

## ABSTRACT AND REFERENCES

## APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284982

**CONSTRUCTING GEOMETRICAL MODELS OF SPHERICAL ANALOGS OF THE INVOLUTE OF A CIRCLE AND CYCLOID (p. 6–12)****Andrii Nesvidomin**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-4652>**Serhii Pylypaka**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>**Tatiana Volina**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>**Mykhailo Kalenyk**Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko,  
Sumy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7416-4233>**Ivan Shuliak**National Transport University,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0609-731X>**Yuriy Semirnenko**Sumy National Agrarian University,  
Sumy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4230-4614>**Nataliia Tarelnyk**Sumy National Agrarian University,  
Sumy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6304-6925>**Iryna Hryshchenko**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-9805>**Yuliia Kholodniak**Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University,  
Melitopol, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8966-9269>**Larysa Sierykh**Sumy Regional Institute of Postgraduate Pedagogical Education,  
Sumy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5290-8596>

The common properties of images on a plane and a sphere are considered in the scientific works by scientists-designers of spherical mechanisms. This is due to the fact that the plane and the sphere share common geometric parameters. They include constancy at all points of the Gaussian curve, which has a zero value for a plane and a positive value for a sphere. Figures belonging to them can slide freely on both surfaces. With unlimited growth of the radius of the sphere, its limited section approaches the plane, and the spherical shape transforms into a plane. Thus, a loxodrome that crosses all meridians at a constant angle is transformed into a logarithmic spiral that intersects at a constant angle the radius vectors that come from the pole.

The tooth profile of cylindrical gears is outlined by the involute of a circle. A spherical involute is used for the corresponding bevel gears. Other spherical curves are also known, which are analogs of flat ones.

The formation of a cycloid and an involute of a circle are associated with the mutual rolling of a line segment with each of these figures. If the segment is fixed and the circle rolls along it, then the point of the circle describes the cycloid. In the case of a stationary circle along which a segment is rolled, the point of the segment will execute the involute. To move to the spherical analogs of these curves, it is necessary to replace the circle with a cone, and the straight line with a plane. The spherical prototype of the cycloid will be the trajectory of the point of the base of the cone, which rolls along the plane, that is, along the sweep of the cone. The sweep of a cone is a sector, the radius of the limiting circle of which is equal to the generating cone. If this sweep, like a section of a plane, is rolled around a fixed cone, when its top coincides with the center of the sector, then the point of the limiting radius of the sector will execute a spherical involute. This paper analytically implements these two motions and reports the parametric equations of the spherical analogs of the circle involute and the cycloid.

**Keywords:** involute, cycloid, spatial curves, parametric equations, geometric model, spherical analogs.

**References**

- Xiao, D., Prior, C. B., Yeates, A. R. (2023). Spherical winding and helicity. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 56 (20), 205201. doi: <https://doi.org/10.1088/1751-8121/accc17>
- Castro, I., Castro-Infantes, I., Castro-Infantes, J. (2021). Spherical curves whose curvature depends on distance to a great circle. arXiv. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.00458>
- Yuksel, N., Karacan, M. K., Demirkiran, T. (2022). Spherical Curves with Modified Orthogonal Frame with Torsion. *Turkish Journal of Science*, 7 (3), 177–184. Available at: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2505753>
- Wang, Y., Chang, Y. (2020). Mannheim curves and spherical curves. *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*, 17 (07), 2050101. doi: <https://doi.org/10.1142/s0219887820501017>
- Balki-Okullu, P., Kocayigit, H., Agirman-Aydin, T. (2019). An explicit characterization of spherical curves according to bishop frame and an approximately solution. *Thermal Science*, 23, 361–370. doi: <https://doi.org/10.2298/tsci181101049b>
- Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhylo, Z., Rogovskii, C., Trokhaniak, O. (2022). Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. *Archives of Materials Science and Engineering*, 113 (1), 13–18. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.6967>
- Pylypaka, S. F., Hryshchenko, I. Yu., Nesvidomyna, O. V. (2018). Konstruiuvannia izometrychnykh sitok na poverkhni kuli. *Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika*, 94, 82–87. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig\\_2018\\_94\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig_2018_94_16)
- Pylypaka, S. F., Grischenko, I. Yu., Kresan, T. A. (2018). Modelling of bands of unrolled surfaces, tangential to the sphere surface. *Prykladni pyttannia matematychnoho modeliuвання*, 1, 81–88. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apqmm\\_2018\\_1\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apqmm_2018_1_10)
- Novoe v systeme Mathematica 13. Available at: [https://www.wolfram.com/mathematica/new-in-13/?src=google&416&gclid=CjwKCAjwoIqhBhAGEiwArXT7K8zKs9Z8YovGKAWvKBp7u47b-BVWpdVSzJKfFc9pm5A6bmMfWUUh0Cu1cQAvD\\_BwE](https://www.wolfram.com/mathematica/new-in-13/?src=google&416&gclid=CjwKCAjwoIqhBhAGEiwArXT7K8zKs9Z8YovGKAWvKBp7u47b-BVWpdVSzJKfFc9pm5A6bmMfWUUh0Cu1cQAvD_BwE)
- Maple. Available at: <https://www.maplesoft.com/products/Maple/>
- Berezin, V. (1978). Sfericheskiy ellips. *Kvant*, 2, 25.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285516

**DETERMINING THE FREQUENCY OF TRANSVERSE OSCILLATIONS OF AN ELASTICALLY FIXED DISK OF A CIRCULAR SAW (p. 13–20)****Lidiia Dziuba**Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4261-6490>**Oksana Chmyr**Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6340-9888>**Olha Menshykova**Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6912-3066>**Khrystyna Lishchynska**Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0084-6351>

The object of the study is a circular saw blade. An annular plate of constant thickness with a free outer contour and a fixed inner contour was taken as the calculation scheme of the saw blade. The real conditions for fixing the internal circuit correspond to the elastic fixing of the saw blade with clamping flanges on the shaft of the machine. For the accepted calculation scheme of the circular saw, the dynamic model was a fourth-order nonlinear differential equation of the transverse oscillations of the annular plate with the corresponding boundary conditions. The rotation of the circular saw was taken into account in the dynamic model due to the radial force in the middle surface of the ring plate. This force arises as a result of the action of centrifugal forces during the rotation of the saw blade. The solution to the fourth-order nonlinear differential equation was constructed using the Bubnov-Galyorkin numerical method. The boundary conditions for constructing the solution were as follows: the outer contour of the saw disk was considered free; the inner contour of the saw disk – elastically fixed with a certain stiffness coefficient.

The solution was implemented in the Maple 15 mathematical environment in the form of a developed program. According to the obtained frequency equation, the values of cyclic and natural frequencies of transverse oscillations of circular saw disks of different thicknesses with the same radius of the inner contour and three values of the radii of the outer contour were determined: 150 mm, 200 mm, and 250 mm. The effect of the rigidity of the internal contour fixing and the angular speed of rotation of the saw blade on the natural frequencies of transverse oscillations was studied. The study was performed for saw disks in the case of oscillations with one, two, and three nodal diameters. It was established that the rigidity of the internal contour of the saw blade has the greatest influence on the natural frequency of transverse oscillations with one nodal diameter.

**Keywords:** circular saw, transverse oscillations, ring plate, natural frequency, elastic fastening.

**References**

- Dzyuba, L. F., Chmyr, O. Y., Menshykova, O. V., Lishchynska K. I. (2022). Simulation of transverse oscillations of the cutting mechanism of the circular saw machine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32 (4), 55–59. doi: <https://doi.org/10.36930/40320409>
- Pylypchuk, M. I., Andrievskij, P. V. (2009). Directions of perfection of constructions of machine-tools for sawing of logs by round saws. *Scientific Bulletin of UNFU*, 19.9, 111–118. Available at: [https://nvlntu.edu.ua/Archive/2009/19\\_9/111\\_Pylypchuk\\_19\\_9.pdf](https://nvlntu.edu.ua/Archive/2009/19_9/111_Pylypchuk_19_9.pdf)
- Taras, V. I., Pylypchuk, M. I., Salovsky, S. A., Lisak, A. V. (2018). Substantiation of designing parameters of the round saw with com-

- binated crown gear. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28 (10), 101–107. doi: <https://doi.org/10.15421/40281021>
- Yan, X., Cui, Y., Qiu, H., Ding, T., Zhu, N., Wang, B. (2023). The Transverse Vibration Characteristics of Circular Saw Blade on Mobile Cantilever-Type CNC Sawing Machine. *Machines*, 11 (5), 549. doi: <https://doi.org/10.3390/machines11050549>
- Pohl, M., Rose, M. (2016). Piezoelectric shunt damping of a circular saw blade with autonomous power supply for noise and vibration reduction. *Journal of Sound and Vibration*, 361, 20–31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.09.021>
- Svoren, J., Javorek, L., Droba, A., Krajčovičová, M. (2015). Determination of critical rotational speed of saw blades by using various methods. *Pro Ligno*, 11 (4), 478–486. Available at: [http://www.proligno.ro/en/articles/2015/4/Svoren\\_final.pdf](http://www.proligno.ro/en/articles/2015/4/Svoren_final.pdf)
- Gospodarič, B., Bučar, B., Fajdiga, G. (2014). Active vibration control of circular saw blades. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73 (2), 151–158. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0874-9>
- Cristóvão, L., Ekevad, M., Grönlund, A. (2012). Natural frequencies of roll-tensioned circular sawblades: effects of roller loads, number of grooves, and groove positions. *BioResources*, 7 (2). doi: <https://doi.org/10.15376/biores.7.2.2209-2219>
- Merhar, M., Gornik Bučar, D. (2017). The Influence of Radial Slots on Dynamic Stability of Thermally Stressed Circular Saw Blade. *Drvna Industrija*, 68 (4), 341–349. doi: <https://doi.org/10.5552/drind.2017.1739>
- Feng, W., Zhang, J., Zhou, H., Di, H. (2020). Investigation on the vibration characteristics of circular saw blade with different slots. *Journal of Physics: Conference Series*, 1633 (1), 012006. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1633/1/012006>
- Anđelić, N., Braut, S., Pavlović, A. (2018). Variation of Natural Frequencies by Circular Saw Blade Rotation. *Technical Gazette*, 25 (1), 10–17. doi: <https://doi.org/10.17559/tv-20160210110559>
- Skoblar, A., Anđjelic, N., Zigulic, R. (2016). Determination of critical rotational speed of circular saws from natural frequencies of annular plate with analogous dimensions. *International Journal of Quality Research*, 10 (1), 177–192. doi: <https://doi.org/10.18421/IJQR10.01-09>
- Chemers, O. (2013). Vibration of the circular annular plate with. *Visnyk NTUU «KPI»*. Seriya: mashynobuduvannia, 3 (69), 98–105. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15643>
- Trapezon, K., Trapezon, A. (2020). Construction of an algorithm to analytically solve a problem on the free vibrations of a composite plate of variable thickness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (103)), 26–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.191123>
- Trapezon, K., Trapezon, A., Orlov, A. (2020). Analysis of free oscillations of round thin plates of variable thickness with a point support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (105)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.197463>
- Dziuba, L. F., Menshykova, O. V., Rebezniuk, I. T. (2012). Vilni kolyvannia dyska kruhloi pylyky. *Visnyk SevNTU*, 133, 75–78. Available at: [http://virt.ldubgd.edu.ua/pluginfile.php/14588/mod\\_folder/content/0/Year-2012/Дзюба%20Л.Ф/St\\_8.pdf?forcedownload=1](http://virt.ldubgd.edu.ua/pluginfile.php/14588/mod_folder/content/0/Year-2012/Дзюба%20Л.Ф/St_8.pdf?forcedownload=1)
- Babenko, A. Ye., Boronko, O. O., Lavrenko, Ya. I., Trubachev, S. I. (2022). Kolyvannia sterzhniv, plastyn ta obolonok. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 252. Available at: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48522/1/Kolyvannia.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285421

**DETERMINING THE LOAD ON A BODY OF THE GONDOLA CAR WITH UNLOADING HOPPERS UNDER THE BASIC OPERATING MODES (p. 21–29)****Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>

**Iraida Stanovska**

Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5884-4228>

**Volodymyr Nerubatskyi**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>

**Yevheniia Naumenko**

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

**Dmytro Sushko**

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9747-3263>

The object of research is the processes of occurrence, perception, and redistribution of loads in the supporting structure of a gondola car with unloading hoppers. In order to increase the carrying capacity of the gondola car, and accordingly the profitability of railroad transportation, it has been proposed to improve its structure. This improvement implies the installation of unloading hoppers in its middle part. According to preliminary calculations, the use of unloading hoppers could increase the usable volume of the body by 2.82 m<sup>3</sup>. At the same time, the carrying capacity of the car would increase by 3.8 tons. Accordingly, the axial load on the wheelsets would increase. It is possible to solve this issue by using wheelsets with increased axial load in bogies.

As part of the research, a mathematical modeling of the vertical dynamics of the gondola car during its movement in the empty and loaded states of the rail track was carried out. It was established that the movement of the car is evaluated as “excellent”. The calculation of the strength of the gondola car body under the main operational load modes was carried out. The stability of the car’s equilibrium was determined, and its modal analysis was also carried out.

The peculiarity of the results within the framework of the study is that the proposed improvement could be implemented not only when designing a new car structure but also during modernization.

The area of practical application of the results is the machine-building industry, in particular, railroad transport. The conditions for the practical application of the research results are compliance with the axial load within the permissible values.

The research reported here will contribute to improving the technical and economic indicators of cars, as well as increasing the profitability of railroad transportation.

**Keywords:** gondola car with hoppers, vertical dynamics of the car, body strength, modal analysis of the car.

**References**

- Nerubatskyi, V. P., Plakhtii, O. A., Tugay, D. V., Hordiienko, D. A. (2021). Method for optimization of switching frequency in frequency converters. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 103–110. doi: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/103>
- Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D., Podnebenna, S. (2021). Synthesis of a Regulator Recuperation Mode a DC Electric Drive by Creating a Process of Finite Duration. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). doi: <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575792>
- Barta, D., Dižo, J., Blatnický, M., Molnár, D. (2022). Experimental Research of Vibrational Properties of a Single-Axle Trailer when Crossing an Individual Road Obstacle. *Strojnícky Časopis - Journal of Mechanical Engineering*, 72 (3), 19–26. doi: <https://doi.org/10.2478/scjme-2022-0036>
- Blatnický, M., Dižo, J., Molnár, D., Suchánek, A. (2022). Comprehensive Analysis of a Tricycle Structure with a Steering System for Improvement of Driving Properties While Cornering. *Materials*, 15 (24), 8974. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15248974>
- Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230 (4), 1283–1296. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
- Street, G. E., Mistry, P. J., Johnson, M. S. (2021). Impact Resistance of Fibre Reinforced Composite Railway Freight Tank Wagons. *Journal of Composites Science*, 5 (6), 152. doi: <https://doi.org/10.3390/jcs5060152>
- Wróbel, A., Płaczek, M., Buchacz, A. (2017). An Endurance Test of Composite Panels. *Solid State Phenomena*, 260, 241–248. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.260.241>
- Jeong, D. Y., Tyrell, D. C., Carolan, M. E., Perlman, A. B. (2009). Improved Tank Car Design Development: Ongoing Studies on Sandwich Structures. 2009 Joint Rail Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/jrc2009-63025>
- Reidemeister, A., Muradian, L., Shaposhnyk, V., Shykunov, O., Kyryl'chuk, O., Kalashnyk, V. (2020). Improvement of the open wagon for cargoes which imply loading with a “hat.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 985 (1), 012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/985/1/012034>
- Wennberg, D., Stichel, S., Wennhage, P. (2012). Substitution of corrugated sheets in a railway vehicle's body structure by a multiple-requirement based selection process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 228 (2), 143–157. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409712467139>
- Molavitabrizi, D., Laliberte, J. (2020). Methodology for multiscale design and optimization of lattice core sandwich structures for lightweight hopper railcars. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234 (21), 4224–4238. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406220920694>
- Fomin, O., Gorbunov, M., Lovska, A., Gerlici, J., Kravchenko, K. (2021). Dynamics and Strength of Circular Tube Open Wagons with Aluminum Foam Filled Center Sills. *Materials*, 14 (8), 1915. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>
- Harak, S. S., Sharma, S. C., Harsha, S. P. (2014). Structural Dynamic Analysis of Freight Railway Wagon Using Finite Element Method. *Procedia Materials Science*, 6, 1891–1898. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.221>
- Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Rybin, A., Kravchenko, O. (2023). Strength Assessment of an Improved Design of a Tank Container under Operating Conditions. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 25 (3). doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2023.047>
- Lovska, A. (2014). Assessment of dynamic efforts to bodies of wagons at transportation with railway ferries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (69)), 36–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24997>
- Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). *Kompiuterna hrafika: SolidWorks*. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%20ютерна%20графіка.pdf>
- Pustiulha, S. I., Samostian, V. R., Klak, Yu. V. (2018). *Inzhenerna hrafika v SolidWorks*. Lutsk: Vezha, 172. Available at: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-02/Інженерна%20графіка%20в%20SolidWorks.pdf>
- Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). *Osnovy dynamiky vahoniv*. Kyiv: KUETT, 269.

19. Panchenko, S., Gerlici, J., Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Kravchenko, K. (2022). The Analysis of the Loading and the Strength of the FLAT RACK Removable Module with Viscoelastic Bonds in the Fittings. *Applied Sciences*, 13 (1), 79. doi: <https://doi.org/10.3390/app13010079>
20. Lovskaya, A., Ryibin, A. (2016). The study of dynamic load on a wagon–platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (81)), 4–8. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72054>
21. Bohach, I. V., Krakovetskyi, O. Yu., Krylyk, L. V. (2020). Chyselni metody rozviazannia dyferentsialnykh rivnian zasobamy MathCad. *Vinnysia*, 106. Available at: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach\\_2020\\_106.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Bogach_2020_106.pdf)
22. Sobolenko, O. V., Petrechuk, L. M., Ivashchenko, Yu. S., Yehortseva, Ye. Ye. (2020). Metody rishennia matematychnykh zadach u seredovyshchi Mathcad. *Dnipro*, 60. Available at: [https://nmetau.edu.ua/file/navch\\_posibn\\_mathcad\\_2020\\_petrechuk.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/navch_posibn_mathcad_2020_petrechuk.pdf)
23. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordienko, D. (2021). Control and Accounting of Parameters of Electricity Consumption in Distribution Networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). doi: <https://doi.org/10.1109/mma52675.2021.9610907>
24. Kondratiev, A. V., Gaidachuk, V. E. (2021). Mathematical Analysis of Technological Parameters for Producing Superfine Prepregs by Flattening Carbon Fibers. *Mechanics of Composite Materials*, 57 (1), 91–100. doi: <https://doi.org/10.1007/s11029-021-09936-3>
25. Panchenko, S., Vatulia, G., Lovska, A., Ravlyuk, V., Elyazov, I., Huseynov, I. (2022). Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 45–55. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638>
26. Dižo, J., Blatnický, M., Harušinec, J., Suchánek, A. (2022). Assessment of Dynamics of a Rail Vehicle in Terms of Running Properties While Moving on a Real Track Model. *Symmetry*, 14 (3), 536. doi: <https://doi.org/10.3390/sym14030536>
27. Stoilov, V., Simić, G., Purgić, S., Milković, D., Slavchev, S., Radulović, S., Maznichki, V. (2019). Comparative analysis of the results of theoretical and experimental studies of freight wagon Sdggmrss-twin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 664 (1), 012026. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/664/1/012026>
28. Das, A., Agarwal, G. (2020). Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon. *Advances in Fluid Mechanics and Solid Mechanics*, 271–280. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0772-4_24)
29. Slavchev, S., Stoilov, V., Purgic, S. (2015). Static strength analysis of the body of a wagon, series Zans. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 21 (1), 49–57. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/292802037\\_STATIC\\_STRENGTH\\_ANALYSIS\\_OF\\_THE\\_BODY\\_OF\\_A\\_WAGON\\_SERIES\\_Zans](https://www.researchgate.net/publication/292802037_STATIC_STRENGTH_ANALYSIS_OF_THE_BODY_OF_A_WAGON_SERIES_Zans)
30. Adilov, N. B. (2022). Theoretical studies of the strength of the wagon body for verification of railway scales. *The scientific journal vehicles and roads*, 2, 145–153.
31. Šťastniak, P., Kurčík, P., Pavlík, A. (2018). Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*, 235, 00030. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823500030>
32. Ruzmetov, Y., Adilov, N., Sulonov, S. (2021). Strength assessment of the body of a weight checking wagon type 640-VPV. *E3S Web of Conferences*, 264, 05021. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405021>
33. Lovska, A., Fomin, O., Pištěk, V., Kučera, P. (2020). Dynamic Load and Strength Determination of Carrying Structure of Wagons

Transported by Ferries. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8 (11), 902. doi: <https://doi.org/10.3390/jmse8110902>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285894

## REVEALING PATTERNS IN THE STRESSED-STRAINED STATE OF LOAD-BEARING STRUCTURES IN SPECIAL ROLLING STOCK TO FURTHER IMPROVE THEM (p. 30–42)

**Oleksii Koshel**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7849-9361>

**Svitlana Sapronova**

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

**Serhii Kara**

Branch of Science-Research and Design-Engineering Institute of Railway Transport of the JSC “Ukrainian Railways”, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0401-6547>

The object of research is strength indicators of load-bearing structures of special rolling stock (dump cars). The research problem is the appearance of the same type of cracks in the girder beams of dump cars, the repair of which is not provided for by the current repair documentation. Malfunction analysis, control tests, strength studies by calculation and experiment were carried out.

The analysis of malfunctions of cars in operation helped prove the place of occurrence of fatigue defects – the girder beam. This made it possible to determine specific zones of load-bearing elements, in which during control tests of cars, on the basis of taking into account data on fatigue defects, it is necessary to measure stress parameters.

The results of the control tests showed that the lowest value of the fatigue resistance reserve factor  $n=1.6$  for the dump car is found in the zone on the girder beam in the area of the pivot beam. The value of  $n$  is within acceptable limits.

Normative calculations were carried out and a separate calculation (emergency) mode was additionally defined in the SolidWorks Simulation 2019 software package (France). Based on the results of the dump car stress calculations, it was established that the maximum equivalent stresses in the load-bearing structures of the car occur during its unloading due to twisting, and the stress vectors are at an angle of  $45^\circ$ . During the calculation of individual load modes, the stresses exceed the permissible values.

In order to ensure the necessary strength conditions, it is proposed to introduce a reinforcing pad into the girder beam of the dump car, due to which the calculated stresses are within the permissible limits.

The research will contribute to devising the recommendations for the restoration of dump cars, for designing modern structures of special rolling stock, and for improving strength determination processes.

**Keywords:** car, dump car, girder beam, dump car strength, calculated loads.

## References

1. Cole, C., Spiryagin, M., Wu, Q., Sun, Y. Q. (2017). Modelling, simulation and applications of longitudinal train dynamics. *Vehicle System Dynamics*, 55 (10), 1498–1571. doi: <https://doi.org/10.1080/00423114.2017.1330484>
2. Hecht, M. (2014). Innovative rail freight wagons – a precondition to increase the market-share of rail freight. *Archives of Transport*, 29 (1), 17–26. doi: <https://doi.org/10.5604/08669546.1146959>

3. Horobets, V. L., Miamlin, S. V., Yanhulova, O. L. (2015). Perspektyvy rozvytku metodiv otsinky sroku sluzhby rukhomoho skladu zaliznyts. Visnyk sertyfikatsii zaliznychnoho transportu, 8, 44–47.
4. Leonets, V. A. (2017). Vplyv tryvaloї ekspluatatsiyi zaliznychnoho rukhomoho skladu na pratsezdannist yoho nesuchykh konstruksiy. Zaliznychnyi transport Ukrainy, 1, 24–31. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU\\_2017\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZTU_2017_1_6)
5. Li, X., Fang, J., Zhang, Q., Zhao, S., Guan, X. (2020). Study on Key Technology of Railway Freight Car Body Fatigue Test. Journal of Failure Analysis and Prevention, 20 (1), 261–269. doi: <https://doi.org/10.1007/s11668-020-00828-7>
6. Barbas, I. H., Kostritsa, S. O., Datsenko, V. N., Sultan, A. V., Dzychkovskiy, Ye. M., Krivchykov, A. Ye. (2009). The study of dynamics and strength of hoppers (review article). Science and Transport Progress, 30, 27–32. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2009/14600>
7. Sulym, A., Khozia, P., Strynzha, A., Rechkalov, V., Fedorov, V. (2022). Approaches and prospects of improvement of dump cars for operation on 1520-mm mainline railways. Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series “Transport Systems and Technologies,” 39, 51–65. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-6>
8. Zhang, Q., Li, X., Ma, Y., Li, W. (2023). Fatigue test loading method for wagon body based on measured load. Railway Sciences, 2 (1), 68–83. doi: <https://doi.org/10.1108/rs-01-2023-0001>
9. Gawlak, K. (2022). Safety critical components (SCC) in the maintenance management system for railway vehicle. Diagnostyka, 23 (4), 1–9. doi: <https://doi.org/10.29354/diag/156166>
10. Placzek, M., Wróbel, A., Buchacz, A. (2016). A concept of technology for freight wagons modernization. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 161, 012107. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012107>
11. Assemkhanuly, A., Niyazova, Z., Ustemirova, R., Karpov, A., Muratov, A., Kaspakbayev, K. (2019). Mathematical and computer models in estimation of dynamic processes of vehicles. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 97 (10), 2803–2820. Available at: <http://www.jatit.org/volumes/Vol97No10/14Vol97No10.pdf>
12. Poveda-Reyes, S., Rizzetto, L., Triti, C., Shi, D., García-Jiménez, E., Molero, G. D., Santarremigia, F. E. (2021). Risk evaluation of failures of the running gear with effects on rail infrastructure. Engineering Failure Analysis, 128, 105613. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105613>
13. Jagadish, H. V. (2015). Big Data and Science: Myths and Reality. Big Data Research, 2 (2), 49–52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2015.01.005>
14. Tang, L., Li, J., Du, H., Li, L., Wu, J., Wang, S. (2022). Big Data in Forecasting Research: A Literature Review. Big Data Research, 27, 100289. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100289>
15. Fomin, O. V., Prokopenko, P. M., Burlutsky, O. V., Fomina, A. M. (2019). Control testing of freight wagon with the aim of assessing the residual resource of non-construction structures. Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences, 3 (2), 177–182. doi: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/31>
16. Marinkovic, D., Zehn, M. (2019). Survey of Finite Element Method-Based Real-Time Simulations. Applied Sciences, 9 (14), 2775. doi: <https://doi.org/10.3390/app9142775>
17. Cremonesi, M., Franci, A., Idelsohn, S., Oñate, E. (2020). A State of the Art Review of the Particle Finite Element Method (PFEM). Archives of Computational Methods in Engineering, 27 (5), 1709–1735. doi: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09468-4>
18. Koshel, O. O., Kara, S. V., Hryndei, O. O. (2022). Mitsnisnyi analiz nyzhnoi ramy dumpkara (vahona-samoskyda) z metoiu vyznachennia mozhlyvosti prodovzhennia terminu ekspluatatsiyi. Scientific Collection «InterConf», 111, 439–444. Available at: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/637>
19. Gil, D., Song, I.-Y. (2016). Modeling and Management of Big Data: Challenges and opportunities. Future Generation Computer Systems, 63, 96–99. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.07.019>
20. Koshel, O., Sapronova, S., Tkachenko, V., Buromenska, M., Radkevich, M. (2021). Research of Freight Cars Malfunctions in Operation. Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021, 589–592. Available at: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-II.pdf>
21. Koshel, O., Sapronova, S., Bulich, D., Tkachenko, V. (2020). Determination of the Load-Bearing Metal Structures Residual Operation Time of the Ukraine Railway. Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020, 228–232. Available at: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-A4-I-dalis.pdf>
22. Koshel, O. (2022). Varianty vidnovlennia nyzhnoi ramy dumpkara (vahona-samoskyda) z metoiu podalshoi mozhlyvosti prodovzhennia terminu ekspluatatsiyi. Scientific Collection «InterConf+», 22 (113), 431–436. doi: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.06.2022.044>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285893**

**ASSESSING THE STRESSES AND MAGNITUDE OF PLASTIC HINGE IN A TUNNEL CONDUIT MADE OF PRECAST METAL CORRUGATED STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE SOIL BACKFILL PARAMETERS (p. 43–53)**

**Vitalii Kovalchuk**

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

**Artur Onyshchenko**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Ihor Karnakov**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8751-9934>

**Oleksiy Petrenko**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8870-8534>

**Roman Boikiv**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-4824-208X>

The object of research is a tunnel conduit made of star-shaped metal corrugated structures.

The stresses and magnitude of the plastic hinge occurring in the metal corrugated structures of the tunnel conduit were investigated, taking into account the degree of compaction and the height of the soil backfill.

It was established that when the height of the backfill above the tunnel conduit made of precast metal corrugated structures increases and the degree of compaction of the soil backfill decreases, there is an increase in the values of stresses and plastic hinge in metal structures. With the height of the backfill above the conduit equal to 2.75 m and the degree of compaction of the soil backfill  $RP=80\%$ , stresses of 235.89 MPa are reached, exceeding the permissible 235 MPa. At the same time, the value of the plastic hinge is 1.03, which exceeds the normative 1.0.

It was established that at embankment heights above the tunnel conduit structures from 1.75 m to 2.0 m, the smallest difference in stresses and magnitude of the plastic hinge is observed. At  $RP=98\%$ , the stress difference is 0.66 MPa, and the value of the plastic hinge is 0.008. In the case of the height of the embankment above the conduit from 1.5 m to 1.75 m, the stress increase was 5.5 MPa, and the value of the plastic hinge – 0.031. When the embankment height increases from 2.0 m to 2.25 m, the stress difference is 7.57 MPa, and the value of the plastic hinge is 0.041.

It was determined that when the height of the embankment above the conduit was increased by 1.0 m in the range from 0.75 m to 1.75 m, the stress difference at  $RP=98\%$  increased by 27.84 MPa. However, when the height was increased by 1.0 m in the range from 2.75 m to 3.75 m, the stress difference increased by 12.66 MPa. At the same time, the value of the plastic hinge at embankment heights from 0.75 m to 1.75 m increased by 0.139, and at embankment heights from 2.75 m to 3.75 m – by 0.093.

**Keywords:** precast metal corrugated structures, tunnel conduit, stress of metal structures, plastic hinge.

### References

- Kovalchuk, V., Koval, M., Onyshchenko, A., Kravets, I., Bal, O., Markul, R. et al. (2022). Determining the strained state of prefabricated metal corrugated structures of a tunnel overpass exposed to the dynamic loading from railroad rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 50–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259439>
- Stasiuk, B. M., Stankevych, V. Z., Kovalchuk, V. V., Luchko, Y. Y. (2014). Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu metalovykh hofrovanykh konstruksiy pry vzaemodiyi z gruntom zasypky. *Zbirnyk nauk. prats Dnipropet-rovskoho nats. un-tu zalizn. transportu im. akadem. V. Lazariana «Mosty ta tuneli: Teoriia, doslidzhennia, praktyka»*, 5, 105–111.
- Kunecki, B., Korusiewicz, L. (2013). Field tests of large-span metal arch culvert during backfilling. *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*, 12, 283–295. doi: <https://doi.org/10.7409/rabdim.013.020>
- Korusiewicz, L., Kunecki, B. (2011). Behaviour of the steel box-type culvert during backfilling. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 11 (3), 637–650. doi: [https://doi.org/10.1016/s1644-9665\(12\)60106-x](https://doi.org/10.1016/s1644-9665(12)60106-x)
- Mak, A. C., Brachman, R. W. I., Moore, I. D. (2009). Measured Response of a Deeply Corrugated Box Culvert to Vehicle Loads. *Transportation Research Board 88th Annual Meeting*. Washington. Available at: <https://trid.trb.org/view/882050>
- Maleska, T., Beben, D. (2018). Behaviour of corrugated steel plate bridge with high soil cover under seismic excitation. *MATEC Web of Conferences*, 174, 04003. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817404003>
- 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: <http://dx.doi.org/10.7409/rabdim.019.006>
- Beben, D. (2017). Experimental Testing of Soil-Steel Railway Bridge Under Normal Train Loads. *Experimental Vibration Analysis for Civil Structures*, 805–815. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67443-8\\_71](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67443-8_71)
- 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>
- 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., 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>
- 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>
- Machelski, C., Korusiewicz, L. (2017). Deformation of buried corrugated metal box structure under railway load. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 16, 191–201. doi: <https://doi.org/10.7409/rabdim.017.013>
- Beben, D. (2009). Numerical analysis of a soil-steel bridge structure. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4 (1), 13–21. doi: <https://doi.org/10.3846/1822-427x.2009.4.13-21>
- Embaby, K., Hesham El Naggar, M., El Sharnouby, M. (2022). Investigation of bevel-ended large-span soil-steel structures. *Engineering Structures*, 267, 114658. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114658>
- Embaby, K., El Naggar, M. H., El Sharnouby, M. (2022). Performance of large-span arched soil-steel structures under soil loading. *Thin-Walled Structures*, 172, 108884. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.108884>
- Koval, M., Koval, P., Kovalchuk, V. (2020). Methods of tunnel inspection and testing of metal corrugated structures at km 228 + 160 of Kyiv-Kharkiv-Dovzhansky highway. *Dorogi i Mosti*, 2020 (21), 250–269. doi: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.250>
- Pettersson, L., Hansing, L. (2002). Fatigue design of soil steel composite bridges. *Archives of institute of civil engineering*, 12, 237–242.
- Pettersson, L., Sundquist, H. (2007). Design of soil steel composite bridges. *Structural Design and Bridges*. Stockholm, 98.
- Kloppel, K., Glock, D. (1970). Theoretische und experimentelle Untersuchungen zu den Traglastproblemen biegeweicher, in die Erde eingebetteter Rohre. *Institut für Statik und Stahlbau der Technischen Hochschule Darmstadt*.
- Wysokowski, A., Janusz, L. (2007). Mostowe konstrukcje grunto-powlokowe. *Laboratoryjne badania niszczone. Awary w czasie budowy i eksploatacji. XXIII konferencja naukowo-techniczna. Szczecin*, 541–550. Available at: <http://www.awarie.zut.edu.pl/files/ab2007/artykuly/0136.pdf>
- Pettersson, L., Flener, E. B., Sundquist, H. (2015). Design of Soil-Steel Composite Bridges. *Structural Engineering International*, 25 (2), 159–172. doi: <https://doi.org/10.2749/101686614x14043795570499>
- Maleska, T., Beben, D. (2023). Behaviour of Soil-Steel Composite Bridges under Strong Seismic Excitation with Various Boundary Conditions. *Materials*, 16 (2), 650. doi: <https://doi.org/10.3390/ma16020650>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285800

APPLICATION OF THE METHOD OF MEASURING DEFORMATION PARAMETERS UNDER MECHANICAL ACTION ON CONCRETE BEAMS USING A FIBER BRAGG GRATING (p. 54–62)

Gulim Kadirbayeva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4935-7479>

**Katipa Chezhibayeva**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications  
named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>

**Mukhabbat Khizirova**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications  
named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2242-7756>

**Waldemar Wycik**

Lublin University of Technology, Lublin, Poland  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>

In order to study the patterns of deformation and change of concrete structures, studies of the fiber Bragg lattice in the form of a measuring sensor were carried out. Fiber optic sensors have several advantages: small size, resistance to electromagnetic interference, high sensitivity, wide range, simple structure, high reaction rate, corrosion resistance, geometrically versatile and resistant to external influences.

This work is related to the development of the characteristics and behavior of strain sensors acting on a fiber Bragg lattice using computer modeling. The work focuses on the analysis of the operational characteristics and behavior of strain sensors acting on the fiber Bragg lattice. The sensor is used to measure the deformation of an object whose resistance varies depending on the applied force. This is shown by an example of how a fiber Bragg lattice can demonstrate strain sensors. In the work, a simulation was carried out using a computer program to simulate the operation of a fiber Bragg lattice deformation sensor.

When measuring the deformation, calculations with the Young's modulus formulas were used for a more accurate calculation of the data. When measured, the wavelength left from 1662 nm to 1666 nm, as well as a constant temperature from 20 °C to 40 °C. The results show the following, the values of the Young's modulus are 23.25 Pa, the Poisson's ratio is 0.167 br, the modulus of elasticity at shear is 9.96444 Pa. And in this regard, the results of this work show: the first is that changes in the magnitude, position and shape of the deformation can reflect the dynamic evolutionary process of deformation during bending on the structure. The following is the deformation curve has a good corresponding relationship with the change in the applied pressure, which shows software modeling in different types of deformation.

The conclusion shows that the technology of monitoring fiber-Bragg lattice sensors has a good effect on internal deformation and control of mechanical stresses during model tests; it provides new methods and monitoring tools for model tests.

**Keywords:** fiber Bragg lattice, simulation, communication technologies optical fiber, Young's modulus.

**References**

- Jalil, M. A. B. (2021). Simulation of Fiber Bragg Grating Characteristics and Behaviors as Strain and Temperature Sensor. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9 (11), 1154–1161. doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.38883>
- Lee, B. (2003). Review of the present status of optical fiber sensors. *Optical Fiber Technology*, 9 (2), 57–79. doi: [https://doi.org/10.1016/s1068-5200\(02\)00527-8](https://doi.org/10.1016/s1068-5200(02)00527-8)
- Mendez, A., Morse, T. F., Mendez, F. (1990). Applications Of Embedded Optical Fiber Sensors In Reinforced Concrete Buildings And Structures. *SPIE Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.963084>
- Yanbiao, L., Libo, Y., Qian, T. (2018). The 40 Years of Optical Fiber Sensors in China. *Acta Optica Sinica*, 38 (3), 0328001. doi: <https://doi.org/10.3788/aos201838.0328001>
- Kinet, D., Mégret, P., Goossen, K., Qiu, L., Heider, D., Caucheteur, C. (2014). Fiber Bragg Grating Sensors toward Structural Health Monitoring in Composite Materials: Challenges and Solutions. *Sensors*, 14 (4), 7394–7419. doi: <https://doi.org/10.3390/s140407394>
- Di Sante, R. (2015). Fibre Optic Sensors for Structural Health Monitoring of Aircraft Composite Structures: Recent Advances and Applications. *Sensors*, 15 (8), 18666–18713. doi: <https://doi.org/10.3390/s150818666>
- Wójcik, W., Kisala, P. (2009). The application of inverse analysis in strain distribution recovery using the fibre bragg grating sensors. *Metrology and Measurement Systems*. XVI (4), 649–660. Available at: [http://www.metrology.pg.gda.pl/full/2009/M&MS\\_2009\\_649.pdf](http://www.metrology.pg.gda.pl/full/2009/M&MS_2009_649.pdf)
- Orazaliyeva, S., Kadirbayeva, G., Chezhibayeva, K. (2022). Evaluation of the effectiveness of the effect of photosensitization on the spectral characteristics of the fiber Bragg grating. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (117)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259033>
- Feng, X., Zhou, J., Sun, C., Zhang, X., Ansari, F. (2013). Theoretical and Experimental Investigations into Crack Detection with BOTDR-Distributed Fiber Optic Sensors. *Journal of Engineering Mechanics*, 139 (12), 1797–1807. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)em.1943-7889.0000622](https://doi.org/10.1061/(asce)em.1943-7889.0000622)
- Wang, H., Zhou, Z., Huang, Y., Xiang, P., Ou, J. (2015). Strain transfer mechanism of quadrate-packaged FBG sensors embedded in rectangular structures. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5 (4), 469–480. doi: <https://doi.org/10.1007/s13349-015-0131-x>
- Nurzhaubayeva, G., Chezhibayeva, K., Haris, N. (2022). Characterization of high impedance of multilayer coplanar waveguide transmission line design for integration with nanodevices. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (118)), 6–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263671>
- Inaudi, D., Casanova, N., Kronenberg, P., Marazzi, S., Vurpillot, S. (1997). Embedded and surface-mounted fiber optic sensors for civil structural monitoring. *SPIE Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.274668>
- Haoyang, P., Qiong, L., Qing, Y., Guofeng, X., Haiwen, C., Ronghui, Q., Zujie, F. (2012). Analysis and Experimental Study of Inner Stress for Metallized Fiber Bragg Gratings. *Chinese Journal of Lasers*, 39 (3), 0305008. doi: <https://doi.org/10.3788/cjl201239.0305008>
- Dandan, P., Qingmei, S., Mingshun, J. et al. (2012). Fiber Bragg grating high-temperature sensing system based on improved support degree matrix model. *Journal of Optoelectronics Laser*, 23 (11), 2045–2051.
- Chunxiao, L., Youlong, Y., Jun, H., Hang, X. (2013). Measurement of the Natural Frequency of Bench Drill Based on Fiber Bragg Grating. *Laser & Optoelectronics Progress*, 50 (2), 020601. doi: <https://doi.org/10.3788/lop50.020601>
- Yiping, W., Ming, W., Xiaoqin, H. (2011). Transverse Pressure Sensor Based on the Polarization Properties of Fiber Grating. *Chinese Journal of Lasers*, 38 (4), 0405004. doi: <https://doi.org/10.3788/cjl201138.0405004>
- Qibiao, O., Qingke, Z., Zixiong, Q. et al. (2013). Application of coated long period fiber grating to measure the change of microrefractive index. *Journal of Optoelectronics Laser*, 24 (2), 323–328.
- Yongxing, G., Dongsheng, Z., Zhude, Z., Li, X., Fangdong, Z. (2013). Research Progress in Fiber-Bragg-Grating Accelerometer. *Laser & Optoelectronics Progress*, 50 (6), 060001. doi: <https://doi.org/10.3788/lop50.060001>
- Varzhel', S. V. (2015). Volokonnye Breggovskie reshetki [Fiber Bragg Gratings]. Sankt-Peterburg: Universitet ITMO.
- Vasil'ev, S. A., Medvedkov, O. I., Korolev, I. G., Bozhkov, A. S., Kurkov, A. S., Dianov, E. M. (2005). Fibre gratings and their ap-

plications. *Quantum Electronics*, 35 (12), 1085–1103. doi: <https://doi.org/10.1070/qe2005v035n12abeh013041>

21. Nureev, I. I. (2016). Radiophotonics amplitude-phase interrogation methods of complexed sensors based on fiber Bragg gratings. *Engineering Journal of Don*, 2. Available at: <http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n2y2016/3581>
22. Wenwen, Q., Juan, K., Li, Y., Junhui, H. (2016). Young's Modulus Measurement of Metal Beams Based on Fiber Bragg Grating. *Laser & Optoelectronics Progress*, 53 (4), 040604. doi: <https://doi.org/10.3788/lop53.040604>
23. Bakanov, V. V., Nureyev, I. I., Kuznetsov, A. A., Lipatnikov, K. A. (2021). Fiber-optic current sensor based on the Bragg grid. *Engineering Journal of Don*, 6. Available at: <http://ivdon.ru/en/magazine/archive/N6y21/7052>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286541

**IDENTIFICATION OF REGULARITIES IN THE BEHAVIOR OF A GLASS FIBER-REINFORCED POLYESTER COMPOSITE OF THE IMPACT TEST BASED ON ASTM D256 STANDARD (p. 63–71)**

**Imad O. Bachi Al-Fahad**

University of Basrah, Al Basrah, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2958-0179>

**Azzam D. Hassan**

University of Basrah, Al Basrah, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7451-8254>

**Batool Mardan Faisal**

Wasit University, Wasit, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0024-274X>

**Hussein Kadhim Sharaf**

Bilad Alrafidain University College, Baqubah, Diyala, Iraq

Dijlah University College, Dorra, Baghdad, Iraq

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

In this research, commotional analysis based on the finite element analysis (FEA) has been performed to investigate IZOD impact test based on the ASTM D256 standard. The ANSYS model primarily employs a composite constructed of glass fiber-reinforced polyester for the boundary conditions. The CEAST 9050 instrument was used to implement the impacting technique in the experimental inquiry. By employing mathematics, we have calculated that the applied force is 9.2 N. A hammer traveling at a speed of 3.5 meters per second is used to strike the samples, and the results are recorded after each blow. The object of this study is the mechanical properties and structural integrity of the composite material composed of glass fibers and polyester when subjected to impact forces. The main hypothesis of the study encompasses the optimism that the glass fiber-reinforced polyester composite, when put through the Izod impact test in accordance with ASTM D256. Convergence between the overall deformation indicator and the numerical result has occurred. Results from the numerical analysis were examined and confirmed, and compared to those from the experiment. The specimens in this study were totally distorted at three different thicknesses (6 mm, 8 mm, and 10 mm). Deformation was found to be greatest for the thinnest value of thickness considered in the study (6 millimeters), as determined by the results of the computer analysis. This was the case even though the thickness value was not the sole criterion. This is the actual state of affairs. The specimen was subjected to a von-Mises stress at three different thicknesses of 6 mm, 8 mm, and 10 mm. The computer investigation revealed that the Von-Mises stress was highest at the thinnest possible thickness of jus 6 milli-

meters. Internal energy, kinetic energy, and touch energy are only few of the various types of energy that have been studied in the context of energy conservation.

**Keywords:** impact test, shear stresses, total deformation, static structure, IZOD test.

**References**

1. Santhosh, M. S., Sasikumar, R., Natrayan, L., Kumar, M. S., Elango, V., Vanmathi, M. (2018). Investigation of Mechanical and Electrical Properties of Kevlar/E-Glass and Basalt/E-Glass Reinforced Hybrid Composites. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8 (3), 591–598. doi: <https://doi.org/10.24247/ijmperdjun201863>
2. Bardiya, S., Jerald, J., Satheeshkumar, V. (2021). Effect of process parameters on the impact strength of fused filament fabricated (FFF) polylactic acid (PLA) parts. *Materials Today: Proceedings*, 41, 1103–1106. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.066>
3. Patterson, A. E., Pereira, T. R., Allison, J. T., Messimer, S. L. (2019). IZOD impact properties of full-density fused deposition modeling polymer materials with respect to raster angle and print orientation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235 (10), 1891–1908. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406219840385>
4. Dress, G. A., Woldemariam, M. H., Redda, D. T. (2021). Influence of Fiber Orientation on Impact Resistance Behavior of Woven Sisal Fiber Reinforced Polyester Composite. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/6669600>
5. Tuazon, B. J., Espino, M. T., Dizon, J. R. C. (2020). Investigation on the Effects of Acetone Vapor-Polishing to Fracture Behavior of ABS Printed Materials at Different Operating Temperature. *Materials Science Forum*, 1005, 141–149. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1005.141>
6. Ansari, A. A., Kamil, M. (2022). Izod impact and hardness properties of 3D printed lightweight CF-reinforced PLA composites using design of experiment. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 5 (3), 369–383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2022.04.006>
7. Souza, A. T., Neuba, L. de M., Junio, R. F. P., Carvalho, M. T., Candido, V. S., Figueiredo, A. B.-H. da S. et al. (2022). Ballistic Properties and Izod Impact Resistance of Novel Epoxy Composites Reinforced with Caranan Fiber (Mauritiella armata). *Polymers*, 14 (16), 3348. doi: <https://doi.org/10.3390/polym14163348>
8. Sepianto, D., Sugiantoro, R., Siproni, Yahya, Erwin, M. (2020). The Effect of Rectangular Parallel Key Manufacturing Process Parameters Made with Stereolithography DLP 3D Printer Technology Against Impact Strength. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500 (1), 012028. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012028>
9. Salman, S., Sharaf, H. K., Hussein, A. F., Khalaf, N. J., Abbas, M. K., Aned, A. M. et al. (2022). Optimization of raw material properties of natural starch by food glue based on dry heat method. *Food Science and Technology*, 42. doi: <https://doi.org/10.1590/fst.78121>
10. Almagsoosi, L., Abadi, M. T. E., Hasan, H. F., Sharaf, H. K. (2022). Effect of the Volatility of the Crypto Currency and Its Effect on the Market Returns. *Industrial Engineering & Management Systems*, 21 (2), 238–243. doi: <https://doi.org/10.7232/iems.2022.21.2.238>
11. Ashham, M., Sharaf, H. K., Salman, K., Salman, S. (2017). Simulation of heat transfer in a heat exchanger tube with inclined vortex rings inserts. *International Journal of Applied Engineering*, 12 (20), 9605–9613. Available at: [https://www.rippublication.com/ijaer17/ijaerv12n20\\_48.pdf](https://www.rippublication.com/ijaer17/ijaerv12n20_48.pdf)
12. Raheemah, S. H., Fadheel, K. I., Hassan, Q. H., Aned, A. M., Turki Al-Taie, A. A., Sharaf, H. K. (2021). Numerical Analysis of the Crack



- Inspections Using Hybrid Approach for the Application the Circular Cantilever Rods. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 29 (2). doi: <https://doi.org/10.47836/pjst.29.2.22>
13. Subhi, K. A., Hussein, E. K., Al-Hamadani, H. R. D., Sharaf, H. K. (2022). Investigation of the mechanical performance of the composite prosthetic keel based on the static load: a computational analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (117)), 22–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.256943>
  14. Sharaf, H. K., Alyousif, S., Khalaf, N. J., Hussein, A. F., Abbas, M. K. (2022). Development of bracket for cross arm structure in transmission tower: Experimental and numerical analysis. *New Materials, Compounds and Applications*, 6 (3), 257–275. Available at: <http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/NMCA/V6N3/SharafHS.pdf>
  15. Reuben, R., Joshi, P., Manickam, R. (2020). Effect of Copper Nano Powder on Kevlar Fiber Reinforced Epoxy Resin Composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 810 (1), 012053. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/810/1/012053>
  16. Tran, N.-T., Pham, N. T.-H. (2021). Investigation of the Effect of Polycarbonate Rate on Mechanical Properties of Polybutylene Terephthalate/Polycarbonate Blends. *International Journal of Polymer Science*, 2021, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2021/7635048>
  17. Tanveer, Md. Q., Haleem, A., Suhaib, M. (2019). Effect of variable infill density on mechanical behaviour of 3-D printed PLA specimen: an experimental investigation. *SN Applied Sciences*, 1 (12). doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1744-1>
  18. Raut, N. P., Kolekar, A. B. (2023). Experimental analysis of 3D printed specimens with different printing parameters for Izod impact strength. *Materials Today: Proceedings*, 80, 156–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.029>
  19. Akdoğan, E. (2020). The effects of high density polyethylene addition to low density polyethylene polymer on mechanical, impact and physical properties. *European Journal of Technic*, 10 (1), 25–37. doi: <https://doi.org/10.36222/ejt.646693>
  20. Nweze Nwogu, C., Nwaiwu, U., Uchechukwu Udo, V., James Nwosu, O., Ezenwa Hart, C. (2022). Effect of date seed granules on the mechanical properties of Glass fibre reinforced epoxy composite. *Cleaner Materials*, 6, 100160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100160>
  21. Thandavamoorthy, R., Palanivel, A. (2019). Testing and Evaluation of Tensile and Impact Strength of Neem/Banyan Fiber-Reinforced Hybrid Composite. *Journal of Testing and Evaluation*, 48 (1), 20180640. doi: <https://doi.org/10.1520/jte20180640>
  22. Mishra, P. K., Senthil, P., Adarsh, S., Anoop, M. S. (2021). An investigation to study the combined effect of different infill pattern and infill density on the impact strength of 3D printed polylactic acid parts. *Composites Communications*, 24, 100605. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100605>
  23. Patterson, A. E., Hasanov, S., Vajipeyajula, B. (2022). Influence of Matrix Material on Impact Properties of Chopped Carbon Fiber-Thermoplastic Composites Made Using FDM/FFF. 2022 International Additive Manufacturing Conference. doi: <https://doi.org/10.1115/iam2022-88941>
  24. Rusiyanto, Irfan, M., Widodo, R. D., Sunyoto, Fitriyana, D. F. (2023). Effect of drying time on compressive strength, impact strength and macro structure of crucible materials made from evaporation boats waste, graphite and kaolin. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0124101>
  25. Kholil, A., Syaefuddin, E. A., Supardi, F., Wulandari, D. A. (2022). The Effect of Layer Thickness on Impact Strength Characteristics of ABS and PLA Materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377 (1), 012001. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012001>
  26. Velasco, D. C. R., Linhares, J. A. T., Simonassi, N. T., Vieira, C. M. F., Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., Monteiro, S. N. (2023). Influence of the Incorporation of Particulates from the Pineapple Crown on the Impact Strength of Epoxy Systems. *TMS 2023 152nd Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings*, 1252–1257. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22524-6\\_120](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22524-6_120)
  27. Kamaal, M., Anas, M., Rastogi, H., Bhardwaj, N., Rahaman, A. (2020). Effect of FDM process parameters on mechanical properties of 3D-printed carbon fibre-PLA composite. *Progress in Additive Manufacturing*, 6 (1), 63–69. doi: <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00145-3>
  28. Madu, K., Okoronkwo, G. O., Nwankwo, E. I. (2019). Effects of fiber volume fraction and curing time on impact – Hardness strength properties of areca fibers reinforced polyester thermoset composites. *An International Open Free Access, Peer Reviewed Research Journal*, 1 (2).
  29. Kumar, R., Rani, M., Zafar, S. (2021). Influence of stacking sequence on impact strength/hardness of CF/GF hybrid composites fabricated by VARIMC technique. *Materials Today: Proceedings*, 45, 4666–4670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.114>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286041**

**REFINING A TABULAR METHOD FOR ASSESSING THE FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES (p. 72–78)**

**Ivan Nesen**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5847-4805>

**Stanislav Sidnei**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7664-6620>

**Olena Petukhova**

National University of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4832-1255>

**Maxim Zhuravskij**

National University of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8356-8600>

**Eugene Tishchenko**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
named after Chernobyl Heroes of National University  
of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6949-9028>

This paper reports the analysis of fire resistance assessment methods of building structures. Based on the results, it was established that conducting fire tests is not expedient and harmful to the environment. The use of estimation fire resistance assessment methods for reinforced concrete staircases is not considered possible due to the lack of appropriate tables with fire resistance classes for the tabular method. The use of the estimation zone method is also impossible because of the lack of temperature nomograms of temperature distribution during exposure to the standard fire temperature regime. There are also no described procedures for applying the estimation refined method for reinforced concrete staircases. So, using mathematical models, the existing type of reinforced concrete staircase was reproduced. Employing the finite-

element method, the behavior of reinforced concrete stairwells under the influence of fire was investigated.

Based on the results of these experiments, it was analyzed which structural geometric parameters of reinforced concrete stairwells have the greatest influence on their fire resistance. In this way, three independent, most significant geometric parameters of reinforced concrete stairwells were established – the height of the solid base, the thickness of the protective layer of the lower row of reinforcing bars, and the length of the span.

Therefore, the ranges of the most significant structural geometric parameters of reinforced concrete stairwells were used to build a regression dependence of the fire resistance limit on these parameters in order to design a full factorial numerical experiment.

After proving the adequacy of the results obtained according to the regression dependence, tables were constructed with the geometric parameters of reinforced concrete stairwells to determine the compliance of these structures with the required fire resistance class. The use of these tables will make it possible to reduce the risks of threats to human life and health during a fire by determining the possibility of using these structures with a guaranteed fire resistance class during design.

**Keywords:** stairwell flight, fire, tabular method, refined method, fire tests.

#### References

- Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2016). Increase of accuracy of definition of temperature by sensors of fire alarms in real conditions of fire on objects. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (82)), 38–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75063>
- Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (95)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142995>
- Pospelov, B., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Karpets, K., Petukhova, O., Bezuhla, Y. et al. (2020). A method for preventing the emergency resulting from fires in the premises through operative control over a gas medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (103)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194009>
- Hajiloo, H., Green, M. F. (2019). GFRP reinforced concrete slabs in fire: Finite element modelling. *Engineering Structures*, 183, 1109–1120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.028>
- Hvozd, V., Tishchenko, E., Berezovskyi, A., Sidnei, S. (2021). Research of Fire Resistance of Elements of Steel Frames of Industrial Buildings. *Materials Science Forum*, 1038, 506–513. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.506>
- Kovalov, A., Otrosh, Y., Chernenko, O., Zhuravskij, M., Anszczak, M. (2021). Modeling of Non-Stationary Heating of Steel Plates with Fire-Protective Coatings in Ansys under the Conditions of Hydrocarbon Fire Temperature Mode. *Materials Science Forum*, 1038, 514–523. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1038.514>
- World Fire Statistics. Available at: <https://www.ctif.org/world-fire-statistics>
- Concrete Reinforcing Steel Institute - CRSI (2015). Fire Resistance of Reinforced Concrete Buildings. CRSI Technical Note ETN-B-1-16. Schaumburg, Illinois, 6.
- Nuianzin, O., Sidnei, S., Zayika, P., Fedchenko, S., Alimov, B. (2021). Determining the Dependence of Fire Parameters in a Cable Tunnel on its Characteristics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1021 (1), 012023. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1021/1/012023>
- Nuianzin, O., Pozdieiev, S., Sidnei, S., Kostenko, T., Borysova, A., Samchenko, T. (2023). Increasing the Efficiency and Environmental Friendliness of Fire Resistance Assessment Tools for Load-Bearing Reinforced Concrete Building Structures. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24 (4), 138–146. doi: <https://doi.org/10.12912/27197050/161923>
- Kovalov, A., Purdenko, R., Otrosh, Y., Tomenko, V., Rashkevich, N., Shcholokov, E. et al. (2022). Assessment of fire resistance of fireproof reinforced concrete structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (119)), 53–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266219>
- BS 476-20:1987 Fire tests on building materials and structures. Method for determination of the fire resistance of elements of construction (general principles) (AMD 6487). Available at: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=13546>
- Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
- Piloto, P. A., Balsa, C., Santos, L. M., Kimura, É. F. (2020). Effect of the load level on the resistance of composite slabs with steel decking under fire conditions. *Journal of Fire Sciences*, 38 (2), 212–231. doi: <https://doi.org/10.1177/0734904119892210>
- Shnal, T., Pozdieiev, S., Yakovchuk, R., Nekora, O. (2020). Development of a Mathematical Model of Fire Spreading in a Three-Storey Building Under Full-Scale Fire-Response Tests. *Proceedings of EcoComfort 2020*, 419–428. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9\\_51](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_51)
- Otrosh, Y., Surianinov, M., Golodnov, A., Starova, O. (2019). Experimental and Computer Researches of Ferroconcrete Beams at High-Temperature Influences. *Materials Science Forum*, 968, 355–360. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.968.355>
- Pozdieiev, S., Nizhnyk, V., Feshchuk, Y., Nekora, V., Nuianzin, O., Shnal, T. (2021). Investigation of the influence of the configuration of the fire furnace chamber on the temperature regime during the implementation of tests for fire resistance. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239235>
- Nesen, I. (2022). Research of the behavior of a reinforced concrete staircase in the conditions of the thermal influence of fire. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 2 (14), 143–152. doi: [https://doi.org/10.33269/nvzc.2022.2\(14\).143-152](https://doi.org/10.33269/nvzc.2022.2(14).143-152)
- EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.2.2004.pdf>
- BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014. Eurocode 2: Design of concrete structures General rules and rules for buildings. Available at: <https://www.en-standard.eu/bs-en-1992-1-1-2004-a1-2014-eurocode-2-design-of-concrete-structures-general-rules-and-rules-for-buildings/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285419

#### DETERMINING THE INFLUENCE OF HIGHER HARMONICS OF NONLINEAR TECHNOLOGICAL LOAD IN DYNAMIC ACTION SYSTEMS (p. 79–88)

Ivan Nazarenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-3687>

**Oleg Dedov**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>

**Iryna Bernyk**

Vinnitsia National Agrarian University,  
Vinnitsia, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>

**Arthur Onyshchenko**

National Transport University,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Andrii Bondarenko**

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Odessa, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4594-6399>

**Roman Lisnevskiy**

National Transport University,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1128-913X>

**Volodymyr Slyusar**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4332-3144>

This paper considers the influence of higher harmonics in dynamic action systems due to their complex movement in the process of interaction with the technological load. The object of research is the process of propagation of oscillations in complex dynamic systems. One of the problems in the application of oscillatory processes is the consideration of higher harmonics in the overall movement of systems. To solve the problem, the idea of using a hybrid model that takes into account both discrete and distributed parameters was proposed. The resulting mathematical discrete model in the analytical equations of motion of the dynamic system preserves continuous properties in the form of wave coefficients. These coefficients in their analytical form take into account the contribution of higher harmonics of both the reactive (elastic-inertial) and active (dissipative) components of the resistance force. The studies were carried out on a model of a plant with a multimode spectrum of oscillations and a nonlinear dynamic system, which is a system with piecewise linear characteristics. A series of experimental studies with a wide variation of the change in the frequency of oscillations was carried out on the installation with a multimode spectrum of oscillations. Zones of manifestation of higher harmonics along the vertical axis of force action were revealed. The given spectrum at the exciter frequency of 35 Hz showed the manifestation of the spectrum component (around 70 Hz) along the X axis, which is an important result for practical application. For a system with piecewise linear characteristics, the manifestation of multimode, which manifests itself in the form of subharmonic and superharmonic oscillations, was determined. The contribution of each harmonic is determined by applying the obtained dependences. The results were used in the development of algorithms and calculation methods of a new class of dynamic action systems taking into account the contribution of higher harmonics.

**Keywords:** dynamic system, technological load, continuous model, spectral characteristic, oscillation frequency.

**References**

- Skurativskiy, S., Kendzera, O., Mykulyak, S., Semenova, Y., Skurativska, I. (2023). Seismic response assessment of a weakly nonlinear soil deposit. *Journal of Applied Geophysics*, 211, 104970. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2023.104970>

- Connolly, D. P., Kouroussis, G., Giannopoulos, A., Verlinden, O., Woodward, P. K., Forde, M. C. (2014). Assessment of railway vibrations using an efficient scoping model. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 58, 37–47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.12.003>
- Cleante, V. G., Brennan, M. J., Gatti, G., Thompson, D. J. (2017). On the spectrum of rail vibration generated by a passing train. *Procedia Engineering*, 199, 2657–2662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.532>
- Cacciola, P., Banjanac, N., Tombari, A. (2017). Vibration Control of an existing building through the Vibrating Barrier. *Procedia Engineering*, 199, 1598–1603. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.065>
- Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Kyzminec, M., Oryshchenko, S., Fedorenko, O., Tsepelev, S. (2021). Research of processes of producing materials by technical power loading systems. *Dynamic processes in technological technical systems*, 14–42. <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch2>
- Luhovskiy, O., Bernyk, I., Gryshko, I., Abdulina, D., Zilinskyi, A. (2020). Mobile Equipment for Ultrasonic Cavitation Inactivation of Microorganisms in the Liquid Environment. *Advances in Hydraulic and Pneumatic Drives and Control 2020*, 272–281. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8_24)
- Karamooz Mahdiabadi, M., Tiso, P., Brandt, A., Rixen, D. J. (2021). A non-intrusive model-order reduction of geometrically nonlinear structural dynamics using modal derivatives. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 147, 107126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107126>
- Nazarenko, I., Svidersky, A., Kostenyuk, A., Dedov, O., Kyzminec, N., Slipetskiy, V. (2020). Determination of the workflow of energy-saving vibration unit with polyphase spectrum of vibrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (103)), 43–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.0.184632>
- Nazarenko, I., Dedov, O., Delembovskiy, M., Mishchuk, Y., Nesterenko, M., Zalisko, I., Slipetskiy, V. (2021). Research of stress-strain state of elements of technological technical constructions. *Dynamic processes in technological technical systems*, 140–179. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch8>
- Jia, Y., Seshia, A. A. (2014). An auto-parametrically excited vibration energy harvester. *Sensors and Actuators A: Physical*, 220, 69–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.09.012>
- Liang, H., Hao, G., Olszewski, O. Z., Pakrashi, V. (2022). Ultra-low wide bandwidth vibrational energy harvesting using a statically balanced compliant mechanism. *International Journal of Mechanical Sciences*, 219, 107130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2022.107130>
- Kavyanpoor, M., Shokrollahi, S. (2019). Dynamic behaviors of a fractional order nonlinear oscillator. *Journal of King Saud University - Science*, 31 (1), 14–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.03.006>
- Rallu, A., Berthoz, N., Charlemagne, S., Branque, D. (2023). Vibrations induced by tunnel boring machine in urban areas: In situ measurements and methodology of analysis. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 15 (1), 130–145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2022.02.014>
- Giagopoulos, D., Arailopoulos, A., Dertimanis, V., Papadimitriou, C., Chatzi, E., Grompanopoulos, K. (2017). Computational Framework for Online Estimation of Fatigue Damage using Vibration Measurements from a Limited Number of Sensors. *Procedia Engineering*, 199, 1906–1911. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.424>

15. Yamamoto, G. K., da Costa, C., da Silva Sousa, J. S. (2016). A smart experimental setup for vibration measurement and imbalance fault detection in rotating machinery. *Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing*, 4, 8–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csmssp.2016.07.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281425

**CONSTRUCTION OF A PHYSICAL-MATHEMATICAL MODEL OF OSCILLATIONS OF THE UNBALANCED VIBRATOR OF THE PNEUMATIC SORTING TABLE (p. 89–97)**

**Maksym Slipchenko**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9728-661X>

**Vadym Bredykhin**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5956-5458>

**Liliia Kis-Korkishchenko**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5380-8052>

**Andrey Pak**

State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3140-3657>

**Oleksiy Alforyov**

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0357-3141>

A physical-mathematical model of oscillations of unbalanced vibrators of a pneumatic sorting table as non-stationary oscillations of an impulse-loaded round plate with various options for fixing its contour has been built. The axisymmetric non-stationary oscillations of a round plate supported by a one-sided round base were considered in two ways of fixing its contour, namely, when it is tightly clamped and freely supported. It was assumed that the linearly elastic base resists only compression and does not perceive stretching. It is shown that for certain durations of the transverse force pulse in time, the amplitude of the deflection of the middle of the plate in the direction of action of the external pulse can be smaller than the amplitude of the deflection in the opposite direction. At the same time, in the second case, there is no contact of the plate with the base. It has been proven that this dynamic effect of the asymmetry of the elastic characteristic of the system also applies to bending moments and is more clearly manifested when the contour is freely supported than when it is tightly clamped. For rectangular and sinusoidal pulses, closed-loop solutions of the equations of motion of the plate during its contact with the base and after separation from the base were constructed. Compact formulas were derived for calculating the amplitudes of positive and negative deflections in both directions from the zero position of static equilibrium. Formulas have been obtained for calculating the time it takes for the plate to obtain extreme deflection values, which is achieved due to the selection of a special axisymmetric distribution of dynamic pressure on the plate. Under such a load, the plate simultaneously detaches from the base at all points, except for the contour points, which reduces the nonlinear boundary value problem to a sequence of two linear problems. Numerical integration of the differential equation was carried out to check the reliability of the constructed analytical solutions. Adequacy of the model was proven for the following values of initial parameters: modulus of elasticity,  $2.1 \cdot 10^{11}$  Pa; the Poisson ratio of the plate material, 0.25; plate thickness, 7...10 mm;

the maximum pressure on the plate,  $4 \cdot 10^3$  Pa; the bending stiffness of the plate, 6402.6667 N·m.

**Keywords:** unbalanced vibrator, pneumatic sorting table, oscillation of a round plate, dynamic effect of asymmetry.

**References**

1. Yang, B. (2019). Machine learning-based evolution model and the simulation of a profit model of agricultural products logistics financing. *Neural Computing and Applications*, 31 (9), 4733–4759. doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-019-04072-5>
2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Holovach, I., Ihnatiev, Y. (2021). Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *Engineering for Rural Development*. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2021.20.tff139>
3. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A. et al. (2021). Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Applied Sciences*, 11 (10), 4383. doi: <https://doi.org/10.3390/app11104383>
4. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Holovach, I., Boris, A., Kiurchev, S., Ihnatiev, Y., Olt, J. (2020). Theory of motion of grain mixture particle in the process of aspiration separation. *Agronomy Research*, 18 (2), 1177–1188. doi: <https://doi.org/10.1515/AR.20.069>
5. PM 3/78 (2) Consignment inspection of seed and grain of cereals. (2021). *EPPO Bulletin*, 51 (3), 387–396. doi: <https://doi.org/10.1111/epp.12772>
6. Bredykhin, V., Gurskyi, P., Alforyov, O., Bredykhina, K., Pak, A. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of grain mass separation in a fluidized bed. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (111)), 79–86. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232017>
7. Manevich, A. I. (2020). Stability of synchronous regimes in unbalanced rotors on elastic base. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 235 (20), 4735–4748. doi: <https://doi.org/10.1177/0954406220920325>
8. Dreizler, R. M., Lüdde, C. S. (2010). *Dynamics I: Axioms and Conservation Laws*. Graduate Texts in Physics, 67–137. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-11138-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-11138-9_3)
9. Smetankina, N., Merkulova, A., Merkulov, D., Postnyi, O. (2021). Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020*, 267–276. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_22)
10. Hu, Y.-T., Huang, Y.-Y., Li, S.-P., Zhong, W.-F. (1999). The effects of bridging in a 3D composite on buckling, postbuckling and growth of delamination. *Archive of Applied Mechanics (Ingenieur Archiv)*, 69 (6), 419–428. doi: <https://doi.org/10.1007/s004190050231>
11. Akavci, S. S., Yerli, H. R., Dogan, A. (2007). The first order shear deformation theory for symmetrically laminated composite plates on elastic foundation. *The Arabian journal for science and engineering*, 32 (2B), 341–348. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/288690011\\_The\\_first\\_order\\_shear\\_deformation\\_theory\\_for\\_symmetrically\\_laminated\\_composite\\_plates\\_on\\_elastic\\_foundation](https://www.researchgate.net/publication/288690011_The_first_order_shear_deformation_theory_for_symmetrically_laminated_composite_plates_on_elastic_foundation)
12. Birman, V. (2008). Shape memory elastic foundation and supports for passive vibration control of composite plates. *International Journal of Solids and Structures*, 45 (1), 320–335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2007.08.023>
13. Popov, V., Kyrylova, O. (2020). A Dynamic Contact Problem of Torsion that Reduces to the Singular Integral Equation with Two Fixed Singularities. *Proceedings of the Third International Conference on Theoretical, Applied and Experimental Mechanics*, 187–192. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-47883-4_35)

14. Zenkour, A. M. (2011). Bending of orthotropic plates resting on Pasternak's foundations using mixed shear deformation theory. *Acta Mechanica Sinica*, 27 (6), 956–962. doi: <https://doi.org/10.1007/s10409-011-0515-z>
15. Ugrimov, S., Tormosov, Yu., Kutsenko, V., Lebedinets, I. (2014). Modeling of the stress-strain state of layered orthotropic plates on elastic foundation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (71)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.27632>
16. Dehghany, M., Farajpour, A. (2014). Free vibration of simply supported rectangular plates on Pasternak foundation: An exact and three-dimensional solution. *Engineering Solid Mechanics*, 2 (1), 29–42. doi: <https://doi.org/10.5267/j.esm.2013.12.001>
17. Setooden, A., Azizi, A. (2015). Bending and free vibration analyses of rectangular laminated composite plates resting on elastic foundation using a refined shear deformation theory. *Iranian Journal of Materials Forming*, 2 (2), 1–13. doi: <https://doi.org/10.22099/ijmf.2015.3236>
18. Zenkour, A. M., Radwan, A. F. (2019). Hygrothermo-mechanical buckling of FGM plates resting on elastic foundations using a quasi-3D model. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 20 (2), 85–98. doi: <https://doi.org/10.1080/15502287.2019.1568618>
19. Olshanskii, V., Olshanskii, S. (2018). On the effect of non-symmetry of the powerful characteristics of the vibration system in mechanical impact. *Vibratsiiv i tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, 2, 36–40. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvtt\\_2018\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvtt_2018_2_7)
20. Olshanskiy, V., Slipchenko, M. (2021). Dynamic effect of asymmetry in oscillating systems. *InterConf*, 50. Available at: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/11463>
21. Yatsun, V., Filimonikhina, I., Podoprygora, N., Hurievska, O. (2018). Motion equations of the singlemass vibratory machine with a rotaryoscillatory motion of the platform and a vibration exciter in the form of a passive autobalancer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (96)), 58–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150339>
22. Olshanskii, V. P., Burlaka, V. V., Slipchenko, M. V. (2019). Dynamics of Impulse-Loaded Beam with One-Sided Support Ties. *International Applied Mechanics*, 55 (5), 575–583. doi: <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00979-7>
23. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285865

**SUBSTANTIATING PROMISING TECHNICAL SOLUTIONS FOR TURBO- EXPANDER POWER PLANTS BASED ON THE RESEARCH INTO WORKING PROCESSES AND STATES (p. 98–105)**

**Mykola Tkachuk**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>

**Gennadiy Lvov**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0297-9227>

**Sergey Kravchenko**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2882-7814>

**Serhii Moiseiev**

PJSC “Turbogaz”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3978-0823>

**Maksym Novikov**

PJSC “Turbogaz”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4169-6046>

**Arkadii Burniashev**

PJSC “Turbogaz”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1417-7373>

**Glib Pakki**

PJSC “Turbogaz”, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2722-2572>

**Serhii Podrieza**

Corporation Ukrainian Center of Expertise and Certification  
of Aviation Equipments (Corporation UKRECA), Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2396-9570>

One of the most rational methods of energy utilization of compressed gas in pipelines is to use turbo-expander installations. In particular, these are autonomous turbo-expander power stations. A fundamentally new concept has been devised to improve the technical and economic performance of this type of machines. This concept is not focused on a separate aspect of the plant's operation but on their entire set. In particular, physical principles, structures, and technologies were considered as an object of research. First, effective parameters of gas-dynamic flows and heat-mass transfer were determined based on the modeling of work processes. Secondly, progressive designs of turbo-expander units have been created. Thirdly, technologies for the production of parts and assemblies of turbo-expander units have been developed, which combine, unlike the traditional ones, different types of strengthening for contacting parts in their pair. A method of parametric modeling was used to substantiate the technical solutions of the elements of turbo-expander power plants. This makes it possible to determine the technical characteristics of these installations under a certain set of parameters. By purposeful variation, a recommended set of their parameters was determined, which ensure the improvement of the most important technical characteristics. A specialized database was built, which contains an array of information about the regularities of the influence of variation of significant parameters on various characteristics of turbo-expander power plants. Already on this basis, the problems of synthesis of successful technical solutions of turbo-expander power plants are solved. As a result, their high energy efficiency is ensured. Thus, the efficiency of the expander was achieved at the level of 86 % while the resource increased by 20–25 %. All these solutions were implemented in a number of unique turbo-expander units. Their effectiveness has been demonstrated during operation.

**Keywords:** discrete-continuous strengthening, contact interaction, stressed-strained state, technical characteristics, turbo-expander, heat and mass transfer.

**References**

1. Avetian, T., Rodriguez, L. (2020). Fundamentals of turboexpander design and operation. Available at: <https://fliphtml5.com/gktj/sepi/basic>
2. Logan Jr., E. (2003). *Handbook of Turbomachinery*. CRC Press, 880. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203911990>
3. Dixon, S. L., Hall, C. A. (2010). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/c2009-0-20205-4>

4. Simms, J. (2009). Fundamentals of Turboexpanders “basic theory and design”. Available at: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5236f8abd039b1146f66ab16&assetKey=AS%3A272141839208458%401441895078987>
5. Saravanamuttoo, H. I. H., Cohen, H., Rogers, G. F. C. (2008). Gas Turbine Theory. Pearson. Available at: <https://soaneemrana.org/onewebmedia/GAS%20TURBINE%20THEORY%20BY%20HIH%20SARAVANAMUTTOO,%20H.%20COHEN%20&%20GFC%20ROGERS.pdf>
6. White, F. (2008). Fluid Mechanics. McGraw-Hill. Available at: [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM240/Marchi/Bibliografia/White\\_2011\\_7ed\\_Fluid-Mechanics.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM240/Marchi/Bibliografia/White_2011_7ed_Fluid-Mechanics.pdf)
7. Kundu, P., Cohen, I., Dowling, D. (2016). Fluid mechanics. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/c2012-0-00611-4>
8. Korpela, S. A. (2011). Principles of Turbomachinery. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118162477>
9. Gorla, R. S. R., Khan, A. A. (2003). Turbomachinery Design and Theory. CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203911600>
10. Expander-generator. Available at: [https://turbogaz.com.ua/uk/equipment/dgu\\_ua](https://turbogaz.com.ua/uk/equipment/dgu_ua)
11. Moiseev, A. N. (2015). Energoeffektivnaya turboelektromekhanicheskaya sistema dlya gazoraspredelitel'nykh stantsiy. Visnyk NTU «KhPI», 12 (1121), 356–359. Available at: [http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2015\\_12\\_0.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2015_12_0.pdf)
12. Kuprygin, O., Moiseev, S., Pastukhova, E., Polivanov, V. (2005). Utilizatsionnye turbodetandernye agregaty OAO «Turbogaz». Energetica Moldovei. Aspecte regionale de dezvoltare. Ediția I. Chișinău, 260–265. Available at: [https://ibn.idsi.md/vizualizare\\_articol/64789](https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/64789)
13. Fluitech Systems. Available at: <http://fluitech.com.ua/>
14. Marchenko, A., Grabovskiy, A., Tkachuk, M., Shut, O., Tkachuk, M. (2021). Detuning of a Supercharger Rotor from Critical Rotational Velocities. Advances in Design, Lecture Notes in Mechanical Engineering, 137–145. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_14)
15. Tkachuk, M., Shut, O., Marchenko, A., Grabovskiy, A., Lipeiko, A., Polyviachuk, A. et al. (2021). Strength and Stability Criteria Limiting Geometrical Dimensions of a Cantilever Impeller. SAE Technical Paper Series. doi: <https://doi.org/10.4271/2021-01-5056>
16. Marchenko, A., Pylyov, V., Linkov, O. (2021). Estimation of Strength of the Combustion Chamber of the ICE Piston with a TBC Layer. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2020, 415–426. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_35)
17. Tkachuk, M. M., Grabovskiy, A., Tkachuk, M. A., Zarubina, A., Lipeyko, A. (2021). Analysis of elastic supports and rotor flexibility for dynamics of a cantilever impeller. Journal of Physics: Conference Series, 1741 (1), 012043. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012043>
18. Marchenko, A., Tkachuk, M. A., Kravchenko, S., Tkachuk, M. M., Parsadanov, I. (2020). Experimental Tests of Discrete Strengthened Elements of Machine-Building Structures. Advanced Manufacturing Processes, 559–569. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40724-7_57)
19. Subbotina, V., Sobol, O. (2020). Structure and properties of micro-arc oxide coatings on high-temperature aluminum alloy. Machines. Technologies. Materials, 14 (6), 247–250. Available at: <https://stumejournals.com/journals/mtm/2020/6/247>
20. Subbotina, V., Sobol, O., Belozero, V., Subbotin, A., Smyrnova, Y. (2020). A study of the phase-structural engineering possibilities of coatings on D16 alloy during micro-arc oxidation in electrolytes of different types. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (12 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209722>
21. Subbotina, V. V., Al-Qawabeha, U. F., Sobol', O. V., Belozero, V. V., Schneider, V. V., Tabaza, T. A., Al-Qawabeh, S. M. (2019). Increase of the  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phase content in MAO-coating by optimizing the composition of oxidated aluminum alloy. Functional materials, 26 (4), 752–758. doi: <https://doi.org/10.15407/fm26.04.752>
22. Subbotin, O., Bilozero, V., Volkov, O., Subbotina, V., Shevtsov, V. (2022). Friction properties of mao coatings on aluminum alloys. Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: Engineering and CAD, 2, 59–63. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.2.07>
23. Asquith, D., Yerokhin, A., James, N., Yates, J., Matthews, A. (2013). Evaluation of Residual Stress Development at the Interface of Plasma Electrolytically Oxidized and Cold-Worked Aluminum. Metallurgical and Materials Transactions A, 44 (10), 4461–4465. doi: <https://doi.org/10.1007/s11661-013-1854-0>
24. Dean, J., Gu, T., Clyne, T. W. (2015). Evaluation of residual stress levels in plasma electrolytic oxidation coatings using a curvature method. Surface and Coatings Technology, 269, 47–53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.11.006>
25. Matyukina, E., Arrabal, R., Mohedano, M., Mingo, B., Gonzalez, J., Pardo, A., Merino, M. C. (2017). Recent advances in energy efficient PEO processing of aluminium alloys. Transactions of Non-ferrous Metals Society of China, 27 (7), 1439–1454. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(17\)60166-3](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(17)60166-3)
26. Martin, J., Leone, P., Nominé, A., Veys-Renaux, D., Henrion, G., Belmonte, T. (2015). Influence of electrolyte ageing on the Plasma Electrolytic Oxidation of aluminium. Surface and Coatings Technology, 269, 36–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.11.001>
27. Tkachuk, N. A., Kravchenko, S. A., Pylev, V. A., Parsadanov, I. V., Grabovsky, A. V., Veretelnik, O. V. (2019). Discrete and Continual Strengthening of Contacting Structural Elements: Conception, Mathematical and Numerical Modeling. Nauka i tekhnika, 18 (3), 240–247. URL: <https://sat.bntu.by/jour/article/view/1980/1794>
28. Paggi, M., Barber, J. R. (2011). Contact conductance of rough surfaces composed of modified RMD patches. International Journal of Heat and Mass Transfer, 54 (21-22), 4664–4672. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.06.011>
29. Zavarise, G., Borri-Brunetto, M., Paggi, M. (2007). On the resolution dependence of micromechanical contact models. Wear, 262 (1-2), 42–54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.03.044>
30. Pohrt, R., Popov, V. L. (2013). Contact Mechanics of Rough Spheres: Crossover from Fractal to Hertzian Behavior. Advances in Tribology, 2013, 1–4. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/974178>
31. Pohrt, R., Popov, V. L. (2013). Contact stiffness of randomly rough surfaces. Scientific Reports, 3 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep03293>
32. Liu, J., Ke, L., Zhang, C. (2021). Axisymmetric thermoelastic contact of an FGM-coated half-space under a rotating punch. Acta Mechanica, 232 (6), 2361–2378. doi: <https://doi.org/10.1007/s00707-021-02940-7>
33. Liu, T.-J., Yang, F., Yu, H., Aizikovitch, S. M. (2019). Axisymmetric adhesive contact problem for functionally graded materials coating based on the linear multi-layered model. Mechanics Based Design of Structures and Machines, 49 (1), 41–58. doi: <https://doi.org/10.1080/15397734.2019.1666721>
34. Martyniak, R. M., Prokopyshyn, I. A., Prokopyshyn, I. I. (2015). Contact of Elastic Bodies with Nonlinear Winkler Surface Layers. Journal of Mathematical Sciences, 205 (4), 535–553. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-015-2265-0>
35. Tkachuk, M. (2018). A numerical method for axisymmetric adhesive contact based on kalker's variational principle. Eastern-European

- Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (93)), 34–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.132076>
36. Tkachuk, M., Grabovskiy, A., Tkachuk, M., Hrechka, I., Sierykov, V. (2021). Contact Interaction of a Ball Piston and a Running Track in a Hydrovolumetric Transmission. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 195–203. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77823-1_20)
  37. Vollebregt, E. A. H. (2012). 100-fold speed-up of the normal contact problem and other recent developments in «CONTACT». *Proceedings of the 9th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*. Chengdu. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/286332997\\_100-fold\\_speed-up\\_of\\_the\\_normal\\_contact\\_problem\\_and\\_other\\_recent\\_developments\\_in\\_contact](https://www.researchgate.net/publication/286332997_100-fold_speed-up_of_the_normal_contact_problem_and_other_recent_developments_in_contact)
  38. Li, J., Berger, E. J. (2003). A semi-analytical approach to three-dimensional normal contact problems with friction. *Computational Mechanics*, 30 (4), 310–322. doi: <https://doi.org/10.1007/s00466-002-0407-y>
  39. Motreanu, D. (2001). Eigenvalue problems for variational-hemivariational inequalities in the sense of P. D. Panagiotopoulos. *Non-linear Analysis*, 47 (8), 5101–5112. doi: [https://doi.org/10.1016/s0362-546x\(01\)00620-4](https://doi.org/10.1016/s0362-546x(01)00620-4)

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286325**

**DEVELOPMENT OF A LAYER LEVELING TECHNOLOGY THAT REDUCES THE ENERGY INTENSITY OF THE PROCESSES OF MIXING AND DRYING THE FODDER MASS (p. 106–115)**

**Tokhtar Abilzhanuly**

Scientific Production Center of Agricultural Engineering, LLP,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9513-1702>

**Ruslan Iskakov**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>

**Sultanbek Issenov**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

**Gulmira Kubentaeva**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4108-8531>

**Indira Mamyrbayeva**

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,  
Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-0488-3767>

**Daniyar Abilzhanov**

Scientific Production Center of Agricultural Engineering, LLP,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7930-0481>

**Altyngul Khaimuldinova**

L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Astana, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4629-6954>

**Nurakhmet Khamitov**

Kazakh National Agrarian Research University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-1880-8361>

The object of the study is to determine the required power leveling device grinder-mixer-dryer. When operating equipment that combines grinding, mixing and drying in one device, there are such problems as energy intensity, the lack of calculation formulas for the theoretical determination of the required power, which makes it difficult to plan the energy intensity of the equipment. As a result of the research, a constructive-technological scheme of the grinder-mixer-dryer equipped with a leveling device was developed. The leveling device, rotating in opposite directions, moves the raised fodder mass to the end walls of the bunker. The operation of the screed tines eliminates excessive forage lift and speeds up the mixing process by moving the forage evenly across the entire width of the bin. The acceleration of the drying process of wet food is explained by the fact that new portions of wet food are constantly exposed to hot air. As a result of theoretical studies an analytical expression was obtained to determine the required power for the process of leveling the layer of forage mass and the required power for the process of leveling the layer of forage mass  $N_T=0.286$  kW was determined. The results of the experimental determination of the required power for the process of leveling the forage mass layer showed the following value  $N_E=0.273$  kW, i.e. the difference between theoretical and actual value is only 4.76 %. This proves the reliability of the obtained analytical expression, which provides the definition of the main parameter of the grinder-mixer-dryer, i.e. required power leveling device. The proposed device and the resulting analytical expression can also be used in feed mixers.

**Keywords:** grinder-mixer-dryer, leveling device, required power, forage mass, layer to be removed.

**References**

1. Rajendran, D., Ezhuthupurakkal, P. B., Lakshman, R., Gowda, N. K. S., Manimaran, A., Rao, S. B. (2022). Application of encapsulated nano materials as feed additive in livestock and poultry: a review. *Veterinary Research Communications*, 46 (2), 315–328. doi: <https://doi.org/10.1007/s11259-022-09895-7>
2. Iskakov, R., Sugirbay, A. (2023). Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. *Sustainability*, 15 (3), 2278. doi: <https://doi.org/10.3390/su15032278>
3. Konstantinovskaya, M. A. (2016). Polucheniye tekhnologii gidrolizatorov i kormovoy biomassy iz otkhoda proizvodstva kostnoy muki. *Shchelkovo*, 23.
4. Hendriks, W. H., Butts, C. A., Thomas, D. V., James, K. A. C., Morel, P. C. A., Verstegen, M. W. A. (2002). Nutritional Quality and Variation of Meat and Bone Meal. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15 (10), 1507–1516. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.1507>
5. Jia, S., Li, X., He, W., Wu, G. (2021). Protein-Sourced Feedstuffs for Aquatic Animals in Nutrition Research and Aquaculture. *Recent Advances in Animal Nutrition and Metabolism*, 237–261. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_12)
6. Farmanesh, A., Mohtasebi, S. S., Omid, M. (2019). Optimization of rendering process of poultry by-products with batch cooker model monitored by electronic nose. *Journal of Environmental Management*, 235, 194–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.049>
7. Awasthi, K. S., Gopireddy, S. R., Scherließ, R., Urbanetz, N. A. (2019). Numerical Investigation of Screw Design Influence on Screw Feeding in a Roller Compactor. *6th International Conference on Particle-Based Methods. Fundamentals and Applications, Particles*, 444–455. Available at: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/186638/Particles\\_2019-41-Numerical%20investigation%20of%20screw.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/186638/Particles_2019-41-Numerical%20investigation%20of%20screw.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

8. Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Abilzhanov, D., Darkhan, O. (2023). Determination of the average size of preliminary grinded wet feed particles in hammer grinders. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (121)), 34–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.268519>
9. Al-Souti, A., Gallardo, W., Claereboudt, M., Mahgoub, O. (2019). Attractability and palatability of formulated diets incorporated with chicken feather and algal meals for juvenile gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture Reports*, 14, 100199. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100199>
10. Vasilenko, V. N., Frolova, L. N., Mikhailova, N. A., Dragan, I. V. (2021). Innovative technology to obtain forage flour from keratin-containing waste by extrusion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640 (2), 022010. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022010>
11. Castro-Bedriñana, J., Chirinos-Peinado, D. (2021). Nutritional value of some raw materials for guinea pigs (*Cavia porcellus*) feeding. *Translational Animal Science*, 5 (2). doi: <https://doi.org/10.1093/tas/txab019>
12. Li, S., Li, H., He, Z. (2017). Optimization of preparation process of nanometer rabbit bone meal by ball milling. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33 (14), 300–306.
13. Pavlov, I. N., Kunichan, V. A., Kosmina, I. V. (2008). Technology of Thermo-Hydro Grinding when Drying Non-Rigid Mass in Blade Mixer. *Transactions TSTU*, 14 (3), 630–631. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-termovlazhnostnogo-izmelcheniya-pri-sushke-nezhestkih-mass-v-lopastnom-smesitele/viewer>
14. Savinyh, P., Isupov, A., Ivanov, I., Ivanovs, S. (2021). Research in centrifugal rotary grinder of forage grain. *Engineering for Rural Development*. doi: <https://doi.org/10.22616/erdev.2021.20.tf044>
15. Iskakov, R. M., Iskakova, A. M., Nurushev, M. Z., Khaimuldinova, A. K., Karbayev, N. K. (2021). Method for the Production of Fat from Raw Materials and Animal Waste. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 15 (2), 716–724. doi: <https://doi.org/10.22207/jpam.15.2.23>
16. Manzhosov, V. K., Novikova, O. D., Novikov, A. A. (2011). *Teoreticheskaya mekhanika. Chast' II. Dinamika. Analiticheskaya mekhanika*. Ul'yanovsk: UlGTU, 194.
17. Osipov, A. V. (2014). *Lektsii po vysshey matematike*. Sankt-Peterburg: «Lan'», 320.
18. Gur'yanova, K. N. (2014). *Matematicheskiy analiz*. Ekaterinburg: Uralskiy universitet, 330.
19. Usmanov, A. S. (2010). *Mashiny dlya agropromyshlennogo kompleksa*. Almaty: Inzhu Marzhan, 500.
20. Pat. No. 0219RK00538. *Razrabotka tekhnologiy i opytnogo obraztsa peredvizhnogo minikormotsekha dlya prigotovleniya i razdachi kormosmesey v melkikh krest'yanskikh khozyaystvakh* (2019). No. 0118RK00987.
21. Abilzhanov, D. T., Abilzhanuly, T., Uteshev, V. L., Smagulov, T. A., Golikov, V. A., Seipataliyev, O. Y. (2022). Pat. No. 35587KZ. *Feed mixer*. published: 08.05.2022.



АНОТАЦІЇ  
APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284982

**РОЗРОБКА ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СФЕРИЧНИХ АНАЛОГІВ ЕВОЛЬВЕНТИ КОЛА І ЦИКЛОЇДИ (с. 6–12)**

А. В. Несвідомін, С. Ф. Пилипака, Т. М. Воліна, М. В. Каленик, І. С. Шуляк, Ю. І. Семірненко, Н. В. Тарельник, І. Ю. Грищенко, Ю. В. Холодняк, Л. В. Серих

Про спільні властивості зображень на площині і сфері відзначається у наукових працях вчених-проектувальників сферичних механізмів. Зумовлено це тим, що площину і сферу об'єднують спільні геометричні параметри. До них відноситься постійність у всіх точках Гауссової кривини, яка для площини має нульове значення, а для сфери – додатне. По обох поверхнях фігури, що їм належать, можуть вільно ковзати. При необмеженому зростанні радіуса сфери обмежена її ділянка наближається до площини, а сферична фігура трансформується у плоску. Так, локсодрома, яка перетинає всі меридіани під сталим кутом, трансформується у логарифмічну спіраль, яка перетинає під сталим кутом радіус-вектори, які виходять із полюса. Профіль зубця циліндричних зачеплень окреслюється евольвентою кола. Для відповідних конічних передач застосовується сферична евольвента. Відомі і інші сферичні криві, які є аналогами плоских.

Утворення циклоїди і евольвенти кола пов'язані з взаємним коченням відрізка прямої з кожною із цих фігур. Якщо відрізок нерухомий, і коло котиться по ньому, то точка кола описує циклоїду. У випадку нерухомого кола, по якому перекочується відрізок, точка відрізка опише евольвенту. Щоб перейти до сферичних аналогів цих кривих, потрібно здійснити заміну кола на конус, а прямої на площину. Сферичним прообразом циклоїди буде траєкторія точки основи конуса, який котиться по площині, тобто по розгортці конуса. Розгорткою конуса є сектор, радіус обмежуючого кола якого рівний твірній конуса. Якщо цю розгортку, як відсік площини, обкочувати навколо нерухомого конуса, коли його вершина збігається з центром сектору, то точка обмежуючого радіуса сектора опише сферичну евольвенту. У статті аналітично реалізовано ці два рухи і отримано параметричні рівняння сферичних аналогів евольвенти кола і циклоїди.

**Ключові слова:** евольвента, циклоїда, просторові криві, параметричні рівняння, геометрична модель, сферичні аналоги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285516

**ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТ ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ ПРУЖНО ЗАКРІПЛЕНОГО ДИСКА КРУГЛОЇ ПИЛКИ (с. 13–20)**

Л. Ф. Дзюба, О. Ю. Чмир, О. В. Меньшикова, Х. І. Ліщинська

Об'єктом дослідження є диск круглої пилки. За розрахункову схему пилкового диска прийнято кільцеву в плані пластину сталю товщини з вільним зовнішнім контуром та закріпленим внутрішнім контуром. Реальні умови закріплення внутрішнього контуру відповідають пружному закріпленню пилкового диска затискними фланцями на валу верстата. Для прийнятої розрахункової схеми круглої пилки динамічною моделлю є нелінійне диференціальне рівняння четвертого порядку поперечних коливань кільцевої пластини з відповідними граничними умовами. Обертання круглої пилки враховано в динамічній моделі через радіальну силу в середній поверхні кільцевої пластини. Ця сила виникає внаслідок дії відцентрових зусиль під час обертання пилкового диска. Побудовано розв'язок нелінійного диференціального рівняння четвертого порядку чисельним методом Бубнова-Гальоркіна. Граничні умови для побудови розв'язку такі: зовнішній контур пилкового диска вважали вільним; внутрішній контур пилкового диска – пружно закріпленим з певним коефіцієнтом жорсткості.

Розв'язок реалізовано в математичному середовищі Maple 15 у вигляді розробленої програми. За отриманим частотним рівнянням визначено значення циклічних та власних частот поперечних коливань дисків круглих пилок різної товщини з однаковим радіусом внутрішнього контуру та з трьома значеннями радіусів зовнішнього контуру: 150 мм, 200 мм і 250 мм. Досліджено вплив жорсткості закріплення внутрішнього контуру та кутової швидкості обертання пилкового диска на власні частоти поперечних коливань. Дослідження виконано для пилкових дисків у разі коливань з одним, двома та трьома вузловими діаметрами. Встановлено, що жорсткість закріплення внутрішнього контуру пилкового диска має найбільший вплив на власну частоту поперечних коливань з одним вузловим діаметром.

**Ключові слова:** кругла пилка, поперечні коливання, кільцева пластина, власна частота, пружне закріплення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285421

**ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КУЗОВА НАПІВВАГОНА З РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИМИ БУНКЕРАМИ ПРИ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМАХ (с. 21–29)**

А. О. Ловська, І. І. Становська, В. П. Нерубацький, Є. О. Науменко, Д. Л. Сушко

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в несучій конструкції напіввагона з розвантажувальними бункерами. Для збільшення вантажопідйомності напіввагона, а відповідно і рентабельності залізничних перевезень, запропоновано удосконалення його конструкції. Дане удосконалення полягає у встановленні за його середньою частиною розвантажувальних бункерів. За попередніми розрахунками використання розвантажувальних бункерів збільшить корисний об'єм кузова на 2,82 м<sup>3</sup>. При цьому вантажопідйомність вагона збільшиться на 3,8 т. Відповідно і збільшиться осьове

навантаження на колісні пари. Вирішити це питання можливо шляхом використання у візках колісних пар зі збільшеним осьовим навантаженням.

В рамках дослідження проведено математичне моделювання вертикальної динаміки напіввагона при його русі у порожньому та завантаженому станах рейковою колією. Встановлено, що хід руху вагона оцінюється як “відмінний”. Проведено розрахунок на міцність кузова напіввагона при основних експлуатаційних режимах навантаження. Визначено стійкість рівноваги вагона, а також проведено його модальний аналіз.

Особливість отриманих результатів в рамках дослідження полягає у тому, що запропоноване удосконалення можливо здійснити не тільки при проектуванні нової конструкції вагона, а і модернізації.

Сферою практичного застосування результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного застосування результатів дослідження є дотримання осьового навантаження в рамках допустимих значень.

Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо покращення техніко-економічних показників вагонів, а також підвищенню рентабельності залізничних перевезень.

**Ключові слова:** напіввагон з бункерами, вертикальна динаміка вагона, міцність кузова, модальний аналіз вагона.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285894

### ВИЯВЛЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ЇХ ПОДАЛЬШОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ (с. 30–42)

О. О. Кошель, С. Ю. Сапронова, С. В. Кара

Об'єктом дослідження є показники міцності несівних конструкцій спеціального рухомого складу (думпкарів). Проблема дослідження полягає у появі однотипних тріщин в хребтових балках думпкарів, ремонт яких не передбачений діючою ремонтною документацією. Проведено аналіз несправностей, контрольні випробування, дослідження міцності розрахунковим та експериментальним шляхом.

За рахунок проведеного аналізу несправностей вагонів в експлуатації, доведено місця виникнення втомних дефектів – хребтова балка. Це дало змогу визначити конкретні зони несівних елементів, в яких при контрольних випробуваннях вагонів, на основі врахування даних про втомні дефекти, необхідно проводити заміри параметрів напруження.

Результати контрольних випробувань показали, що найменше значення коефіцієнту запасу опору втомі  $n=1,6$  для думпкара знаходиться в зоні на хребтовій балці в районі шворневої балки. Значення  $n$  знаходиться в допустимих межах.

Проведено нормативні розрахунки та додатково визначено окремий розрахунковий (аварійний) режим в програмному комплексі SolidWorks Simulation 2019 (Франція). За результатами розрахунків напружень думпкара встановлено, що максимальні еквівалентні напруження в несівних конструкціях вагона виникають під час його розвантаження за рахунок скручування, а вектори напружень знаходяться під кутом  $45^\circ$ . Під час розрахунку окремих режимів навантаження напруження перевищують допустимі значення.

Для забезпечення необхідних умов міцності запропоновано впровадження в хребтову балку думпкара підсилюючу накладку, за рахунок чого розрахункові напруження знаходяться в допустимих межах.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо відновлення думпкарів, проектування сучасних конструкцій спеціального рухомого складу та удосконалення процесів визначення міцності.

**Ключові слова:** вагон, думпкар, хребтова балка, міцність думпкара, розрахункові навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285893

### ОЦІНЮВАННЯ НАПРУЖЕНЬ ТА ВЕЛИЧИН ПЛАСТИЧНОГО ШАРНІРУ ТУНЕЛЬНОГО ШЛЯХОПРОВОДУ ІЗ ЗБІРНИХ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВОЇ ЗАСИПКИ (с. 43–53)

В. В. Ковальчук, І. А. Карнаков, А. М. Онищенко, О. В. Петренко, Р. В. Бойків

Об'єктом досліджень є тунельний шляхопровід із збірних металевих гофрованих конструкцій.

Проведено дослідження напружень та величини пластичного шарніру, що виникають у металевих гофрованих конструкціях тунельного шляхопроводу із врахуванням ступеня ущільнення та висоти ґрунтової засипки.

Встановлено, що при збільшенні висоти засипки над тунельним шляхопроводом із збірних металевих гофрованих конструкцій і зниженні ступеню ущільнення ґрунтової засипки, відбувається підвищення величин напружень та пластичного шарніру у металевих конструкціях. При висоті засипки над шляхопроводом рівній 2,75 м та величині ступеню ущільнення ґрунтової засипки  $RP=80\%$  досягаються напруження 235,89 МПа, що перевищують допустимі 235 МПа. При цьому величина пластичного шарніру складає 1,03, що перевищує нормативну 1,0.

Встановлено, що при висотах насипу над конструкціями тунельного шляхопроводу від 1,75 м до 2,0 м спостерігається найменша різниця напружень та величини пластичного шарніру. При  $RP=98\%$  різниця напружень складає 0,66 МПа, а величина пластичного шарніру – 0,008. У випадку висоти насипу над шляхопроводом від 1,5 м до 1,75 м приріст напружень склав 5,5 МПа, а величини пластичного шарніру 0,031. При збільшенні висоти насипу від 2,0 м до 2,25 м різниця напружень складає 7,57 МПа, а величини пластичного шарніру – 0,041.

Встановлено, що при збільшенні висоти насипу над шляхопроводом на 1,0 м у межах від 0,75 м до 1,75 м різниця напружень при  $RP=98\%$  збільшилася на 27,84 МПа. Проте при підвищенні висоти на 1,0 м у межах від 2,75 м до 3,75 м різниця напружень збільшилася на 12,66 МПа. При цьому величина пластичного шарніру при висотах насипу від 0,75 м до 1,75 м збільшилася на 0,139, а при висотах насипу від 2,75 м до 3,75 м – на 0,093.

**Ключові слова:** збірні металеві гофровані конструкції, тунельний шляхопровід, напруження металевих конструкцій, пластичний шарнір.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285800****ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЇ ЗА МЕХАНІЧНОЇ ДІЇ НА БЕТОННІ БАЛКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВОЛОКНИЧНОЇ РЕШІТКИ БРЕГГА (с. 54–62)****Gulim Kadirbayeva, Katipa Chezhimbayeva, Mukhabbat Khizirova, Waldemar Wojcik**

З метою вивчення закономірностей деформації та зміни бетонних конструкцій були проведені дослідження волокнистої решітки Брегга у вигляді вимірювального датчика. Волоконно-оптичні датчики мають ряд переваг: малі розміри, стійкість до електромагнітних перешкод, висока чутливість, широкий діапазон, проста конструкція, висока швидкість реакції, стійкість до корозії, геометрична універсальність і стійкість до зовнішніх впливів.

Ця робота пов'язана з розробкою характеристик і поведінки датчиків деформації, що діють на волоконну решітку Брегга, за допомогою комп'ютерного моделювання. Робота зосереджена на аналізі робочих характеристик і поведінки тензодатчиків, що діють на волоконну решітку Брегга. Датчик використовується для вимірювання деформації об'єкта, опір якого змінюється залежно від прикладеної сили. Це показано на прикладі того, як волоконна решітка Брегга може демонструвати датчики деформації. У роботі було проведено моделювання за допомогою комп'ютерної програми для моделювання роботи волоконного датчика деформації решітки Брегга.

При вимірюванні деформації використовувалися розрахунки за формулами модуля Юнга для більш точного розрахунку даних. При вимірюванні довжина хвилі вліво від 1662 нм до 1666 нм, а також постійна температура від 20 °С до 40 °С. Результати показують наступне, значення модуля Юнга становлять 23,25 Па, коефіцієнт Пуассона становить 0,167 бр, модуль пружності при зсуві становить 9,96444 Па. І в цьому відношенні результати цієї роботи показують: перше, що зміни у величині, положенні та формі деформації можна відобразити динамічний еволюційний процес деформації при згині на конструкції. Нижче наведено криву деформації, яка добре відповідає зміні прикладеного тиску, що демонструє програмне моделювання різних типів деформації.

Висновок показує, що технологія моніторингу волоконно-бреггівських сенсорів добре впливає на внутрішню деформацію та контроль механічних напружень під час модельних випробувань; він надає нові методи та засоби моніторингу для тестування моделі.

**Ключові слова:** волокно, решітка Брегга, моделювання, оптичне волокно для комунікаційних технологій, модуль Юнга.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286541****ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ У ПОВЕДІНЦІ ПОЛІЕСТЕРНОГО КОМПОЗИТУ, АРМОВАНОВОГО СКЛОВОЛОКНОМ, ПІД ЧАС ВИПРОБУВАННЯ НА УДАР НА ОСНОВІ СТАНДАРТУ ASTM D256 (с. 63–71)****Imad O. Bachi Al-Fahad, Azzam D. Hassan, Batool Mardan Faisal, Hussein kadhim Sharaf**

У цьому дослідженні було проведено аналіз коммоції на основі аналізу скінчених елементів, щоб дослідити випробування на ударну стійкість IZOD на основі стандарту ASTM D256. У моделі ANSYS для граничних умов в основному використовується композит, виготовлений із поліестеру, армованого скловолокном. Для реалізації методики впливу в експериментальному дослідженні використовувався прилад CEAST 9050. Застосовуючи математику, було підраховано, що прикладена сила становить 9,2 Н. Для удару по зразках використовується молоток, який рухається зі швидкістю 3,5 метра на секунду, і результати записуються після кожного удару. Об'єктом цього дослідження є механічні властивості та структурна цілісність композиційного матеріалу, що складається зі скловолокна та поліестеру, під впливом сил удару. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що поліефірний композит, армований скловолокном, піддається випробуванню на удар за Ізодом відповідно до ASTM D256. Збіжність між загальним показником деформації та чисельним результатом відбулася. Результати чисельного аналізу перевірено та підтверджено, а також порівняно з результатами експерименту. Зразки в цьому дослідженні були повністю спотворені при трьох різних товщинах (6 мм, 8 мм і 10 мм). Деформація виявилася найбільшою для найтоншого значення товщини, розглянутого в дослідженні (6 мм), як визначено за результатами комп'ютерного аналізу. Це було так, навіть якщо значення товщини не було єдиним критерієм. Це фактичний стан речей. Зразок був підданий напрузі фон-Мізеса при трьох різних товщинах 6 мм, 8 мм і 10 мм. Комп'ютерне дослідження показало, що напруга фон-Мізеса була найвищою при найтоншій можливій товщині всього 6 мм. Внутрішня енергія, кінетична енергія та енергія дотику – це лише деякі з різних видів енергії, які вивчалися в контексті збереження енергії.

**Ключові слова:** випробування на удар, напруження зсуву, повна деформація, статична структура, випробування ІЗОД.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286041****УДОСКОНАЛЕННЯ ТАБЛИЧНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ (с. 72–78)****I. О. Несен, С. О. Сідней, О. А. Петухова, М. М. Журавський, Є. О. Тищенко**

Проведений аналіз методів проведення оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій. За результатами встановлено, що проведення вогневих випробувань не є доцільними та шкідливими для навколишнього середовища. Застосування розрахункових методів оцінки вогнестійкості по залізобетонним сходовим маршам не передбачається можливим із-за відсутності відповідних таблиць з класами вогнестійкості для табличного методу. Використання розрахункового зонного методу також неможливо по причині відсутності температурних номограм поширення температури під час впливу стандартного температурного режиму пожежі. Описаних методик застосування розрахункового уточненого методу для залізобетонних сходових маршів також немає. Отже, використовуючи математичні моделі, було відтворено існуючий тип залізобетонного сходового маршу. За допомогою методу скінчених елементів проведені дослідження поведінки залізобетонних сходових маршів під час впливу пожежі.

За результатами цих експериментів проаналізовано, які конструктивні геометричні параметри залізобетонних сходових маршів найбільше впливають на їхню вогнестійкість. Таким чином встановлені три незалежних найбільш значущих геометричних параметри залізобетонних сходових маршів – висота суцільної основи, товщина захисного шару нижнього ряду арматурних стержнів та довжина прольоту.

Отже, було використано діапазони найбільш значущих конструктивних геометричних параметрів залізобетонних сходових маршів для створення регресійної залежності межі вогнестійкості від цих параметрів з метою складання повного факторного числового експерименту.

Після доведення адекватності результатів отриманих за регресійною залежністю створені таблиці з геометричними параметрами залізобетонних сходових маршів для визначення відповідності цих конструкцій до необхідного класу вогнестійкості. Використання цих таблиць дозволить зменшити ризики загрози життю та здоров'я людини під час пожежі за рахунок визначення можливості застосування цих конструкцій із гарантованим класом вогнестійкості при проектуванні.

**Ключові слова:** сходовий марш, пожежа, табличний метод, уточнений метод, вогневі випробування.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285419**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НЕЛІНІЙНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В СИСТЕМАХ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ (с. 79–88)**

**І. І. Назаренко, О. П. Дєдов, І. М. Берник, А. Є. Бондаренко, А. М. Онищенко, Р.С. Лісневський, В. С. Слюсар**

Досліджено вплив вищих гармонік в системах динамічної дії внаслідок їх складного руху в процесі взаємодії із технологічним навантаженням. Об'єктом досліджень є процес розповсюдження коливань у складних динамічних системах. Однією з проблем при застосуванні коливальних процесів є врахування вищих гармонік у загальному рухові систем. Для вирішення проблеми запропонована ідея використання гібридної моделі, що враховує як дискретні так і розподілені параметри. Отримана математична дискретна модель в аналітичних рівняннях руху динамічної системи зберігає континуальні властивості у вигляді хвильових коефіцієнтів. Ці коефіцієнти в своєму аналітичному вигляді враховують вклад вищих гармонік як реактивної (пружно-інерційної) так і активної (дисипативної) складової сили опору. Дослідження здійснені на моделі установки із багаторежимним спектром коливань та нелінійної динамічної системи, якою є система з кусочно-лінійними характеристиками. На установці із багаторежимним спектром коливань проведена серія експериментальних досліджень із широкою варіацією зміни частоти коливань. Виявлені зони проявлення вищих гармонік по вертикальній вісі силової дії. Наведений спектр за частоти збудника 35 Гц засвідчив проявлення складової спектру (біля 70 Гц) по вісі X, що є важливим результатом для практичного застосування. Для системи з кусочно-лінійними характеристиками визначено проявлення багаторежимності, яка проявляється у вигляді субгармонійних і супергармонійних коливань. Внесок кожної гармоніки визначається застосуванням отриманих залежностей. Отримані результати використані при розробки алгоритмів та методів розрахунку нового класу систем динамічної дії із врахуванням вкладу вищих гармонік.

**Ключові слова:** динамічна система, технологічне навантаження, континуальна модель, спектральна характеристика, частота коливань.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281425**

### **РОЗРОБКА ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОЛИВАНЬ ДЕБАЛАНСНОГО ВІБРАТОРА ПНЕВМОСОРТУВАЛЬНОГО СТОЛА (с. 89–97)**

**М. В. Сліпченко, В. В. Бредихін, Л. В. Кісь-Коркіщенко, А. О. Пак, О. І. Алфьоров**

Розроблено фізико-математичну модель коливань дебалансних вібраторів пневмосортувального стола як нестационарних коливань імпульсно навантаженої круглої пластини з різними варіантами закріплення її контуру. Розглянуто вісесиметричні нестационарні коливання круглої пластини, підкріпленої однобічною круглою основою, при двох варіантах закріплення її контуру, а саме при його жорсткому затисненні та вільному обпиранні. Уведено припущення, що лінійно-пружна основа чинить опір лише стисканню і не сприймає розтягу. Показано, що за певних тривалостей поперечного силового імпульсу в часі, амплітуда прогину середини пластини в напрямі дії зовнішнього імпульсу може бути меншою за амплітуду прогину в зворотному напрямі. При цьому в другому випадку відсутній контакт пластини з основою. Доведено, цей динамічний ефект несиметрії пружної характеристики системи стосується також згинальних моментів і більш виразно проявляється при вільному обпиранні контуру, ніж при жорсткому його затисненні. Для прямокутного та синусоїдального імпульсу побудовано замкнені розв'язки рівнянь руху пластини при її контакті з основою при та після відриву від основи. Виведено компактні формули для розрахунку амплітуд додатних і від'ємних прогинів в обидва боки від нульового положення статичної рівноваги. Одержано формули для обчислення часу отримання пластиною екстремальних значень прогинів, що досягнуто завдяки вибору спеціальної вісесиметричного розподілу динамічного тиску по пластині. За такого навантаження пластини всіма точками, крім контурних, одночасно відривається від основи, що зводить нелінійну крайову задачу до послідовності двох лінійних задач. Для перевірки вірогідності побудованих аналітичних розв'язків проведено числове інтегрування диференціального рівняння. Адекватність моделі доведена за наступних значень вихідних параметрів: модуль пружності –  $2,1 \cdot 10^{11}$  Па; коефіцієнт Пуассона матеріалу пластини – 0,25; товщина пластини – 7...10 мм; максимальний тиск на пластину –  $4 \cdot 10^3$  Па; згинальна жорсткість пластини – 6402,6667 Н·м.

**Ключові слова:** дебалансний вібратор, пневмосортувальний стіл, коливання круглої пластини, динамічний ефект несиметрії.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285865**

### **ОБІРУНТУВАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ТУРБОДЕТАНДЕРНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ (с. 98–105)**

**М. А. Ткачук, Г. І. Львов, С. О. Кравченко, С. В. Моїсєєв, М. К. Новіков, А. В. Бурняшев, Г. В. Паккі, С. М. Подреза**

Одним із найбільш раціональних методів утилізації енергії стисненого газу у трубопроводах є турбодетандерні установки. Зокрема, це – автономні турбодетандерні електричні станції. Для підвищення техніко-економічних показників такого типу машин розроблено принципово нову концепцію. Ця концепція орієнтована не на окремий аспект роботи установки, а на весь її комплекс. Зокрема,

як об'єкт досліджень розглядаються фізичні принципи, конструкції та технології. По-перше, на основі моделювання робочих процесів визначено ефективні параметри газодинамічних потоків та тепломасопереносу. По-друге, створені прогресивні конструкції турбодетандерних установок. По-третє, розроблені технології виготовлення деталей та вузлів турбодетандерних установок, що поєднують, на відміну від традиційних, різні види зміцнення для контактуючих деталей у їх парі. Для обґрунтування технічних рішень елементів турбодетандерних електростанцій застосовано метод параметричного моделювання. Це дає можливість визначати технічні характеристики цих установок за певного набору параметрів. Шляхом цілеспрямованого варіювання визначається рекомендований набір їхніх параметрів, які забезпечують підвищення найбільш важливих технічних характеристик. Формується спеціалізована база даних, яка містить масив інформації про закономірності впливу варіювання значущих параметрів на різні характеристики турбодетандерних електростанцій. Уже на цій основі розв'язуються задачі синтезу вдалих технічних рішень турбодетандерних електростанцій. У підсумку забезпечується їх висока енергоефективність. Так, досягається ККД за детандером на рівні 86 % та зростання ресурсу на 20–25 %. Усі ці рішення втілені у низці унікальних турбодетандерних установок. Їх ефективність продемонстрована у ході експлуатації.

**Ключові слова:** дискретно-континуальне зміцнення, контактна взаємодія, напружено-деформований стан, технічна характеристика, турбодетандер, тепломасоперенос.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286325

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРІВНЮВАННЯ ПЛАСТІВ, ЩО ЗНИЖУЄ ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ ТА СУШНІННЯ КОРМОВОЇ МАСИ (с. 106–115)

Tokhtar Abilzhanuly, Ruslan Iskakov, Sultanbek Issenov, Gulmira Kubentaeva, Indira Mamirbaeva, Daniyar Abilzhanov, Altyngul Khaimuldinova, Nurakhmet Khamitov

Об'єктом дослідження є визначення необхідної потужності вирівнюючого пристрою подрібнювача-змішувача-сушарки. При експлуатації обладнання, яке поєднує в одному апараті подрібнення, змішування та сушіння, виникають такі проблеми, як енергоемність, відсутність розрахункових формул для теоретичного визначення необхідної потужності, що ускладнює планування енергоемності обладнання. В результаті проведених досліджень розроблено конструктивно-технологічну схему подрібнювача-змішувача-сушарки, оснащеного вирівнювальним пристроєм. Розрівнювальний пристрій, обертаючись у протилежних напрямках, переміщує підняту кормову масу до торцевих стінок бункера. Робота витяжних зубців усуває надмірне підйом корму та прискорює процес змішування завдяки рівномірному переміщенню корму по всій ширині бункера. Прискорення процесу висихання вологого корму пояснюється тим, що нові порції вологого корму постійно піддаються впливу гарячого повітря. В результаті теоретичних досліджень отримано аналітичний вираз для визначення необхідної потужності процесу розрівнювання шару кормової маси та необхідної потужності процесу розрівнювання шару кормової маси  $N_T=0,286$  кВт було визначено. Результати експериментального визначення необхідної потужності для процесу розрівнювання шару кормової маси показали таке значення  $N_Э=0,273$  кВт, тобто різниця між теоретичним і фактичним значенням становить лише 4,76 %. Це свідчить про достовірність отриманого аналітичного виразу, який забезпечує визначення основного параметра подрібнювача-змішувача-сушарки, тобто необхідної потужності вирівнювача. Запропонований пристрій і отриманий аналітичний вираз також можуть бути використані в кормозмішувачах.

**Ключові слова:** подрібнювач-змішувач-сушарка, вирівнювальний пристрій, необхідна потужність, кормова маса, шар, що знімається.