

DOI: 10.15587/17209-4061.2024.296620

**DETERMINING THE INFLUENCE OF SANDWICH-TYPE COMPONENTS ON THE LOAD OF A HATCH COVER IN A UNIVERSAL OPEN WAGON (p. 6–13)****Alyona Lovska**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8604-1764>**Volodymyr Nerubatskyi**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4309-601X>**Oleksandr Plakhtii**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1535-8991>**Sergiy Myamlin**Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9204-4435>

The object of the study reported here is the processes of occurrence, perception, and redistribution of loads in the improved structure of the hatch cover in a universal open wagon.

In order to reduce the load on the cover of an open wagon hatch, and, accordingly, to improve its strength, it is proposed to improve its design by introducing sandwich components. The thickness of the sheets that form the hatch cover has been determined. The dynamic loading of the hatch cover in the vertical plane was studied. It was found that the accelerations acting on the hatch cover with the proposed improvement are almost 20 % lower than those acting on the typical structure. The basic strength indicators of the hatch cover under the operational modes of its load have been determined. The results of the calculation showed that the maximum stresses in the hatch cover are 22 % lower than permissible ones. In addition, within the framework of the study, the main indicators of the dynamics of the open wagon equipped with the proposed structure of hatch covers were determined. The movement of the open wagon under the condition of movement in an empty state is rated as “good”. At the same time, the maximum accelerations in the center of mass of the supporting structure of an open wagon were 4.6 m/s<sup>2</sup>, and the coefficient of vertical dynamics was about 0.6.

Special features of the results within the framework of this study are that the proposed improvement of the hatch cover helps improve its strength by reducing the dynamic load, and not by strengthening the structure.

The scope of practical application of the results is the engineering industry, in particular, railroad transport. The conditions for the practical use of the research results are the use of energy-absorbing material in the sandwich-type components that form the hatch cover.

The study reported here could contribute to devising recommendations for the construction of components in the structures of modern freight cars, thereby reducing the costs of maintaining them in operation, as well as increasing the profitability of railroad transportation.

**Keywords:** railroad transport, open wagon hatch cover, hatch cover strength, open wagon load.

**References**

1. Dižo, J., Blatnický, M., Steišūnas, S., Skočilasová, B. (2018). Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. MATEC Web of Conferences, 157, 03004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815703004>
2. Buchacz, A., Baier, A., Placzek, M., Herbuś, K., Ociepka, P., Majzner, M. (2018). Development and analysis of a new technology of freight cars modernization. Journal of Vibroengineering, 20 (8), 2978–2997. <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19206>
3. Viznyak, R., Chepurchenko, I., Yatsenko, A. (2016). Features of identifying operational loads the body of open-top car and ways of improving its design to ensure durability and preservation. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo universytetu zaliznychnoho transportu, 159, 91–97. Available at: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/161>
4. Karakayev, A. K., Zariyev, R. U. (2016). Composite materials in cargo wagon building. Nauka i tehnika Kazahstana, 1-2, 39–47.
5. Olmos Irikovich, Z., Rustam Vyacheslavovich, R., Mahmod Lafta, W., Yadgor Ozodovich, R. (2020). Development of new polymer composite materials for the flooring of rail carriage. International Journal of Engineering & Technology, 9 (2), 378. <https://doi.org/10.14419/ijet.v9i2.30519>
6. Baranovskiy, D., Bulakh, M., Myamlin, S., Keбал, I. (2022). New Design of the Hatch Cover to Increase the Carrying Capacity of the Gondola Car. Advances in Science and Technology Research Journal, 16 (6), 186–191. <https://doi.org/10.12913/22998624/156205>
7. Nikitchenko, A., Artiukh, V., Shevchenko, D., Misailov, A., Makhov, D. (2019). The use of nonlinear dynamic analysis in the calculation of cargo fall onto the hatch of the gondola car. E3S Web of Conferences, 110, 01050. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911001050>
8. Fomin, O., Gerlici, J., Lovska, A., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Prokopenko, P., Hauser, V. (2019). The Improved Hatch Cover Construction for Universal Open Box-type Wagon from the Strength and Durability Point of View. Manufacturing Technology, 19 (2), 216–221. <https://doi.org/10.21062/ujep/272.2019/a/1213-2489/mt/19/2/216>
9. Lee, H.-A., Jung, S.-B., Jang, H.-H., Shin, D.-H., Lee, J. U., Kim, K. W., Park, G.-J. (2015). Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 230 (4), 1283–1296. <https://doi.org/10.1177/0954409715593971>
10. Wróbel, A., Płaczek, M., Buchacz, A. (2017). An Endurance Test of Composite Panels. Solid State Phenomena, 260, 241–248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.260.241>
11. Horbenko, A. P., Martynov, I. E. (2007). Konstruiuvannya ta rozrakhunkovy vagoniv. Kharkiv: UkrDAZT, 150.
12. Koziar, M. M., Feshchuk, Yu. V., Parfeniuk, O. V. (2018). Kompiuterna hrafika: SolidWorks. Kherson: Oldi-plius, 252. Available at: <https://ep3.nuwm.edu.ua/22175/1/Комп%27ютерна%20графіка.pdf>
13. 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>
14. Vorobiov, V. V., Vorobiova, L. D., Kyba, S. P. (2020). Osnovy prykladnoi teoriiy kolyvan. Kremenchuk: PP Shcherbatykh O.V., 156. Available at: [http://document.kdu.edu.ua/metod/2020\\_2201.pdf](http://document.kdu.edu.ua/metod/2020_2201.pdf)
15. Symonovskiy, V. I. (2012). Teoriya kolyvan. Sumy: Sums'kyi derzhavnyi universytet, 71. Available at: <https://core.ac.uk/reader/14059504>
16. Domin, Yu. V., Cherniak, H. Yu. (2003). Osnovy dynamiky vagoniv. Kyiv: KUETT, 269.

17. Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., Stanovska, I., Holofieieva, M., Horobets, V. et al. (2023). Revealing the effect of structural components made of sandwich panels on loading the container transported by railroad. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (121)), 48–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272316>
18. Vatulia, G., Lovska, A., Myamlin, S., Rybin, A., Nerubatskyi, V., Hordiienko, D. (2023). Determining patterns in loading the body of a gondola with side wall cladding made from corrugated sheets under operating modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (122)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275547>
19. Nerubatskyi, V. P., Plakhtii, O. A., Tugay, D. V., Hordiienko, D. A. (2021). Method for optimization of switching frequency in frequency converters. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 103–110. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/103>
20. 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. <https://doi.org/10.3390/app13010079>
21. Kondratiev, A., Vambol, O., Shevtsova, M., Tsaritsynskyi, A., Nabokina, T. (2023). Heat resistance of polymeric materials at various degrees of cure. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0167707>
22. Zadachyn, V. M., Koniushenko, I. H. (2014). *Chyselni metody*. Kharkiv, 180. Available at: [http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/CHM\\_Zadachin.pdf](http://kist.ntu.edu.ua/textPhD/CHM_Zadachin.pdf)
23. Hoi, T. P., Makhnei, O. V. (2014). *Dyferentsialni rivniannia*. Ternopil, 360. Available at: [https://www.bohdan-books.com/userfiles/file/books/lib\\_file\\_2122996887.pdf](https://www.bohdan-books.com/userfiles/file/books/lib_file_2122996887.pdf)
24. Fomin, O., Lovska, A. (2021). Determination of dynamic loading of bearing structures of freight wagons with actual dimensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (110)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.220534>
25. 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). <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575792>
26. Soukup, J., Skočilas, J., Skočilasová, B., Dižo, J. (2017). Vertical Vibration of Two Axle Railway Vehicle. *Procedia Engineering*, 177, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.178>
27. Steišūnas, S., Dižo, J., Bureika, G., Žuraulis, V. (2017). Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters. *Procedia Engineering*, 187, 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.370>
28. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Hordiienko, D. (2021). Control and Accounting of Parameters of Electricity Consumption in Distribution Networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). <https://doi.org/10.1109/maa52675.2021.9610907>
29. Vatulia, G., Lovska, A., Pavliuchenkov, M., Nerubatskyi, V., Okorokov, A., Hordiienko, D. et al. (2022). Determining patterns of vertical load on the prototype of a removable module for long-size cargoes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (120)), 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266855>
30. *Metody rishennia matematychnykh zadach u seredovyshchi Mathcad* (2020). 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)
31. Kryshka Iyuka. 1704.45.100. Programma i metodika kvalifikatsionnyh ispytanyh (2013). Mariupol': OOO "NPP ITS "AZOV-MASHTEST" ", 19.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298842

**IDENTIFYING THE INFLUENCE OF SPLIT TENSILE STRENGTH TO CRACK WIDTH OF HIGH-STRENGTH REINFORCED CONCRETE BEAM WITH POLYPROPYLENE FIBER FROM MEDICAL MASK WASTE (p. 14–21)**

**Diana Ningrum**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
Tribhuwana Tungga Dewi University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0885-4727>

**Agoes Soehardjono**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6172-4457>

**Hendro Suseno**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-1276>

**Ari Wibowo**

Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9423-2248>

Cracks in concrete structures due to tensile weakness can be repaired by using fiber concrete, including medical mask waste as an additive in high-strength concrete mixes. This research the influence of polypropylene fiber from medical mask waste on the mechanical characteristics, flexural behavior, and crack width of high-strength reinforced concrete (RC) beams. The initial stage involved examining the properties of the concrete constituent materials. The testing process was based on a high-strength concrete mix design using the Aitchin method mix design sheet. Compressive strength and split tensile strength were tested at fiber content (0 %, 0.15 %, 0.20 %, and 0.25 %). The three-point flexural testing procedure was carried out at 28 days on 1200×100×150 (mm) RC beams. The use of LVDT, strain gauge, and other measuring devices supported the acquisition of the required data. The results showed that the split tensile strength reached the optimum value of 66.19 MPa at 0.24 % fiber content. Polypropylene fiber from medical mask waste in RC beams showed a positive impact on reducing crack width at increased split tensile strength. Waste mask fiber content of 0.15 %, 0.20 % and 0.25 % gave stable and better results compared to 0 % content (no fiber). With high steel stress ( $f_s$ ), and high strain, it offers the potential to improve the mechanical properties of high-strength concrete, thereby reducing the width of cracks that occur. This improves the tensile weakness of the concrete. The effect of split tensile strength on the crack width ( $w$ ) of beams with the formula approach:  $w_{exp}=3.74ftf^{-1.513}$ ,  $w_{an}=0.187ftf^{0.022}$  shows that the experimental results have a significant effect on decreasing the crack width that occurs in high-strength RC beams, thereby improving the quality of concrete.

**Keywords:** split tensile strength, crack width, high-strength, reinforced concrete beam, medical mask waste, polypropylene fiber.

**References**

1. Harussani, M. M., Sapuan, S. M., Rashid, U., Khalina, A., Ilyas, R. A. (2022). Pyrolysis of polypropylene plastic waste into carbonaceous char: Priority of plastic waste management amidst COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 803, 149911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149911>
2. Prioleau, R. M. (1995). Recycling of Polypropylene. *Plastics, Rubber, and Paper Recycling*, 80–88. <https://doi.org/10.1021/bk-1995-0609.ch007>
3. Mavrokefalidis, D. (2020). Coronavirus face masks 'could have a devastating effect on the environment'. *Energy Live*. Available at:

- <https://www.energylivenews.com/2020/03/17/coronavirus-face-masks-could-have-a-devastating-effect-on-the-environment/>
4. Sadiql Islam, G. M., Gupta, S. D. (2016). Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5 (2), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.05.007>
  5. Kilmartin-Lynch, S., Saberian, M., Li, J., Roychand, R., Zhang, G. (2021). Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126460>
  6. Xu, H., Shao, Z., Wang, Z., Cai, L., Li, Z., Jin, H., Chen, T. (2020). Experimental study on mechanical properties of fiber reinforced concrete: Effect of cellulose fiber, polyvinyl alcohol fiber and polyolefin fiber. *Construction and Building Materials*, 261, 120610. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120610>
  7. Skarżyński, Ł., Tejchman, J. (2021). Investigations on fracture in reinforced concrete beams in 3-point bending using continuous micro-CT scanning. *Construction and Building Materials*, 284, 122796. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122796>
  8. Yin, S., Tuladhar, R., Shi, F., Combe, M., Collister, T., Sivakugan, N. (2015). Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 93, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.105>
  9. Naotunna, C. N., Samarakoon, S. M. S. M. K., Fossà, K. T. (2021). Experimental investigation of crack width variation along the concrete cover depth in reinforced concrete specimens with ribbed bars and smooth bars. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00593. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00593>
  10. Soehardjono, A., Wibowo, A., Nuralinah, D., Aditya, C. (2023). Identifying the influence of reinforcement ratio on crack behaviour of rigid pavement. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (125)), 87–94. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290035>
  11. Gribniak, V., Rimkus, A., Pérez Caldentey, A., Sokolov, A. (2020). Cracking of concrete prisms reinforced with multiple bars in tension—the cover effect. *Engineering Structures*, 220, 110979. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110979>
  12. He, S., Mustafa, S., Chang, Z., Liang, M., Schlangen, E., Luković, M. (2023). Ultra-thin Strain Hardening Cementitious Composite (SHCC) layer in reinforced concrete cover zone for crack width control. *Engineering Structures*, 292, 116584. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116584>
  13. Ningrum, D., Soehardjono, A., Suseno, H., Wibowo, A. (2023). Analysis of the effect of using Covid-19 medical mask waste with polypropylene on the compressive strength and split tensile strength of high-performance concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (121)), 40–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272529>
  14. Lloyd, N. A., Rangan, B. V. (1994). High-Performance Concrete Columns. “SP-149: High-Performance Concrete - Proceedings, International Conference Singapore, 1994.” <https://doi.org/10.14359/4167>
  15. Krisnamurti, Soehardjono, A., Zacob, A., Wibowo, A. (2018). Development of Mix Design Method in Efforts to Increase Concrete Performance Using Portland Pozzolana Cement (PPC). *Journal of Physics: Conference Series*, 953, 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012016>
  16. Uomoto, T., Ishibashi, T., Nobuta, Y., Satoh, T., Kawano, H., Takewaka, K., Uji, K. (2008). Standard Specifications for Concrete Structures-2007 by Japan Society of Civil Engineers. *Concrete Journal*, 46 (7), 3–14. [https://doi.org/10.3151/coj1975.46.7\\_3](https://doi.org/10.3151/coj1975.46.7_3)
  17. El Aal, A. A., Abdullah, G. M. S., Qadri, S. M. T., Abotalib, A. Z., Othman, A. (2022). Advances on concrete strength properties after adding

polypropylene fibers from health personal protective equipment (PPE) of COVID-19: Implication on waste management and sustainable environment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103260. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103260>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298737

**CONSTRUCTION OF HOMOGENEOUS SOLUTIONS OF THE TORSION PROBLEM FOR A RADIALLY INHOMOGENEOUS TRANSVERSELY ISOTROPIC CYLINDER (p. 22–29)**

**Natiq Akhmedov**

Azerbaijan State University of Economics (UNEC),  
Baku, Azerbaijan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3071-2549>

The torsion problem for a radially inhomogeneous transversely isotropic cylinder of small thickness was investigated by the method of asymptotic integration of elasticity theory equations. It is assumed that the side part of the cylinder is stress-free, and boundary conditions are set at the ends of the cylinder, leaving the cylinder in equilibrium. The elastic moduli are thought to be arbitrary continuous functions of the variable along the cylinder radius. The formulated boundary value problem is reduced to a spectral problem containing a small parameter characterizing the thin-walledness of the cylinder. Homogeneous solutions are built, i.e. any solutions of the equilibrium equation satisfying the condition of no stresses on the side surfaces. It is shown that the solution of the torsion problem consists of a penetrating solution and a boundary layer character solution similar to Saint-Venant's edge effect in the theory of inhomogeneous plates. The penetrating solution determines the internal stress-strain state of a radially inhomogeneous cylinder. The stress state determined by the penetrating solution is equivalent to the torsional moments of stresses acting in the cross-section perpendicular to the cylinder axis. Solutions having the boundary layer character are localized at the ends of the cylinder and decrease exponentially with distance from the ends. These solutions are absent in applied shell theories. Asymptotic formulas for displacement and stresses are built, which make it possible to calculate the three-dimensional stress-strain state of a radially inhomogeneous transversely isotropic cylinder of small thickness. Based on the obtained asymptotic expansions, it is possible to assess the applicability of applied theories and build a refined applied theory for radially inhomogeneous cylindrical shells.

**Keywords:** torsion problem, elastic moduli, penetrating solution, boundary layer, torsional moment.

**References**

1. Birman, V., Byrd, L. W. (2007). Modeling and Analysis of Functionally Graded Materials and Structures. *Applied Mechanics Reviews*, 60 (5), 195–216. <https://doi.org/10.1115/1.2777164>
2. Tokovyy, Y., Ma, C.-C. (2019). Elastic Analysis of Inhomogeneous Solids: History and Development in Brief. *Journal of Mechanics*, 35 (5), 613–626. <https://doi.org/10.1017/jmech.2018.57>
3. Sachdeva, C., Padhee, S. S. (2018). Functionally graded cylinders: Asymptotically exact analytical formulations. *Applied Mathematical Modelling*, 54, 782–802. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.10.019>
4. Lin, H.-C., Dong, S. B. (2006). On the Almansi-Michell Problems for an Inhomogeneous, Anisotropic Cylinder. *Journal of Mechanics*, 22 (1), 51–57. <https://doi.org/10.1017/s1727719100000782>
5. Ieşan, D., Quintanilla, R. (2007). On the deformation of inhomogeneous orthotropic elastic cylinders. *European Journal of Mechanics - A/Solids*, 26 (6), 999–1015. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2007.03.004>

6. Grigorenko, A. Ya., Yaremchenko, S. N. (2016). Analysis of the Stress–Strain State of Inhomogeneous Hollow Cylinders. *International Applied Mechanics*, 52 (4), 342–349. <https://doi.org/10.1007/s10778-016-0757-3>
7. Grigorenko, A. Ya Yaremchenko, S. N. (2019). Three-Dimensional Analysis of the Stress–Strain State of Inhomogeneous Hollow Cylinders Using Various Approaches. *International Applied Mechanics*, 55 (5), 487–494. <https://doi.org/10.1007/s10778-019-00970-2>
8. Tutuncu, N., Temel, B. (2009). A novel approach to stress analysis of pressurized FGM cylinders, disks and spheres. *Composite Structures*, 91 (3), 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.06.009>
9. Jabbari, M., Mohazzab, A. H., Bahtui, A., Eslami, M. R. (2007). Analytical solution for three-dimensional stresses in a short length FGM hollow cylinder. *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik*, 87 (6), 413–429. <https://doi.org/10.1002/zamm.200610325>
10. Akhmedov, N., Akbarova, S. (2021). Behavior of solution of the elasticity problem for a radial inhomogeneous cylinder with small thickness. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (114)), 29–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247500>
11. Akhmedov, N. K. (2021). Axisymmetric problem of the elasticity theory for the radially inhomogeneous cylinder with a fixed lateral surface. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 7 (2), 598–610. Available at: [https://jacm.scu.ac.ir/article\\_15541\\_f4ed-60dbc90a1d5f1ed54fb1ec892658.pdf](https://jacm.scu.ac.ir/article_15541_f4ed-60dbc90a1d5f1ed54fb1ec892658.pdf)
12. Akhmedov, N., Akbarova, S., Ismayilova, J. (2019). Analysis of axisymmetric problem from the theory of elasticity for an isotropic cylinder of small thickness with alternating elasticity modules. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (7 (98)), 13–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162153>
13. Ismayilova, J. (2019). Studying elastic equilibrium of a small thickness isotropic cylinder with variable elasticity module. *Transactions of NAS of Azerbaijan*, 39 (7). Available at: [https://transmech.imm.az/upload/articles/Jalala\\_Ismayilova\\_Vol\\_39\\_8\\_2019.pdf](https://transmech.imm.az/upload/articles/Jalala_Ismayilova_Vol_39_8_2019.pdf)
14. Ahmedov, N. K. (1997). Analiz pograničnogo sloya v osesimmetrichnoy zadache teorii uprugosti dlya radial'no-sloistogo tsilindra i rasprostraneniya osesimmetrichnyh voln. *Prikladnaya matematika i mehanika*, 61 (5), 863–872.
15. Mekhtiev, M. F. (2019). Asymptotic Analysis of Spatial Problems in Elasticity. In *Advanced Structured Materials*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3062-9>
16. Lurie, A. I. (1970). *Theory of Elasticity*. Moscow.
17. Sadd, M. (2005). *Theory, Applications and Numerics*. Elsevier.
18. Lekhnitskii, S. G. (1971). *Torsion of Anisotropic and Non-homogeneous Beams*. Moscow.
19. Lekhnitskii, S. G. (1981). *Theory of Elasticity of an Anisotropic Body*. Moscow. Available at: <https://archive.org/details/lekhmitskii-theory-of-elasticity-of-an-anisotropic-body-mir-1981>
20. Ecsedi, I., Baksa, A. (2018). Torsion of functionally graded anisotropic linearly elastic circular cylinder. *Engineering Transactions*, 66 (4), 413–426. <https://doi.org/10.24423/Eng-Trans.923.20181003>
21. Akhmedov, N. K., Ustinov, Yu. A. (1988). On St. Venant's principle in the torsion problem for a laminated cylinder. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 52 (2), 207–210. [https://doi.org/10.1016/0021-8928\(88\)90136-0](https://doi.org/10.1016/0021-8928(88)90136-0)
22. Akperova, S. B. (2010). Analiz zadachi krucheniya transversal'no-izotropnogo tsilindra maloy tolschiny s peremennymi modulyami sdviga. *Vestnik Donskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta*, 10 (5), 634–639.
23. Mikhlin, S. G. (1977). *Partial Linear Equations*. Moscow.
24. Gol'denveyzer, A. L. (1963). Postroenie priblizhennoy teorii izgiba obolochki pri pomoshchi asimptoticheskogo integrirvaniya uravneniy teorii uprugosti. *Prikladnaya matematika i mehanika*, 27 (4), 593–608.
25. Akhmedov, N. K., Sofiyev, A. H. (2019). Asymptotic analysis of three-dimensional problem of elasticity theory for radially inhomogeneous transversally-isotropic thin hollow spheres. *Thin-Walled Structures*, 139, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.03.022>
26. Ustinov, Y. (2006). *The mathematical theory of transversely non-uniform plates*. Rostov-on-Don: OOOTsVVR.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298646

**IDENTIFYING THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS OF SINGLE-CHAMBER HYDROSTATIC BEARING OF FUEL PUMP ON ITS MAIN CHARACTERISTICS (p. 30–36)**

Vladimir Nazin

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

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

The object of this study is hydrostatic processes in the fluid friction bearings of gear-type aviation fuel pumps.

The problem of the influence of the design parameters of a single-chamber hydrostatic bearing on its main characteristics was solved. The main characteristics were considered to be the load-bearing capacity and the flow rate of the working fluid. When determining the main characteristics of a single-chamber hydrostatic bearing, the Reynolds and flow balance equations were solved jointly. The resulting diagram of pressure distribution over the working surface of the bearing was used to determine the main characteristics.

The influence of the clearance, nozzle diameter, and chamber width on the load-bearing capacity and working fluid flow of a single-chamber hydrostatic bearing was studied.

It has been established that as the gap increases, the load-bearing capacity of a single-chamber bearing decreases, and the flow rate of the working fluid increases. As the nozzle diameter increases, the bearing's load-bearing capacity increases. Increasing the width of the chambers leads to an increase in the load-bearing capacity and flow of working fluid through the bearing. When the gap increases from 0.0125 mm to 0.0425 mm, the bearing capacity decreases by 1.156 times. The flow rate of working fluid through the bearing increases by 1.4 times. With an increase in the nozzle diameter from 1.5 mm to 3 mm, the bearing capacity increases slightly by approximately 1.02 times. Increasing the width of the chambers from 4 mm to 8 mm increases the load-bearing capacity by 1.29 times and increases the flow rate of working fluid by 1.4 times.

The results show that a single-chamber hydrostatic bearing can provide the required load-bearing capacity by selecting design parameters. The given mathematical dependences could be used for practical calculations of single-chamber hydrostatic bearings.

**Keywords:** single-chamber bearing, nozzle diameter, chamber width, load-bearing capacity, lubricant consumption.

**References**

1. Xie, Z., Jiao, J., Yang, K. (2023). Study on the Lubrication and Anti-eccentric Load Characteristics of the Aero Gear Pump Bearing. *Journal of Mechanical Engineering, Chinese Mechanical Engineering Society*, 59 (9), 198–211.
2. Wei, S., Wang, J., Cui, J., Song, S., Li, H., Fu, J. (2022). Online monitoring of oil film thickness of journal bearing in aviation fuel

- gear pump. *Measurement*, 204, 112050. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112050>
3. Gao, N., Li, H., Hong, L., Cao, R., Fu, J. (2022). Reliability analysis of journal bearings inside aero-gear pump based on AK-IS method. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 48 (6), 1057–1064. Available at: <https://bhxb.buaa.edu.cn/bhzh/en/article/doi/10.13700/j.bh.1001-5965.2020.0713>
  4. Tacconi, J., Shahpar, S., King, A., Olufeagba, J. P., Khan, R., Sant, I., Yates, M. (2021). Elasto-Hydrodynamic Model of Hybrid Journal Bearings for Aero-Engine Gear Fuel Pump Applications. *Journal of Tribology*, 144 (3), 031604. <https://doi.org/10.1115/1.4052479>
  5. Torrent, M., Gamez-Montero, P. J., Codina, E. (2021). Model of the Floating Bearing Bushing Movement in an External Gear Pump and the Relation to Its Parameterization. *Energies*, 14 (24), 8553. <https://doi.org/10.3390/en14248553>
  6. Zhu, J., Li, H., Wei, S., Fu, J., Xu, X. (2021). An approach of simulating journal bearings-gear pump system including components' cavitation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 108, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102236>
  7. Zhu, J., Li, H., Fu, J., Liu, X., Wang, S. (2020). Numerical analysis on the start behavior of rough journal bearings during the gear pump meshing cycle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 234 (8), 1275–1295. <https://doi.org/10.1177/1350650120908116>
  8. Zhu, J.-X., Li, H.-C., Fu, J.-F., Wei, S.-J., Liu, X.-W. (2020). Research on Aero-Gear Pump Journal Bearings Start-Up Transient Lubrication Characteristics with Radial Micro-Motion Analysis Coupled CFD. *Journal of Propulsion Technology*, 7, 1601–1611. <https://doi.org/10.13675/j.cnki.tjjs.190462>
  9. Zhou, Y., Ci, Y. (2019). Temperature rise of journal bearing of the high-speed circular arc gear pump. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 234 (8), 1492–1499. <https://doi.org/10.1177/0954406219896818>
  10. Zhu, J.-X., Li, H.-C., Fu, J.-F., Liu, X.-W. (2020). Numerical Analysis of Non-Linear Transient Characteristics of Aviation Fuel Gear Pump Sliding Bearings. *Journal of Propulsion Technology*, 2, 412–422. <https://doi.org/10.13675/j.cnki.tjjs.190004>
  11. Zhu, J., Li, H., Fu, J., Liu, X. (2020). Lubrication characteristics in contact state of journal bearings inside aero gear pump. *Journal of Aerospace Power*, 35 (1), 169–174.
  12. Zhang, G., Liang, M., Guo, J., Niu, X. (2022). Dynamic characteristics of misaligned gear coupling-bearing-rotor system. *Journal of Aerospace Power*, 2, 225–234. <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.20210017>
  13. Nazin, V. (2023). Identifying the influence of design parameters of a hydrostatic bearing in an aircraft fuel pump on its static characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (125)), 28–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289426>
  14. Nazin, V. (2023). Revealing the influence of structural and operational parameters of a hydrostatic bearing in a gear-type fuel pump on its main characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (122)), 92–98. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277755>
  15. Emtsev, B. T. (1978). *Tehnicheskaya gidromekhanika*. Moscow: Mashinostroenie, 463.
  16. Bogdanov, O. I., D'yachenko, S. K. (1966). *Raschet opor skol'zheniya*. Kyiv: Tehnika, 242.
  17. Tipey, N., Konstantinesku, V. N., Nika, A., Bitse, O. (1964). *Podshipniki skol'zheniya: Raschet, proektirovanie, smazka*. Buharest: Izdatel'stvo Akad. Rum. Nar. Resp., 457.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296842

### DETERMINING VERTICAL OSCILLATIONS OF FRONT-PLOW TRACTOR WITHOUT SUPPORT WHEEL (p. 37–47)

Volodymyr Nadykto

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-8297>

Gennadii Golub

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2388-0405>

Volodymyr Kyurchev

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4377-1924>

Nataliya Tsyvenkova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1703-4306>

Gennadii Petrov

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1726-2731>

Yaroslav Yarosh

Polissia National University, Zhytomyr, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8376-8979>

The object of this study is a tractor with a front plow without a support wheel. One way to avoid the use of ballast is to use front-mounted plows that operate under the “push” mode. As a rule, such plows are equipped with at least one supporting wheel. The presence of the latter complicates the structure of the plow and, of course, affects the degree of vertical load on the steered wheels of the mobile vehicle.

With the help of the constructed mathematical model and the corresponding amplitude and phase frequency characteristics, the dynamics of vertical oscillations of the front axle of a tractor with a front mounted plow without a support wheel were investigated. Vertical fluctuations of the total force acting on the tractor from the side of the plow were considered as a disturbing influence. According to the simulation results, an increase in the vertical load of the front axle of the tractor by 600 kg causes a desired decrease in the value of the amplitude and an increase in the phase of external disturbances of the dynamic system. The higher the frequency of disturbance oscillations, the more acceptable these characteristics become. It was established that in order to improve the response of the studied dynamic system to disturbances, it is necessary to reduce the stiffness coefficient of the tires of the front wheels. In practice, this is achieved by adjusting the air pressure in the tires. The amplitude-frequency characteristics of the system almost do not change when the damping coefficient of the tires of the front wheels of the tractor is increased in the range from 1 to 3 kN·s/m, while the phase-frequency characteristics improve. This is especially noticeable at the frequencies of oscillations of the disturbing influence in the range of 0–10 s<sup>-1</sup>.

The results could be used as a basis for evaluating the efficiency of tractors with a front plow without a support wheel in tillage operations. Such efficiency can be achieved under the condition of practical implementation of the recommendations proposed in this paper regarding the selection of design parameters of tires for the front wheels of the tractor.

**Keywords:** plow unit, front attachment mechanism, “push-pull”, front plow, tire stiffness coefficient, tire damping coefficient.

## References

1. Liu, K., Sozzi, M., Gasparini, F., Marinello, F., Sartori, L. (2023). Combining simulations and field experiments: Effects of subsoiling angle and tillage depth on soil structure and energy requirements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 108323. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108323>
2. Kraut-Cohen, J., Zolti, A., Shaltiel-Harpaz, L., Argaman, E., Rabinovich, R., Green, S. J., Minz, D. (2020). Effects of tillage practices on soil microbiome and agricultural parameters. *Science of The Total Environment*, 705, 135791. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135791>
3. Ren, Z., Han, X., Feng, H., Wang, L., Ma, G., Li, J. et al. (2024). Long-term conservation tillage improves soil stoichiometry balance and crop productivity based on a 17-year experiment in a semi-arid area of northern China. *Science of The Total Environment*, 908, 168283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168283>
4. Ambike, S. S., Schmiedeler, J. P. (2007). Application of Geometric Constraint Programming To The Kinematic Design of Three-Point Hitches. *Applied Engineering in Agriculture*, 23 (1), 13–21. <https://doi.org/10.13031/2013.22325>
5. Bulgakov, V., Ivanovs, S., Nadykto, V., Petrov, G. (2023). Investigation of front plough functioning stability conditions without support wheel. *Engineering for Rural Development*. <https://doi.org/10.22616/erdev.2023.22.tf116>
6. Gluckauf, Z. W. (1989). Operating experience with a plough for difficult seams (in German). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 26 (6), 321. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(89\)91711-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(89)91711-7)
7. ASAE Standards AD730: 2012, 2012. Agricultural wheeled tractors – Rear-mounted three-point linkage – Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N AND 4. St. Joseph, Michigan: ASAE.
8. ASAE Standards S513, 2003. Agricultural wheeled tractors - Front-hitched three-point linkage. St. Joseph, Michigan: ASAE.
9. Macmillan, R. H. (2002). *The Mechanics of Tractor Implement Performance: Theory and Worked Examples*. University of Melbourne.
10. Askari, M., Komarizade, M. H., Nikbakht, A. M., Nobakht, N., Teimourlou, R. F. (2011). A novel three-point hitch dynamometer to measure the draft requirement of mounted implements. *Research in Agricultural Engineering*, 57 (4), 128–136. <https://doi.org/10.17221/16/2011-rae>
11. Jagan, T., Ponpaul, R. S. (2022). Utilization of Tractor Power using Front Three Point Linkage. *Journal of Physics: Conference Series*, 2272 (1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2272/1/012004>
12. Portes, P., Bauer, F., Cupera, J. (2013). Laboratory-experimental verification of calculation of force effects in tractor's three-point hitch acting on driving wheels. *Soil and Tillage Research*, 128, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.10.007>
13. Prasanna Kumar, G. V. (2015). Geometric performance parameters of three-point hitch linkage system of a 2WD Indian tractor. *Research in Agricultural Engineering*, 61 (1), 47–53. <https://doi.org/10.17221/79/2012-rae>
14. Kumar, A., Pranav, P. K., Kumar, S. (2018). Computer simulation of three-point linkage parameters for virtual hitch point and optimum depth of operation. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11 (3), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.02.006>
15. Tatiček, M., Bauer, F., Sedlák, P., Čupera, J. (2014). The effect of setup of three point linkage on energetic and performance parameters of tractor aggregate. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 59 (5), 253–262. <https://doi.org/10.11118/actaun201159050253>
16. Bulgakov, V., Nadykto, V., Kyurchev, S., Nesvidomin, V., Ivanovs, S., Olt, J. (2019). Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*, 30 (2), 78–84. <https://doi.org/10.15159/jas.19.07>
17. Mamkagh, A. M. (2018). Effect of Tillage Speed, Depth, Ballast Weight and Tire Inflation Pressure on the Fuel Consumption of the Agricultural Tractor: A Review. *Journal of Engineering Research and Reports*, 3 (2), 1–7. <https://doi.org/10.9734/jerr/2018/v3i216871>
18. Zhang, S., Ren, W., Xie, B., Luo, Z., Wen, C., Chen, Z. et al. (2023). A combined control method of traction and ballast for an electric tractor in ploughing based on load transfer. *Computers and Electronics in Agriculture*, 207, 107750. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107750>
19. Zhang, S., Xie, B., Wen, C., Zhao, Y., Du, Y., Zhu, Z. et al. (2022). Intelligent ballast control system with active load-transfer for electric tractors. *Biosystems Engineering*, 215, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.01.008>
20. Singh, N., Pandey, K. (2017). Development of Visual Basic Program to Design Front Mounted Three-Point Linkage for Higher Power Tractors. *Advances in Research*, 11 (2), 1–10. <https://doi.org/10.9734/air/2017/35767>
21. Zheng, E., Zhong, X., Zhu, R., Xue, J., Cui, S., Gao, H., Lin, X. (2019). Investigation into the vibration characteristics of agricultural wheeled tractor-implement system with hydro-pneumatic suspension on the front axle. *Biosystems Engineering*, 186, 14–33. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.05.004>
22. Bauer, F., Portes, P., Slimařík, D., Čupera, J., Fajman, M. (2017). Observation of load transfer from fully mounted plough to tractor wheels by analysis of three point hitch forces during ploughing. *Soil and Tillage Research*, 172, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.007>
23. Havrysh, V. I., Bondarenko, V. O. (2011). *Osnovy teorii rozrakhunku mobilnykh enerhetychnykh zasobiv*. Mykolaiv: MDAU, 284.
24. Zeidman, P., Friston, K., Parr, T. (2023). A primer on Variational Laplace (VL). *NeuroImage*, 279, 120310. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120310>
25. Aizerman, M. A. (1963). *Theory of automatic control. A volume in Adiwes International Series in the Engineering Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-01720-3>
26. Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. New Jersey: Pearson Education, Inc., 912.
27. Sorin-Stefan, B., Valenti, V. (2012). Use of Finite Element Method to Determine the Influence of Land Vehicles Traffic on Artificial Soil Compaction. *Water Stress*. <https://doi.org/10.5772/30189>
28. Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini, A. (2019). *Feedback Control of Dynamic Systems*. New York: Pearson.
29. Nise, N. S. (2011). *Control Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
30. Zhang, J., Yao, H., Chen, L., Zheng, E., Zhu, Y., Xue, J. (2022). Vibration characteristics analysis and suspension parameter optimization of tractor/implement system with front axle suspension under ploughing operation condition. *Journal of Terramechanics*, 102, 49–64. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2022.05.001>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298204

**DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF CONTACT INTERACTION BETWEEN THE TWO-ROW WINDSHIELD WIPER AND A CURVILINEAR GLASS SURFACE (p. 48–59)**

Kostyantyn Holenko

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6140-4573>

**Aleksandr Dykha**

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

**Yurii Voichyshyn**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7004-0567>

**Orest Horbay**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0915-5637>

**Maksym Dykha**

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6075-1549>

**Volodymyr Dytyniuk**

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6377-524X>

Among the evaluation criteria for determining the efficiency of vehicle windshield cleaning, the pressure distribution of the wiper rubber brush on the glass surface is important. The problem is the lack of this indicator standardization by the United Nations Economic Commission for Europe Rules (UNECE) regarding the windshield wipers certification. The inhomogeneity of the pressure distribution of the conventional wiper (the object of research) is additionally due to the mobility of the links of its mechanism and the plasticity of the rubber brush together with the blade. The pressure value should not be more than 30–50 kPa (33.4 kPa was recorded for the immobilized wiper case), and the external normal load on the frame should be kept within 20...30 N. Under a load of 24 N, the wiper blade was deformed by 1.48 mm (according to R43, it cannot exceed 1.5 mm). Further loading of the wiper frame causes two types of plastic deformation: local and global (loss of the rubber brush shape). Local displacements have increased to 1.82 mm, and the shape of the blade has acquired a “sliced” character, which causes thin jets of dirt. Global ones led to the rubber brush bending with the gap between it and the glass (5.7 mm) and caused the blind zone appearance. Models to mathematically predict layer-by-layer deformations of a conventional wiper were investigated. A model of a double-row blade with separate brushes was built, which enables the parallelization of water flows and explains the increase in the efficiency of its design. Hydrodynamic tests showed 1.58 times greater effectiveness compared to a classic single-row blade: the water flow rate was 15.61 vs 9.86 m/s. This technological advancement is the subject of a patent and a possible working prototype.

**Keywords:** distributed pressure, plastic deformations, stressed-strained state, damping, hydrodynamics, volume flow rate, turbulence.

**References**

- Kaur, H., Nirmal, U. (2022). A Review on the Development of Wiper System for Automotive Car Windscreen Cleaning Application. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 41 (7), 1–27. <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i731675>
- Jhung, J., Kim, S. (2021). Behind-The-Scenes (BTS): Wiper-Occlusion Canceling for Advanced Driver Assistance Systems in Adverse Rain Environments. *Sensors*, 21 (23), 8081. <https://doi.org/10.3390/s21238081>
- Graham, B., Knowles, J., Mavros, G. (2023). The influence of contact distribution shaping on the dynamic response of a wiper blade. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 09544070231164792. <https://doi.org/10.1177/09544070231164792>
- Graham, B., Knowles, J., Mavros, G. (2023). Quantitative Multi-Physics Tools for Automotive Wiper Design. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2023-01-0602>
- Antonescu, O., Valeanu, D., Antonescu, D., Strimbeanu, M. (2023). Contributions to the Geometric Synthesis of the Windshield Wiper Mechanism with Rocker-Slider Blade. *Mechanisms and Machine Science*, 404–413. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45709-8\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45709-8_40)
- Sharveswaran, A., Nirmal, U. (2020). Research Development on Wiper Mechanism in Automotive Application: A Critical Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39 (35), 133–161. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i3531064>
- Li, Y., Xu, J. (2022). Dynamic characteristics and generation mechanism of windscreen frameless wiper blade oscillations. *Non-linear Dynamics*, 111 (4), 3053–3079. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-08030-0>
- Yang, X., Wang, Y., Guo, H., Yuan, T., Zheng, L., Sun, P. (2022). A theoretical analysis of friction and vibration characteristics of wiper reversal process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 237 (6), 1327–1337. <https://doi.org/10.1177/09544070221091021>
- Zhao, Z., Yabuno, H., Kamiyama, K. (2022). Dynamic Analysis of a Wiper Blade in Consideration of Attack Angle and Clarification of the Jumping Phenomenon. *Applied Sciences*, 12 (9), 4112. <https://doi.org/10.3390/app12094112>
- Salleh, I., Z. Md Zain, M., R. Abu Bakar, A. (2018). Contact Force and Dynamic Behavior of Automobile Wiper Blade System. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.17), 100. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.17.16630>
- Roland, A., Wejin, J., Misra, S., Sharma, M. M., Damaševičius, R., Maskeliūnas, R. (2022). A Dynamic Rain Detecting Car Wiper. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1375–1383. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96308-8\\_127](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96308-8_127)
- Akanni, J., Ojo, A. O., Abdulwahab, A., Isa, A. A., Ogunbiyi, O. (2022). Development and Implementation of a Prototype Automatic Rain-Sensor Car Wiper System. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 26 (11), 1821–1826. <https://doi.org/10.4314/jasem.v26i11.13>
- Yadav, S. (2021). Automatic Rain Sensing Wiper using Arduino. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 9 (VI), 5434–5438. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2021.36065>
- Chen, T., Hong, Y. (2020). Mathematical Formulae for the Vibration Frequencies of Rubber Wiper on Windshield. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.06022>
- Yunpeng, L., Jingjing, X., Xin, W. (2021). Shape analysis and numerical fitting of boneless wiper reed. *Journal of Physics: Conference Series*, 1939 (1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1939/1/012049>
- Huang, T. C., Tsai, J. W., Liao, K. C. (2021). Geometry Optimization of a Metallic Flexor for Flat Wipers. *International Journal of Automotive Technology*, 22 (3), 823–830. <https://doi.org/10.1007/s12239-021-0075-6>
- Holenko, K., Voichyshyn, Y., Svidersky, V., Klypkov, O. (2023). Simulation of wiper behavior during contact with a curved surface, factors affecting driving safety. *Advances in mechanical engineering and transport*, 1 (20), 127–137. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i20.1041>
- Shirsikar, A., Khatik, P., Singh, K., Ram, L. (2022). Optimized Wiper Design using Computational Fluid Dynamics. *ARAI Journal of Mobility Technology*, 2 (4), 401–410. <https://doi.org/10.37285/ajmt.2.4.8>
- Yan, J., Zhu, K., Huang, X., Chen, K. (2022). Design Modification of Vehicle Body Structure for Wiper System Waterproof Performance. *Proceedings of China SAE Congress 2021: Selected Papers*, 1093–1102. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3842-9\\_85](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3842-9_85)
- Dykha, A., Makovkin, O. (2019). Physical basis of contact mechanics of surfaces. *Journal of Physics: Conference Series*, 1172, 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012003>

21. Chen, Z., Gu, Z., Jiang, T. (2019). Research on transient aerodynamic characteristics of windshield wipers of vehicles. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 29 (8), 2870–2884. <https://doi.org/10.1108/hff-09-2018-0531>
22. Marchenko, D., Dykha, A., Aulin, V., Matvyeyeva, K., Tishechkina, K., Kurepin, V. (2020). Development of Technology and Research of Method of Electric Hydropulse Hardening of Machine Parts. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240796>
23. Cadirci, S., Ak, E. S., Selenbas, B., Gunes, H. (2017). Numerical and Experimental Investigation of Wiper System Performance at High Speeds. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 10 (3), 861–870. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jafm.73.240.26527>
24. Holenko, K., Koda, E., Kernytskyi, I., Babak, O., Horbay, O., Popovych, V. et al. (2023). Evaluation of Accelerator Pedal Strength under Critical Loads Using the Finite Element Method. *Applied Sciences*, 13 (11), 6684. <https://doi.org/10.3390/app13116684>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298427

#### ANALYTICAL DESCRIPTION OF ADJUSTMENT OF ROLLS FOR MANUFACTURING PARTS FROM ELASTIC SHEET MATERIAL (p. 60–65)

Serhii Pylypaka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>

Vyacheslav Hropost

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9363-3955>

Tetiana Volina

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>

Tetiana Kresan

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8280-9502>

Serhii Borodai

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1281-7766>

The object of research is the process of bending sheet material, taking into account its springiness. When manufacturing sheet parts by bending from a completely elastic sheet, its shape is completely restored after the deformation stops, unlike an elastic sheet. Thus, when producing cylindrical parts by drawing between three rolls, the resulting radius of the cylindrical part will be larger than the calculated one. This phenomenon is evaluated by the coefficient of springing – the ratio of the calculated radius to the one obtained after partial expansion.

When manufacturing conical parts, this approach cannot be applied, because the value of the radius is variable. The article applies the theory of surface bending from differential geometry. The curvature of the line on the surface has two components – normal and geodesic. When the surface is bent, the normal component changes, while the geodesic component remains unchanged. The magnitude of the normal component depends on the angle between the origin of the cone and its axis. So, for a cone with a base of radius  $R$  and an angle of  $20^\circ$ , the normal curvature is  $0.94/R$ , and the geodesic curvature is  $0.34/R$ . For cylindrical parts, the geodesic curvature

of the cross-section (circle) is zero, so it is not necessary to take it into account.

Usually, adjustment of rolls for the production of conical parts is carried out experimentally. The difference of the proposed approach lies in the elimination of this problem thanks to the decomposition of the curvature of the base of the cone into two components. This allows to calculate the settings of the rolls and thereby reduce their adjustment time. The parameters of the rolls and their mutual placement are calculated for the production of conical parts of the required size, taking into account their springiness. The field of application of the obtained results is the production of parts by bending flat metal sheet blanks.

**Keywords:** normal curvature, geodesic curvature, sheet part, billet calculation, conical rolls.

#### References

1. Liu, H., Liu, Y., Zhang, P., Du, X. (2020). Effect of weld zone and corner with cold bending effect on wrinkling of rectangular welded tube in rotary draw bending. *Thin-Walled Structures*, 157, 107115. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107115>
2. Schuh, G., Bergweiler, G., Bickendorf, P., Fiedler, F., Colag, C. (2020). Sheet Metal Forming Using Additively Manufactured Polymer Tools. *Procedia CIRP*, 93, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.013>
3. Yang, S., Shim, D., Ji, H., Baek, J., Kim, B., Ahn, S., Park, S. (2016). Process Design of Conical Roll-Shaping for Fabrication of Variable Curvature Spiral Blade. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 33 (11), 911–918. <https://doi.org/10.7736/kspe.2016.33.11.911>
4. John Panicker, G. (2022). Study on Sheet Metal Bending. *ScienceOpen*. <https://doi.org/10.14293/s2199-1006.1.sor-pp0xuzu.v1>
5. Semenovskiy, O., Titova, L., Mykhnian, O. (2021). Hardness – volumetric characteristic of material. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 12 (4). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.139>
6. Kutsenko, A., Kutsenko, O., Yaremenko, V. (2021). On some aspects of implementation of boundary elements method in plate theory. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 12 (3). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.03.107>
7. Pylypaka, S., Kresan, T., Hropost, V., Babka, V., Hryshchenko, I. (2022). Calculation of the bending parameters of a flat workpiece into a twist of a helicoid torso. *Naukovij Zhurnal «Tehnika Ta Energetika»*, 13 (4). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(4\).2022.81-88](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(4).2022.81-88)
8. Ikumapayi, O. M., Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Kazeem, R. A., Akande, S. (2022). A concise overview of deep drawing in the metal forming operation. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3233–3238. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.221>
9. Trzepieciński, T. (2020). Recent Developments and Trends in Sheet Metal Forming. *Metals*, 10 (6), 779. <https://doi.org/10.3390/met10060779>
10. Nesvidomin, V. M., Pylypaka, T. S., Babka, V. M. (2010). Pat. No. 53688. Sposib vyhotovlennia konichnykh detalei uperedzhenym zghynanniam za dopomohoiu konichnykh valkiv. No. u201005553; declared: 07.05.2010; published: 11.10.2010, Bul. No. 19. Available at: <https://ipro.ua.com/inv/pdf/ns283etl-pub-description.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293842

#### DETERMINING THE PATTERNS OF ASYMMETRIC INTERACTION OF PLASTIC MEDIUM WITH COUNTER-DIRECTIONAL METAL FLOW (p. 66–82)

Valeriy Chigirinsky

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5887-2747>



**Abdrakhman Naizabekov**

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8517-3482>

**Sergey Lezhnev**

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1737-9825>

**Olena Naumenko**

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9532-1493>

**Sergey Kuzmin**

Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1934-9408>

The plane problem of rolling theory is analytically solved using the method argument of functions of a complex variable. The solution to the plane problem has been strengthened from the point of view of the asymmetry of the process, which made it possible to consider the applied problem as the interaction of differently directed zones in the deformation zone. The interaction of lagging and advancing zones is represented as a combination of multidirectional processes in a single deformation zone. With a change in kinematic, power characteristics in local zones, the process parameters change in the entire deformation zone. Stressed states of intermediate loading schemes between stable and unstable rolling are considered. A feature of the interaction of zones with the opposite flow of metal is the analogy with the action of back tension on the deformation zone in literally all parameters - this is the presence of tensile stresses in the lagging zone, a decrease in local specific pressures, a shift in maximum normal stresses towards the exit from the rolls, a change in the length of the advance zone, reduction in rolling force.

The studies confirm and repeat the generally accepted provisions of the theory of rolling but reveal the effects of changes in the stress state under different loading models.

The results of the work make it possible to determine the modes of rolling processes visually and computationally under conditions of strong and weak interaction of zones with an oppositely directed metal flow.

The effects of plastic deformation with a decrease in the total effort in the processes that are within the reach of the limiting focus of crimping under conditions of increasing kinematic load when the gripping angles vary between 0,077...0,168 are given.

**Keywords:** loading asymmetry, counter-directional metal flow, plane problem, effects of plastic deformation.

**References**

- Maksymenko, O. P., Loboiko, D. Y., Shtoda, M. N., Shtoda, Y. Y. (2018). Issledovanie prodolnoi ustoychivosti polosy pri prokatke na nepreryvnykh stanakh. Zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. Tem. vyp., 59–64.
- Maksimenko, O. P., Romaniuk, R. Ia. (2009). Analiz prodolnoi ustoychivosti protcessa prokatki s uchetom vnutrennikh sil i rezhima nati-azheniia polosy. Izvestiia vuzov. Chernaia metallurgii, 10, 32–34.
- Grudev, A. P. (1998). Zakhvatyvaiushchaia sposobnost prokatnykh valkov. Moscow: SP Internet Inzhiniring, 283.
- Ryabov, P. N. (2017). The features of plastic flow localization in materials under shear deformations. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4992562>
- Vabishchevich, M., Zatyliuk, G. (2021). Analysis of the stressed-strained state of the foundation-shell at interaction with the elastic-plastic medium. Strength of Materials and Theory of Structures, 106, 105–112. doi: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.106.105-112>
- Solodei, I., Petrenko, E., Zatyliuk, G. (2020). Nonlinear problem of structural deformation in interaction with elastoplastic medium. Strength of Materials and Theory of Structures, 105, 48–63. doi: <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2020.105.48-63>
- Rogov, Ye. I., Kussainov, A. A., Gumenyuk, V. V. (2018). Physical models of solid mass and related processes in interaction with foundations. Journal of Mechanical Engineering Research & Developments, 41 (2), 65–74. doi: <https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2018.65.74>
- Vasidzu, K. (1987). Variatsionnye metody v teorii uprugosti i plastichnosti. Moscow: Mir, 542.
- Kolmogorov, V. L. (1986). Mekhanika obrabotki metallov davleniem. Moscow: Metallurgii, 686.
- Gun, G. Ia. (1980). Teoreticheskie osnovy obrabotki metallov davleniem. Moscow: Metallurgii, 456.
- Tarnovskii, I. Ia., Pozdeev, A. A., Ganago, O. A. et al. (1963). Teoriia obrabotki metallov davleniem. Moscow: Metallurgizdat, 673.
- Zubchaninov, V. G. (2002). Matematicheskaiia teoriia plastichnosti. Tver: TGTU, 300.
- Krysko, A. V., Papkova, I. V., Rezchikov, A. F., Krysko, V. A. (2022). A New Mathematical Model of Functionally Graded Porous Euler–Bernoulli Nanoscaled Beams Taking into Account Some Types of Nonlinearities. Materials, 15 (20), 7186. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15207186>
- Bondar, V. S., Danshin, V. V. (2008). Plastichnost. Proportcionalnye i neproportcionalnye nagruzheniia. Moscow: Fizmatlit, 176.
- Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S. (2021). Closed problem of plasticity theory. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 56 (4), 867–876.
- Timoshenko, S. P., Guder, Dzh. (1979). Teoriia uprugosti. Moscow: Nauka, 560.
- Dorofeyev, O. A., Kovtun, V. V. (2019). Estimation of the Stress-Strain State of a Discrete Medium by a Plastic Flow Model. Problems of tribology, 93 (3), 29–38. doi: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2019-93-3-29-38>
- Andersen, R. G., Londono, J. G., Woelke, P. B., Nielsen, K. L. (2020). Fundamental differences between plane strain bending and far-field plane strain tension in ductile plate failure. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2020.103960>
- Stampouloglou, I. H., Theotokoglou, E. E. (2009). Additional Separated-Variable Solutions of the Biharmonic Equation in Polar Coordinates. Journal of Applied Mechanics, 77 (2). doi: <https://doi.org/10.1115/1.3197157>
- El-Naaman, S. A., Nielsen, K. L., Niordson, C. F. (2019). An investigation of back stress formulations under cyclic loading. Mechanics of Materials, 130, 76–87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.01.005>
- Lopez-Crespo, P., Camas, D., Antunes, F. V., Yates, J. R. (2018). A study of the evolution of crack tip plasticity along a crack front. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 98, 59–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2018.09.012>
- Li, J., Zhang, Z., Li, C. (2017). Elastic-plastic stress-strain calculation at notch root under monotonic, uniaxial and multiaxial loadings. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 92, 33–46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.005>
- Pathak, H. (2017). Three-dimensional quasi-static fatigue crack growth analysis in functionally graded materials (FGMs) using coupled FE-XEFG approach. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 92, 59–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.05.010>
- Correia, J. A. F. O., Huffman, P. J., De Jesus, A. M. P., Cicero, S., Fernández-Canteli, A., Berto, F., Glinka, G. (2017). Unified two-stage fatigue methodology based on a probabilistic damage model applied to structural details. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 92, 252–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2017.09.004>

25. Kovalevska, I., Samusia, V., Kolosov, D., Snihur, V., Pysmenkova, T. (2020). Stability of the overworked slightly metamorphosed massif around mine working. *Mining of Mineral Deposits*, 14 (2), 43–52. doi: <https://doi.org/10.33271/mining14.02.043>
26. Sinekop, N. S., Lobanova, L. S., Parkhomenko, L. A. (2015). Metod R-funktsii v dinamichestkikh zadachakh teorii uprugosti. Kharkiv: KhGUPT, 95.
27. Hussein, N. S. (2014). Solution of a Problem Linear Plane Elasticity with Mixed Boundary Conditions by the Method of Boundary Integrals. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/323178>
28. Chigirinsky, V., Putnoki, A. (2017). Development of a dynamic model of transients in mechanical systems using argument-functions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (87)), 11–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101282>
29. Chigirinsky, V., Naumenko, O. (2019). Studying the stressed state of elastic medium using the argument functions of a complex variable. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (101)), 27–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177514>
30. Chigirinsky, V., Naumenko, O. (2020). Invariant differential generalizations in problems of the elasticity theory as applied to polar coordinates. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (107)), 56–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213476>
31. Chigirinsky, V., Naumenko, O. (2021). Advancing a generalized method for solving problems of continuum mechanics as applied to the Cartesian coordinate system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (113)), 14–24. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241287>
32. Tselikov, A. I. (1962). Teoriia rascheta usilii v prokatnykh stanakh. Moscow: Metallurgizdat, 494.
33. Arkulis, G. E., Dorogobid, V. G. (1987). Teoriia plastichnosti. Moscow: Metallurgiya, 251.
34. Tikhonov, A. N., Samarskii, A. A. (1999). Uravneniia matematicheskoi fiziki. Moscow: Izd-vo MGU, 799.
35. Muskhelishvili, N. I. (1966). Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoi teorii uprugosti. Moscow: Nauka, 709.
36. Kolmogorov, V. L. (1970). Napriazheniia, deformatsii, razrusheniia. Moscow: Metallurgiya, 230.
37. Klimenko, P. L. (2007). Kontaktnye napriazheniia pri prokatke. Dnepropetrovsk: POROGI, 285.
38. Pozdeev, A. A., Tarnovskii, V. I. (1959). O raschete konechnykh peremeshchenii po ikh prirashcheniiam pri OMD. *Izvestiia vuzov. Chernaia metallurgiya*, 6, 43–52.
39. Chigirinsky, V., Naizabekov, A., Lezhnev, S., Kuzmin, S., Naumenko, O. (2022). Solving applied problems of elasticity theory in geomechanics using the method of argument functions of a complex variable. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7 (119)), 105–113. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265673>

DOI: [10.15587/1729-4061.2024.290692](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.290692)

## MATHEMATICAL MODELING OF THE MELT FLOW IN THE CONE-RING CHANNEL OF THE EXTRUDER MATRIX (p. 83–98)

**Abdymanap Ospanov**

Kazakh National Agrarian Research University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3813-603X>

**Aigul Timurbekova**

Kazakh National Agrarian Research University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5955-9253>

**Dulat Zhalelov**

Kazakh National Agrarian Research University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9688-2639>

The peculiarity of the work is to develop a mathematical model of the melt flow in the cone-annular channel of the extruder die, which will allow you to choose the optimal geometric shape of the annular channel, as well as the angular rotation speed of the extruder screw. The object of the study is the cone-ring channel of the extruder matrix.

To solve the three-dimensional problem of turbulent and laminar unsteady motion, the FlowVision software package was used, which allows solving partial differential equations using the finite volume method. The correct choice of the geometric shape of the annular gap made it possible to change the molecular structure of the product by creating a maximum pressure value. The optimally selected angular rotation speed of the extruder screw made it possible to carry out deep melting of the product due to the conversion of the mechanical energy of the screw into thermal energy.

In the process of designing the forming of the cone-ring channel, the three volumes of the changing geometry of the stamp were selected, at the borders of the transition of which extreme points were observed. Deviations between the analyzed and experimental values of velocity and pressure were found in the limits of 9–12 % and 17–22 %, respectively.

Based on the analysis of the obtained results of modeling, the optimal geometric shape of the annular gap and the recommended angular rotation speed of the extruder screw were revealed.

The mathematical model proposed formed the basis of the developed design of the six-zone extruder. In the extruder, the geometric characteristics of the screw (variable pitch of the turns) were substantiated and selected, which provide the maximum effect of dissipation, i.e. autogenous mode of operation.

**Keywords:** mathematical model, FlowVision, combined feed, cone-ring channel, extruder matrix.

### References

1. Alimkulov, Zh. S., Veliamov, M. T., Fazylova, K. N., Shauliyeva, K. T., Bektursunova, M. J. (2020). Optimization mathematical models of raw material crushing in the production of compound feeds based on enriching feed concentrate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 8 (2), 29–36.
2. Borovsky, A. Yu., Kizatova, M., Sultanova, M., Abdrakhmanov, H. (2019). Mathematical foundations of the technological process of obtaining combined feeds. *Actual problems of modernity*, 3, 155–159.
3. Enayati, S., Ayoub, A. (2018). Applying Mathematical Optimization To Efficiently Make Better Decisions for Extrusion Technology: State-of-the-Art and Opportunities. *Biomass Extrusion and Reaction Technologies: Principles to Practices and Future Potential*, 243–260. <https://doi.org/10.1021/bk-2018-1304.ch013>
4. Malik, M., Kalyon, D. M., Golba, J. C. (2014). Simulation of Co-Rotating Twin Screw Extrusion Process Subject to Pressure-Dependent Wall Slip at Barrel and Screw Surfaces: 3D FEM Analysis for Combinations of Forward- and Reverse-Conveying Screw Elements. *International Polymer Processing*, 29 (1), 51–62. <https://doi.org/10.3139/217.2802>
5. Wu, K., Sun, Y., Peng, B., Ding, W., Wang, S. (2013). Modeling and experiment on rotary extrusion torque in ring-die pelletizing process. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29 (24), 33–39. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2013.24.005>
6. Chaturvedi, E., Rajput, N. S., Upadhyaya, S., Pandey, P. K. (2017). Experimental Study and Mathematical Modeling for Extrusion us-

- ing High Density Polyethylene. *Materials Today: Proceedings*, 4 (2), 1670–1676. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.006>
7. Nahemiah, D. (2016). Application of Response Surface Methodology (RSM) for the Production and Optimization of Extruded Instant Porridge from Broken Rice Fractions Blended with Cowpea. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5 (2), 105. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160502.13>
  8. Atukuri, J., Odong, B. B., Muyonga, J. H. (2019). Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 7 (12), 4147–4162. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1284>
  9. Kizatosva, M. Y., Sultanova, M. Zh., Borovsky, A. Y., Muslimov, N. Zh., Nokusheva, Z. A., Aitzhanov, Y. S. (2020). Mathematical planning of a multi-factor experiment and optimization of the feed extrusion process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 994, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/994/1/012022>
  10. Schittny, A., Ogawa, H., Huwyler, J., Puchkov, M. (2018). A combined mathematical model linking the formation of amorphous solid dispersions with hot-melt-extrusion process parameters. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 132, 127–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.09.011>
  11. Ostrikov, A., Ospanov, A., Vasilenko, V., Muslimov, N., Timurbekova, A., Jumabekova, G. (2019). Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modelling. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16 (4), 2875–2905. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019142>
  12. Adekola, K. A. (2016). Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6 (3). <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
  13. Mushtruk, M., Gudzenko, M., Palamarchuk, I., Vasylyv, V., Slobodyanyuk, N., Kuts, A. et al. (2020). Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>
  14. Kushnir, V., Gavrilov, N., Kim, S. (2017). Experimental Studies on Grain Material Extruding Process. *Procedia Engineering*, 206, 1611–1617. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.686>
  15. Lela, B., Musa, A., Zovko, O. (2014). Model-based controlling of extrusion process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74 (9-12), 1267–1273. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6054-6>
  16. Gomes, K. S., Berwian, G. F., Batistella, V. M. C., Bender, L. E., Reinehr, C. O., Colla, L. M. (2022). Nutritional and Technological Aspects of the Production of Proteic Extruded Snacks Added of Novel Raw Materials. *Food and Bioprocess Technology*, 16 (2), 247–267. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02887-0>
  17. Xu, M., Zhang, X., Zhang, Y., Wang, J., Li, J., Hu, Y. et al. (2023). Effect of screw speed, temperature and moisture on physicochemical properties of corn gluten meal extrudate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103 (12), 5782–5790. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12649>
  18. Okunola, A. A., Dottie, E. P., Moses, O. I., Adekanye, T. A., Okonkwo, C. E., Kaveh, M. et al. (2023). Development and Process Optimization of a Ready-to-Eat Snack from Rice-Cowpea Composite by a Twin Extruder. *Processes*, 11 (7), 2159. <https://doi.org/10.3390/pr11072159>
  19. Altan, A., Yağci, S. (2023). Physicochemical characteristics and structural changes of fermented faba bean extrudates prepared by twin-screw extrusion. *Food Chemistry*, 411, 135502. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135502>
  20. Bachurina, M., Kazakov, A., Trufanova, N. (2014). Mathematical modelling of stratified flow of polymer melts in an axisymmetric formulation. *PNRPU Mechanics Bulletin*, 2, 102–124. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2014.2.05>
  21. Ostrikov, A. N., Afanasiev, V. A., Frolova, L. N., Nesterov, D. A., Sizikov, K. A. (2021). Pat. RF No. 2750158. Extruder.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299180

**DETERMINING THE THERMALLY-STRESSED STATE OF MOTOR-DRIVEN BOWLS FOR TRANSPORTING LIQUID SLAG (p. 99–106)**

**Viktor Povorotnii**

Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9128-902X>

**Iryna Shcherbyna**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3968-4326>

**Serhii Zdanevych**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8594-3806>

**Nina Diachenko**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8506-9204>

**Tetiana Kimstach**

Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8993-201X>

**Lyudmila Solonenko**

Odesa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2092-8044>

**Ruslan Usenko**

Ukrainian State University of Science and Technologies,  
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8007-9702>

Slag bowls were chosen as the object of research, as important components of blast furnace, steelmaking, and ferroalloy shops of metallurgical enterprises. The main problem of operation of any slag trucks is their limited durability and frequent destruction of slag bowls. The reason for these problems is changes in the shape of the bowls during operation, manifested in the formation of narrowing places in the area of the support ring – for rail-mounted bowls, destruction of supporting pins – for rail-mounted slag trucks, or cracks in the walls. Those defects appear as a result of cyclic thermal effects of liquid slag on the bowl. Based on the results of computer simulation, it was established that the main role in the destruction of the support pins of motor-driven slag bowls belongs to temperature changes. The temperature stresses arising in the bowl are localized in the area of the slag mirror (200–250 MPa for 25L steel, 280–350 MPa for 30HML steel). The results provide grounds for improving the presented slag bowl to reduce temperature stresses in its walls and structures of the supporting trunnions. The results reported here are explained by the fact that with uneven heating of elastic bodies, temperature stresses appear, which, under certain configurations of temperature loads, lead to the destruction of structures. The findings from these studies are recommended to be used at enterprises for the design and manufacture of slag bowls, as information on the localization of dangerous places of the structure. In addition, the data presented here could be useful for metallurgical enterprises for detailed technical diagnosis of bowls in their dangerous places.

**Keywords:** slag bowl, blast furnace slag, thermal stresses, temperature, bowl thermal resistance.

## References

1. Nabarro, F. R. N. (1981). The calculation of thermal stresses in cylinders. *International Journal of Engineering Science*, 19 (12), 1651–1656. [https://doi.org/10.1016/0020-7225\(81\)90157-9](https://doi.org/10.1016/0020-7225(81)90157-9)
2. Ivanchenko, I. F. (1977). Issledovanie opytnogo obraztsa shlakovoza s chashey emkost'yu 24 m<sup>3</sup>. Otchet po NIR DMetI Otchet o NIR (zaklyuchitel'niy)/DMetI i DZMO. Dnepropetrovsk, 148.
3. Lee, J., Hwang, K.-Y. (1996). Prediction of thermal stresses during vertical solidification of a pure metal with density change. *Journal of Materials Processing Technology*, 57 (1-2), 85–94. [https://doi.org/10.1016/0924-0136\(95\)02065-9](https://doi.org/10.1016/0924-0136(95)02065-9)
4. Wang, L., Chen, L., Yuan, F., Zhao, L., Li, Y., Ma, J. (2023). Thermal Stress Analysis of Blast Furnace Hearth with Typical Erosion Based on Thermal Fluid-Solid Coupling. *Processes*, 11 (2), 531. <https://doi.org/10.3390/pr11020531>
5. Emelin, M. V., Rahmanov, S. R. (2009). K voprosu otsenki termopryazhennogo sostoyaniya i termoprochnosti chash shlakovozov. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, 2, 105–107. Available at: <https://www.metaljournal.com.ua/mgp-02-2009/>
6. Rassokhin, D. O., Chigarev, V. V., Loza, V. A., Shishkin, V. V. (2014). Research of strain in the slag cars walls. Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences, 27, 172–176. Available at: [https://journals.urau.ua/vestnikpgtu\\_tech/article/view/31526](https://journals.urau.ua/vestnikpgtu_tech/article/view/31526)
7. Neacșu, I. A., Scheichl, B., Rojacz, H., Vorlaufer, G., Varga, M., Schmid, H., Heiss, J. (2015). Transient Thermal-Stress Analysis of Steel Slag Pots: Impact of the Solidifying-Slag Layer on Heat Transfer and Wear. *Steel Research International*, 87 (6), 720–732. <https://doi.org/10.1002/srin.201500203>
8. Rojacz, H., Neacșu, I. A., Widder, L., Varga, M., Heiss, J. (2016). Thermal effects on wear and material degradation of slag pots operating in steel production. *Wear*, 350-351, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.12.009>
9. Oyama, K., Naito, M., Sato, Y., Kozai, K. (2020). Development of Long-Life Slag Pot by Optimizing Stiffness Structurally for Temperature Distribution. *AISTech2020 Proceedings of the Iron and Steel Technology Conference*. <https://doi.org/10.33313/380/241>
10. Szklarz, A., Bydałek, A. W., Migas, P., Pytel, A., Jaśkowiec, K., Bitka, A. et al. (2022). Analysis of Thermal Interactions in the Slag Pots for Transporting Copper Slags. *International Journal of Heat and Technology*, 40 (2), 646–652. <https://doi.org/10.18280/ijht.400236>
11. Benasciutti, D., Brusa, E., Bazzaro, G. (2010). Finite elements prediction of thermal stresses in work roll of hot rolling mills. *Procedia Engineering*, 2 (1), 707–716. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.03.076>
12. Singh, N., Kaur, J., Thakur, P. (2022). Analysis of thermal stresses in different materials: A systematic review. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0095799>
13. Prihod'ko, E. V., Togobitskaya, D. N., Hamhot'ko, A. F., Stepanenko, D. A. (2013). Prognozirovanie fiziko-himicheskikh svoystv oksidnykh sistem. Dnepropetrovsk: Porogi, 344.
14. Timoshenko, S. (1976). *Strength of Materials. Part 2. Advanced Theory and Problems*. Melbourne (Florida): Krieger Publishing Company, 588.
15. Guo, Y., Wen, S.-R., Sun, J.-Y., He, X.-T. (2022). Theoretical Study on Thermal Stresses of Metal Bars with Different Moduli in Tension and Compression. *Metals*, 12 (2), 347. <https://doi.org/10.3390/met12020347>
16. Bathe, K.-J. (2016). *Finite element Procedures*. Prentice Hall, 1043.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296620

### ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДОВИХ ТИПУ СЕНДВІЧ НА НАВАНТАЖЕНІСТЬ КРИШКИ ЛЮКА УНІВЕРСАЛЬНОГО НАПІВВАГОНА (с. 6–13)

А. О. Ловська, В. П. Нерубацький, О. А. Плахтій, С. С. Мямлін

Об'єктом дослідження є процеси виникнення, сприйняття та перерозподілу навантажень в удосконаленій конструкції кришки люка універсального напіввагона.

Для зменшення навантаженості кришки люка напіввагона, а відповідно і покращення міцності, запропоновано удосконалення її конструкції шляхом впровадження сендвіч-складових. Проведено визначення товщини листів, які утворюють полотно кришки люка. Досліджено динамічну навантаженість кришки люка у вертикальній площині. Встановлено, що прискорення, які діють на кришку люка з урахуванням запропонованого удосконалення, майже на 20 % нижчі за ті, що діють на типову конструкцію. Визначено основні показники міцності кришки люка при експлуатаційних режимах її навантаження. Результати проведеного розрахунку показали, що максимальні напруження в кришці люка на 22 % нижче за допустимі. Також в рамках дослідження визначено основні показники динаміки напіввагона, обладнаного запропонованою конструкцією кришок люків. Хід руху напіввагона за умови переміщення у порожньому стані оцінюється як "добрий". При цьому максимальні прискорення в центрі мас несучої конструкції напіввагона склали  $4,6 \text{ м/с}^2$ , а коефіцієнт вертикальної динаміки – близько 0,6.

Особливістю результатів, отриманих в рамках даного дослідження, є те, що запропоноване удосконалення кришки люка сприяє покращенню її міцності шляхом зменшення динамічної навантаженості, а не посилення конструкції.

Сферою практичного використання отриманих результатів є машинобудівна галузь, зокрема, залізничний транспорт. Умовами практичного використання результатів дослідження є застосування енергопоглинального матеріалу в складових типу сендвіч, що утворюють кришку люка.

Проведені дослідження сприятимуть формуванню рекомендацій щодо створення складових конструкцій сучасних вантажних вагонів, зменшенню витрат на їх утримання в експлуатації, а також підвищенню рентабельності залізничних перевезень.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, кришка люка напіввагона, міцність кришки люка, навантаженість напіввагона.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298842

### ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ НА ШИРИНУ ТРІЩИНИ ВИСОКОМІЦНОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ З ПОЛІПРОПІЛЕНОВИМ ВОЛОКНОМ З ВІДХОДІВ МЕДИЧНИХ МАСОК (с. 14–21)

Diana Ningrum, Agoes Soehardjono, Hendro Suseno, Ari Wibowo

Тріщини в бетонних конструкціях через слабкість на розтяг можна усунути за допомогою фібробетону, в тому числі відходів медичної маски як добавки до високоміцних бетонних сумішей. Це дослідження впливу поліпропіленового волокна з відходів медичної маски на механічні характеристики, поведінку при вигині та ширину тріщини балок із високоміцного залізобетону (ЗБ). На початковому етапі досліджували властивості бетонних складових матеріалів. Процес випробування базувався на проектуванні високоміцної бетонної суміші з використанням таблиці розрахунку суміші за методом Айтчина. Міцність на стиск і міцність на розрив випробували при вмісті волокон (0 %, 0,15 %, 0,20 % і 0,25 %). Процедуру триточкового випробування на згин проводили через 28 днів на РС балках  $1200 \times 100 \times 150$  (мм). Використання лінійного змінного диференціального перетворювача, тензодатчиків та інших вимірювальних пристроїв підтримало отримання необхідних даних. Результати показали, що міцність на розрив досягла оптимального значення  $66,19 \text{ МПа}$  при вмісті волокна 0,24 %. Поліпропіленове волокно з відходів медичної маски в ЗБ балках продемонструвало позитивний вплив на зменшення ширини тріщини при збільшенні міцності на розрив. Вміст клітковини у відпрацьованій масці 0,15 %, 0,20 % і 0,25 % дав стабільні та кращі результати порівняно з 0 % вмістом (без клітковини). Завдяки високому напруженню сталі ( $f_s$ ) і високій деформації він пропонує потенціал для покращення механічних властивостей високоміцного бетону, тим самим зменшуючи ширину тріщин, які виникають. Це покращує міцність бетону на розрив. Вплив межі міцності на розрив на ширину тріщини ( $w$ ) балок із підходом формули:  $w_{exp}=3,74ftf^{-1,513}$ ,  $w_{an}=0,187ftf^{0,022}$  показує, що експериментальні результати мають значний вплив на зменшення ширини тріщини, яка виникає в високоміцні ЖБ балки, тим самим покращуючи якість бетону.

**Ключові слова:** міцність на розрив, ширина тріщини, високоміцність, залізобетонна балка, відходи медичної маски, поліпропіленове волокно.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298737

### ПОБУДУВАННЯ ОДНОРІДНИХ РІШЕНЬ ЗАДАЧІ КРУЧЕННЯ ДЛЯ РАДІАЛЬНО-НЕОДНОРІДНОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОГО ЦИЛІНДРА (с. 22–29)

Н. К. Ахмедов

Методом асимптотичного інтегрування рівнянь теорії пружності досліджено задачу кручення для радіально-неоднорідного трансверсально-ізотропного циліндра малої товщини. Передбачається, що бічна частина циліндра вільна від напружень, а на торцях

циліндра задані граничні умови, що залишають циліндр в рівновазі. Вважається, що модулі пружності є довільними безперервними функціями змінної по радіусу циліндра. Сформульована крайова задача зводиться до спектральної задачі, що містить малий параметр, що характеризує тонкостінність циліндра. Побудовані однорідні рішення, тобто всякі рішення рівняння рівноваги, що задовольняють умові відсутності напружень на бічних поверхнях. Показано, що рішення задачі кручення складається з проникаючого рішення та рішення характеру граничного шару, аналогічного крайовому ефекту Сен-Венана в теорії неоднорідних плит. Проникаюче рішення визначає внутрішній напружено-деформований стан радіально-неоднорідного циліндра. Напружений стан, що визначається проникаючим рішенням, еквівалентний крутним моментам напружень, що діють у поперечному перерізі, перпендикулярному осі циліндра. Рішення, що мають характер граничного шару, локалізовані біля торців циліндра і при видаленні від торців експоненціально зменшуються. Ці рішення відсутні у прикладних теоріях оболонки. Побудовано асимптотичні формули для переміщення та напружень, що дозволяють розрахувати тривимірний напружено-деформований стан радіально-неоднорідного трансверсально-ізотропного циліндра малої товщини. На основі отриманих асимптотичних розкладів можна оцінити області застосування прикладних теорій і побудувати уточнену прикладну теорію для радіально-неоднорідних циліндричних оболонок.

**Ключові слова:** задача кручення, модулі пружності, проникаюче рішення, граничний шар, крутний момент.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298646

## ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОДНОКАМЕРНОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА ПАЛИВНОГО НАСОСУ НА ЙОГО ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ (с. 30–36)

В. І. Назін

Об'єктом дослідження є гідростатичні процеси в опорах рідинного тертя паливних авіаційних насосів шестерного типу.

Вирішувалась проблема впливу конструктивних параметрів однокамерного гідростатичного підшипника на його основні характеристики. В якості основних характеристик розглядалися несуча здатність і витрата робочої рідини. При визначенні основних характеристик однокамерного гідростатичного підшипника вирішувалися спільно рівняння Рейнольдса та балансу витрат. Отримана епюра розподілу тисків по робочій поверхні підшипника використовувалася для визначення основних характеристик.

Досліджувався вплив зазору, діаметру жиклера і ширини камер на несучу здатність та витрату робочої рідини однокамерного гідростатичного підшипника.

Встановлено, що зі збільшенням зазору несуча здатність однокамерного підшипника зменшується, а витрата робочої рідини збільшується. Зі збільшенням діаметра жиклера несуча здатність підшипника зростає. Збільшення ширини камер призводить до зростання несучої здатності та витрати робочої рідини через підшипник. При збільшенні зазору з 0,0125 мм до 0,0425 мм несуча здатність підшипника знижується в 1,156 рази. Витрата робочої рідини через підшипник зростає в 1,4 рази. Зі збільшенням діаметра жиклера з 1,5 мм до 3 мм несуча здатність підшипника трохи зростає приблизно в 1,02 рази. Збільшення ширини камер з 4 мм до 8 мм підвищує несучу здатність в 1,29 рази і збільшує витрату робочої рідини в 1,4 рази.

Отримані результати показують, що однокамерний гідростатичний підшипник може забезпечити необхідну несучу здатність підбором конструктивних параметрів. Наведені математичні залежності можуть бути використані для практичних розрахунків однокамерних гідростатичних підшипників.

**Ключові слова:** однокамерний підшипник, діаметр жиклера, ширина камер, несуча здатність, витрата мастила.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296842

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТРАКТОРА З ПЕРЕДНІМ ПЛУГОМ БЕЗ ОПОРНОГО КОЛЕСА (с. 37–47)

В. Т. Надикто, Г. А. Голуб, В. М. Кюрчев, Н. М. Цивенкова, Г. А. Петров, Я. Д. Ярош

Об'єктом дослідження є трактор з переднім плугом без опорного колеса. Одним із способів уникнення застосування баласту є використання плугів з передньою навіскою, які працюють в режимі «пшовхання». Як правило, такі плуги оснащені хоча б одним опорним колесом. Наявність останнього ускладнює конструкцію плуга і, безумовно, впливає на ступінь вертикального навантаження на керовані колеса мобільного засобу.

За допомогою розробленої математичної моделі та відповідних амплітудних і фазових частотних характеристик досліджено динаміку вертикальних коливань передньої осі трактора з фронтальним навісним плугом без опорного колеса. В якості збудовального впливу розглянуто вертикальні коливання сумарної сили, що діють на трактор з боку плуга. За результатами моделювання збільшення вертикального навантаження передньої осі трактора на 600 кг обумовлює бажане зменшення значення амплітуди та збільшення фази зовнішніх збурень динамічної системи. Чим вища частота коливань збурення, тим більш прийнятними стають ці характеристики. Встановлено, що для покращення реакції досліджуваної динамічної системи на збурення необхідно зменшити коефіцієнт жорсткості шин передніх коліс. На практиці це досягається шляхом регулювання тиску повітря в шинах. Амплітудно-частотні характеристики системи майже не змінюються при збільшенні коефіцієнта демпфування шин передніх коліс трактора в діапазоні від 1 до 3 кН·с/м, тоді як фазово-частотні характеристики покращуються. Особливо це помітно на частотах коливань збудовального впливу в діапазоні 0–10 с<sup>-1</sup>.

Результати можуть бути покладені в основу оцінки ефективності роботи тракторів з переднім плугом без опорного колеса на ґрунтообробних операціях. Така ефективність може бути досягнута за умови практичної реалізації запропонованих у даній роботі рекомендацій щодо вибору конструктивних параметрів шин передніх коліс трактора.

**Ключові слова:** орний агрегат, передній навісний механізм, «push-pull», фронтальний плуг, коефіцієнт жорсткості шин, коефіцієнта демпфування шин.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298204

**ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДВОРЯДНОГО СКЛООЧИСНИКА З КРИВОЛІНІЙНОЮ ПОВЕРХНЕЮ СКЛА (с. 48–59)**

К. Е. Голенко, О. В. Диха, Ю. І. Войчишин, О. З. Горбай, М. О. Диха, В. О. Дитинюк

Серед критеріїв оцінки визначення ефективності очищення вікон автомобільного транспорту важливим є розподіл тиску гумової щітки склоочисника по поверхні скла. Проблема полягає у відсутності нормування даного показника Правилами United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) щодо сертифікації склоочисників. Неоднорідність розподілу тиску звичайного склоочисника, який виступає об'єктом досліджень, додатково обумовлена рухливістю ланок його механізму і пластичністю гумової щітки разом з лезом. Величина тиску не має становити більше 30–50 кПа (33.4 кПа зафіксовано для випадку знерухомленого склоочисника), а зовнішнє нормальне навантаження на каркас повинно зберігатися в межах 20...30 Н. Під дією навантаження 24 Н лезо склоочисника zdeформувалося на 1.48 мм (згідно R43 не може перевищувати 1.5 мм). Подальше навантаження каркаса склоочисника викликає пластичні деформації двох типів: локальні й глобальні (втрата форми гумової щітки). Локальні повні переміщення зросли до 1.82 мм, а форма леза набула «посіченого» характеру, що спричиняє появу тонких струменів бруду. Глобальні – призвели до вигину гумової щітки з утворенням зазору між нею та склом (5.7 мм) й спричинили появу сліпої зони. Були досліджені моделі математичного прогнозування поведінки пошарових деформацій звичайного склоочисника. Додатково розроблено модель дворядного леза з окремими щітками, що забезпечують розпаралелення потоків води та пояснюють зростання ефективності його конструкції. Гідродинамічні тести показали у 1.58 рази більшу результативність порівняно з класичним однорядним лезом: швидкість потоку води становила 15.61 проти 9.86 м/с. Розробка є предметом патенту та можливого робочого прототипу.

**Ключові слова:** розподілений тиск, пластичні деформації, напружено-деформований стан, демпфування, гідродинаміка, об'ємна витрата, турбулентність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298427

**АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС НАЛАШТУВАННЯ ВАЛКІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ПРУЖНОГО ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ (с. 60–65)**

С. Ф. Пилипака, В. І. Хропост, Т. М. Воліна, Т. А. Кресан, С. П. Бородай

Об'єктом дослідження є процес згинання листового матеріалу із врахуванням його пружинення. При виготовленні листових деталей згинанням із абсолютно пружного листа його форма повністю відновлюється після припинення деформації на відміну від пружного листа. Так, при виготовленні циліндричних деталей протягуванням між трьома валками отриманий радіус циліндричної деталі буде більшим від розрахункового. Таке явище оцінюється коефіцієнтом пружинення – відношенням розрахункового радіуса до отриманого після часткового розгинання.

При виготовленні конічних деталей такий підхід не може бути застосований, бо величина радіуса є змінною. У статті застосовано теорію згинання поверхонь із диференціальної геометрії. Кривина лінії на поверхні має дві складові – нормальну і геодезичну. При згинанні поверхні змінюється нормальна складова, а геодезична залишається незмінною. Величина нормальної складової залежить від кута між твірною конуса і його віссю. Так, для конуса з основою радіуса  $R$  і кутом  $20^\circ$  нормальна кривина становить  $0,94/R$ , а геодезична –  $0,34/R$ . Для циліндричних деталей геодезична кривина поперечного перерізу (кола) дорівнює нулю, отже і враховувати її не потрібно.

Зазвичай налаштування валків на виготовлення конічних деталей здійснюється експериментальним шляхом. Відмінність запропонованого підходу полягає в усуненні цієї проблеми завдяки розкладанню кривини основи конуса на дві складові. Це дозволяє розрахувати параметри налаштування валків і тим само скоротити час їх налагодження. Розраховано параметри валків та їх взаємне розміщення для виготовлення конічних деталей потрібного розміру із врахуванням їх пружинення. Сфера застосування отриманих результатів – виготовлення деталей згинанням плоских заготовок із металевого листа.

**Ключові слова:** нормальна кривина, геодезична кривина, листовая деталь, розрахунок заготовки, конічні валки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293842

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ АСИМЕТРИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПЛАСТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА З ПРОТИСПРЯМОВАНОЮ ТЕЧІЄЮ МЕТАЛУ (с. 66–82)**

В. В. Чигиринський, А. Б. Найзабеков, С. М. Лежнев, О. Г. Науменко, С. Л. Кузьмин

Аналітично вирішена плоска задача теорії прокатки з використанням методу аргумент функцій комплексної змінної. Показано розв'язання задачі з погляду асиметрії, протиспрямованої течії металу, взаємодії зон в осередку деформації. Запропонована фізична модель дозволяє визначити вплив різних факторів на силові та деформаційні параметри процесу, охарактеризувати особливості пластичної формозміни в єдиному осередку деформування з боку зон відставання та випередження.

Ефекти пластичного деформування доводять, що взаємодія зон з протиспрямованої течією металу може бути фактором змін в осередку обтіску. Проаналізовано напружений стан проміжних схем навантаження. Доведено, що стійкість процесу прокатки (відсутність пробуксовки) визначається факторами: форма осередку деформації, контактне тертя, кут захоплення, умови реалізації захоплюючої здатності валків.

Використання математичної моделі процесу дозволяє детальніше розглянути переходи в осередку деформації з наочним поданням епіор контактних напружень. З'являється наочна можливість оцінки захоплюючої здатності валків по епіорах нормальних та дотичних напружень від локальних параметрів процесу.

Показано, що взаємодія зон з протилежним перебігом металу є аналогом дії заднього розтягувального напруження за всіма параметрами впливу на процес формозміни. Проведені дослідження підтверджують загальноприйняті положення теорії прокатки, але виявляють ефекти пластичного деформування в умовах різного напруженого стану за рахунок різних режимів навантаження. Виявлена зона досяжності лімітованого осередку деформації.

Результати роботи дозволяють виявити ефекти пластичної деформації зі зниженням загального зусилля в процесах, які знаходяться в зонах досяжності лімітного осередку обтиску в умовах зростання кінематичного навантаження при зміні кутів захоплення в межах 0,077...0,168.

**Ключові слова:** асиметрія навантаження, протиспрямована течія металу, плоска задача, ефекти пластичного деформування.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.290692**

### **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ РОЗПЛАВУ В КОНУСНО-КІЛЬЦЕВОМУ КАНАЛІ МАТРИЦІ ЕКСТРУДЕРА (с. 83–98)**

**Abdymanap Ospanov, Aigul Timurbekova, Dulat Zhalelov**

Особливістю роботи є розробка математичної моделі течії розплаву в конусно-кільцевому каналі матриці екструдера, яка дозволить підібрати оптимальну геометричну форму кільцевого каналу, а також кутову швидкість обертання шнека екструдера. Об'єктом дослідження є конусно-кільцевий канал матриці екструдера.

Для вирішення тривимірної задачі турбулентного і ламінарного нестационарного руху був використаний програмний комплекс FlowVision, що дозволяє вирішувати диференціальні рівняння в частинних похідних методом скінченних об'ємів. Правильний вибір геометричної форми кільцевого зазору дозволив змінити молекулярну структуру продукту за рахунок створення максимального значення тиску. Оптимально підібрана кутова швидкість обертання шнека екструдера дозволила здійснити глибоке розплавлення продукту за рахунок перетворення механічної енергії шнека в теплову енергію.

В процесі проектування формоутворення конусно-кільцевого каналу були обрані три області зміни геометрії штамп, на межах переходу яких спостерігалися крайні точки. Відхилення між аналізованими та експериментальними значеннями швидкості та тиску були виявлені в межах 9–12 % та 17–22 % відповідно.

На основі аналізу отриманих результатів моделювання руху розплаву продукту в конусно-кільцевому каналі матриці екструдера були виявлені оптимальна геометрична форма кільцевого зазору і рекомендована кутова швидкість обертання шнека екструдера.

Запропонована математична модель лягла в основу розробленої конструкції шестизонного екструдера. В екструдері були обґрунтовані і підібрані геометричні характеристики шнека (змінний крок витків), які забезпечують максимальний ефект розсіювання, тобто автогенний режим роботи.

**Ключові слова:** математична модель, FlowVision, комбікорм, конусно-кільцевий канал, матриця екструдера.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299180**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЧАШ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ РІДКОГО ШЛАКУ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ХОДУ (с. 99–106)**

**В. В. Поворотній, І. В. Щербина, С. В. Зданевич, Н. К. Дьяченко, Т. В. Кімстач, Л. І. Солоненко, Р. В. Усенко**

Об'єктом дослідження були обрані шлакові чаші, як важливі складові доменних, сталеплавильних і феросплавних цехів металургійних підприємств. Основною проблемою експлуатації будь-яких шлаковозів є їх обмежена довговічність і часті руйнування шлакових чаш. Причиною цих проблем є зміни в процесі експлуатації форми чаш, що проявляються в утворенні місць звуження в районі опорного кільця – для чаш на залізничному ході, руйнування опорних цапф – для шлаковозів на автомобільному ході, або тріщин у стінках. Вищевказані дефекти з'являються внаслідок циклічних теплових впливів рідкого шлаку на чашу.

Ґрунтуючись на результатах комп'ютерного моделювання встановлено, що основну роль по руйнації опорних цапф шлакових чаш на автомобільному ході здійснюють саме температурні переміщення. Температурні напруження, що виникають в чаші, локалізуються в зоні розташування дзеркала шлаку (200–250 МПа для сталі 25Л, 280–350 МПа для сталі 30ХМЛ).

Отримані результати дають підстави для вдосконалення представленої шлакової чаші в напрямку зменшення температурних напружень в її стінках та конструкції опорних цапф.

Отримані результати пояснюються тим, що при нерівномірному нагріванні пружних тіл з'являються температурні напруження, які при певних конфігураціях температурних навантажень призводять до руйнування конструкцій.

Результати отриманих досліджень рекомендується використовувати на підприємствах по конструюванню та виготовленню шлакових чаш в якості інформації щодо локалізації небезпечних місць конструкції. Також представлена інформація буде корисна для металургійних підприємств задля детальної технічної діагностики чаш в їх небезпечних місцях.

**Ключові слова:** шлакова чаша, шлак доменного виробництва, температурні напруження, температурне поле чаші.