методи зміцнення та посилення споруд не досконалі та вимагають подальшого вивчення. Аналіз існуючих підходів щодо забезпечення сейсмостійкості показав, що системи сейсмоізоляції та сейсмогашення досі не мають науково-технічного обґрунтування ефективності їх роботи, з погляду забезпечення стійкості споруд. Розроблені на сьогоднішній день розрахунково-динамічні моделі системи «основа-сейсмоізоляція-спорудження» не завжди дозволяють моделювати спільну роботу їх взаємодії під час землетрусу та обліку трансформації сейсмічного впливу на споруду. Розроблено альтернативний спосіб, геотехнічний сейсмоізолюючий екран як система сейсмоізоляції, що знижує інтенсивність сейсмічних навантажень на споруду та забезпечує їх сейсмостійкість. На конкретному прикладі виявлено ефективність роботи системи сейсмоізоляції. Даний спосіб сейсмоізоляції у вигляді демпферних екранів відрізняється надійністю та технологічністю в забезпеченні сейсмостійкості об'єктів, що будуються.

Результатами розрахунково-експериментального моделювання взаємодії сейсмоізолюваної споруди з ґрунтовою основою встановлено, що величини осевих сил та згинальних моментів у будівлі з сейсмоізолюючим екраном менші, ніж у будівлі без сейсмоізоляції на  $30\text{--}40 \%$ .

Геотехнічний сейсмоізолюючий екран дозволяє актуалізувати розробку нових способів сейсмоізоляції та визначення їхньої ефективності. Цей спосіб також буде ефективним при влаштуванні зміцнення основи та систем сейсмоізоляції історичних пам'яток архітектури, захисту їх від сейсмічних та динамічних впливів.

**Ключові слова:** сейсмічні впливи, рух ґрунту, сейсмосахист та сейсмоізоляція, геотехнічний демпфер-гасник горизонтальних напруг, геотехнічний сейсмоізолюючий екран.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.259567

### ВИДІЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ РУХУ ОДНОМАСОВОЇ РЕЗОНАНСНОЇ ВІБРОМАШИНИ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ЕФЕКТІ ЗОМЕРФЕЛЬДА (с. 68–76)

Г. Б. Філімоніхін, В. В. Яцун, А. М. Мацуй, В. О. Кондратець, В. В. Пирогов

Виділені та досліджені на стійкість усталені режими руху одномасової резонансної вібромашини. Вібромашина має платформу, яку підтримують пружно-в'язки опори. Платформа рухається прямолінійно поступально. На платформу встановлено віброзбудник. Віброзбудник складається з  $N$  однакових вантажів – куль, роликів чи маятників. Центр мас кожного вантажу може рухатися по колу певного радіуса з центром на подовжній осі ротора. На кожен вантаж при русі відносно корпусу віброзбудника діє сила в'язкого опору.

Теоретично встановлено, що при малих силах в'язкого опору і будь-якій кількості вантажів у вібромашини існують режими застрягання, на яких вантажі зібрані разом, утворюють умовний складений вантаж і відстають від ротора. При цьому існують дві біфуркаційні швидкості обертання ротора. На швидкостях, менших за першу біфуркаційну швидкість, у вібромашини існує один єдиний (перший) режим застрягання. При переході першої біфуркаційної швидкості з'являються другий і третій режими застрягання. При переході другої біфуркаційної швидкості зникають перший і другий режими застрягання. Резонансним є перший режим застрягання.

У випадках двох і більше вантажів у вібромашини також існує автобалансувальний режим (відсутності коливань), на якому вантажі обертаються синхронно з корпусом віброзбудника і взаємно зрівноважують один одного.

При малих силах в'язкого опору обчислювальним експериментом встановлено, що стійкими є непарні режими застрягання, якщо їх пронумерувати у порядку зростання частоти застрягання вантажів. Автобалансувальний режим є стійким на зарезонансних швидкостях обертання ротора. Для настання резонансного режиму руху вібромашини достатньо повільно розганяти ротор до швидкості, меншої другої біфуркаційної. Одержані результати застосовні при проектуванні резонансних одномасових вібромашин з інерційними віброзбудниками кульового, роликового чи маятникового типу.

**Ключові слова:** інерційний віброзбудник, резонансна вібромашина, усталений рух, ефект Зомерфельда, автобалансування, стійкість руху.