

ABSTRACT AND REFERENCES

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328828

DEVELOPING AN EFFICIENT AND ECONOMICALLY VIABLE METHOD FOR PINE NUT PROCESSING (p. 6–16)

Ayat Khamitbek

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2321-7686>

Mir Butabayev

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4927-6318>

Ainura Kairbayeva

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9578-7795>

Sarsembek Oralbayev

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4508-432X>

Galymzhan Nasrullin

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0528-3391>

This study examines the strength characteristics of pine nut shells to enhance kernel extraction efficiency. Current methods have drawbacks, including high kernel damage, preheating, and excessive energy use. Laboratory tests using the ST-2 structural meter analyzed the shell's mechanical and rheological properties under varying moisture conditions.

The most effective shell-breaking method without kernel damage (for nuts 10.8–11.4 mm in diameter) involves a 90° cone indenter at a shell moisture level of 16–17%, with an average breaking force of 7.0 kg. Mathematical modeling determined that under an impact force of 49 N and deformation of 1.1–1.3 mm, the required fracture energy is 0.245 J. Finite element analysis in Inventor software confirmed a pre-fracture displacement of 0.016 mm, with stress uniformly distributed across the shell.

A pendulum-based test rig studied shell fracture under impact loads. The optimal cracking mode was achieved with an impact mass of 40–60 g at a velocity of 35–40 m/s. A grooved impact surface (90°) with an L/D ratio of 0.4–0.6 reduced fracture energy by 10–15%.

Pre-acceleration in an air stream before impact caused the least kernel damage, but low aerodynamic resistance limited efficiency. To address this, a new device was developed, combining a rotating toothed disk for initial acceleration with a compressed air stream to achieve an optimal velocity of 35–40 m/s. This approach increased whole kernel yield by 15–20%, reduced energy consumption by 10%, and minimized product damage.

The proposed method improves pine nut processing by increasing efficiency, reducing waste, and lowering costs. It is applicable in food and pharmaceutical industries for optimized kernel extraction while preserving product integrity.

Keywords: pine nut, shell, efficient device, rheological and mechanical properties, strength calculation.

References

- Cárcel, L. M., Bon, J., Acuña, L., Nevares, I., del Álamo, M., Crespo, R. (2012). Moisture dependence on mechanical properties of pine nuts from *Pinus pinea* L. *Journal of Food Engineering*, 110 (2), 294–297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.018>
- Li, L., Man, X., Zhang, H., Lan, H., Tang, Y., Fan, X., Zhang, Y. (2023). Determination of Critical Moisture Content Facing Walnut Shell Breaking and Optimization of Combined Hot Air and Microwave Vacuum Drying Process. *Applied Sciences*, 13 (24), 13287. <https://doi.org/10.3390/app132413287>
- Han, B., Su, G., Zeng, Y., Yang, J., Fan, X., Zhang, Y. et al. (2023). FDEM investigation on the crack propagation characteristics of walnut shell under multi-contact loadings. *Frontiers in Materials*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1293683>
- Nevzorov, V. N., Kokh, Zh. A., Golubev, I. V. (2023). Technology and equipment for extraction pine nut kernels. *Conifers of the boreal area*, XLI (6), 536–540.
- Lisowski, A., Pajor, M., Świętochowski, A., Dąbrowska, M., Kłownikowski, J., Mieszkalski, L. et al. (2019). Effects of moisture content, temperature, and die thickness on the compaction process, and the density and strength of walnut shell pellets. *Renewable Energy*, 141, 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.050>
- Queirós, C. S. G. P., Cardoso, S., Lourenço, A., Ferreira, J., Miranda, I., Lourenço, M. J. V., Pereira, H. (2019). Characterization of walnut, almond, and pine nut shells regarding chemical composition and extract composition. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10 (1), 175–188. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00424-2>
- Vursavuş, K., Özgüven, F. (2005). Fracture Resistance of Pine Nut to Compressive Loading. *Biosystems Engineering*, 90 (2), 185–191. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.11.004>
- Man, X., Li, L., Zeng, Y., Tang, Y., Yang, J., Fan, X. et al. (2023). Mechanical impact characteristics of hollow shell granule based on continuous damage theory. *Powder Technology*, 429, 118946. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118946>
- Özgüven, F., Vursavuş, K. (2005). Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus pinea*) nuts. *Journal of Food Engineering*, 68 (2), 191–196. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.031>
- Abdoh, D. A. (2024). Three-dimensional modeling of impact fractures in brittle materials via peridynamics. *Engineering Fracture Mechanics*, 297, 109884. <https://doi.org/10.1016/j.engfractmech.2024.109884>
- Khamitbek, A. H., Kairbayeva, A. E. (2024). Experimental studies for the Development of special equipment for cleaning cedar nuts from the shell. *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*, 333 (2), 34–40. <https://doi.org/10.31643/2025/6445.15>
- Huang, B., Liu, J., Jiao, J., Lu, J., Lv, D., Mao, J. et al. (2022). Applications of machine learning in pine nuts classification. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12754-9>
- Li, L., Mao, B., Zeng, Y., Tang, Y., Man, X., Fan, X. et al. (2023). Experimental study on crack irregularity of hollow shell particle under impact loading. *Powder Technology*, 427, 118704. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118704>
- Zhang, H., Liu, H., Zeng, Y., Tang, Y., Zhang, Z., Che, J. (2022). Design and Performance Evaluation of a Multi-Point Extrusion Walnut Cracking Device. *Agriculture*, 12 (9), 1494. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091494>
- Man, X., Li, L., Zhang, H., Lan, H., Fan, X., Tang, Y., Zhang, Y. (2023). Study on the Relationship between Crack Initiation and Crack Bifurcation in Walnut Shells Based on Energy. *Agriculture*, 14 (1), 69. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010069>
- Nevzorov, V. N., Koch, Zh. A., Matskevich, I. V., Golubev, I. V. (2022). development of equipment for calibration and sorting of pine nuts. *Conifers of the boreal area*, XL (5), 439–443.
- Khamitbek, A. Kh., Kairbayeva, A. Y., Butabayev, M. Kh. (2024). Pat. No. 9833 KZ. A Device for Breaking the Shell of a Cedar Nut.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331742

CONSTRUCTION OF A PHYSICAL-MECHANICAL MODEL OF REINFORCING MICRORELIEF FORMATION ON PROFILED STRIPS MADE OF AISI 1005 AND AISI 347 STEELS CONSIDERING SURFACE TOPOLOGY (p. 17–29)

Petro Kyrychok

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9135-1006>

Dmytro Paliukh

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6697-2274>

This study's object is the process that forms a strengthening microrelief on the surface of profiled folding plates made of AISI 1005 and AISI 347 steels through localized indentation using a spherical indenter made of a diamond-based composite material. The principal hypothesis of the study posits that the implementation of a controlled surface texturing process enables the formation of a stable microrelief with predefined geometric characteristics. Achieving this requires establishing the regularities of microrelief formation depending on the physical and mechanical properties of the material, the geometry of the indenter, and the parameters of the contact interaction. A physical and mechanical model of the contact interaction between the indenter and the metallic plate has been built. The results of the analytical modeling were validated through profilometric measurements and 3D visualizations, which revealed differences in the depth and nature of deformation between AISI 1005 and AISI 347. The AISI 1005 steel exhibited higher plasticity and a greater tendency toward deep deformation, whereas AISI 347 demonstrated superior stability in the relief geometry. An evaluation of surface roughness parameters (R_a , R_z , R_{max}) indicated that the AISI 347 steel provides better reproducibility of the strengthening effect, with average R_a and R_z values being 2–2.5 times lower than those of AISI 1005. The correlation analysis of microrelief parameters revealed a strong relationship between R_a and R_z values, with a correlation coefficient ranging from 0.93 to 0.96. This finding confirms the stability of the microrelief formation mechanism and justifies the use of AISI 347 steel in combination with a $\varnothing 3.5$ mm indenter. The results of this study can be applied for manufacturing folding elements with enhanced wear resistance and geometric stability under cyclic loading conditions.

Keywords: strengthening microrelief, texturing, surface topography, diamond indenter, folding systems, profilograms.

References

- Kyrychok, P., Paliukh, D. (2024). Determining of the effect of reinforcing microrelief guides on the efficiency of folding integrated covers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (130)), 97–111. LOCKSS. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309481>
- Dzyura, V., Maruschak, P., Semehen, V., Holovko, V., Fediv, V. (2023). Justification of the Parameters of Regular Microreliefs Formed on Flat Surfaces. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1 (8 (39)), 37–47. [https://doi.org/10.32515/2664-262x.2023.8\(39\).1.37-47](https://doi.org/10.32515/2664-262x.2023.8(39).1.37-47)
- Tulupov, V., Onyshchuk, S. (2021). Research of surface reinforcement technologies for machine details. *Technical Sciences and Technologies*, 3 (25), 55–60. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3\(25\)-55-60](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-55-60)
- Posuvailo, V., Shovkoplias, M., Romaniv, M., Malinin, V. (2021). Comparison of methods of surface strengthening of machine parts by coatings. *Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 26 (4), 83–97. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.4.2021.253298>
- Maksymuk, O. V. (2020). The peculiarities in contact interaction and wear of thin-walled elements of construction. *Matematychni Metody Ta Fizyko-Mekhanichni Polya*, 63 (1). <https://doi.org/10.15407/mmpmf2020.63.1.133-148>
- Slavov, S. D., Dimitrov, D. M., Mincheva, D. Y., Dzyura, V., Maruschak, P., Semehen, V. (2025). Microstructure and Microhardness Research of Steel 304 After Forming Partially Regular Reliefs by Ball Burnishing Operation. *Materials*, 18 (7), 1565. <https://doi.org/10.3390/ma18071565>
- Zhang, L., Wu, Z. (2023). A mini-review of surface severe plastic deformation methods and their effects on steel and stainless steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 238 (3), 397–415. <https://doi.org/10.1177/14644207231190491>
- Cao, S. C., Zhang, X., Lu, J., Wang, Y., Shi, S.-Q., Ritchie, R. O. (2019). Predicting surface deformation during mechanical attrition of metallic alloys. *Npj Computational Materials*, 5 (1). <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0171-6>
- Wang, G., Tong, Y., Liang, L., Zhang, M., Zhao, M., Li, L. (2025). Indentation deformation mechanism of combined-strengthened modified layer in low-alloy steel under the influence of hydrogen. *Corrosion Science*, 242, 112579. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2024.112579>
- Luo, Q., Kitchen, M. (2023). Microhardness, Indentation Size Effect and Real Hardness of Plastically Deformed Austenitic Hadfield Steel. *Materials*, 16 (3), 1117. <https://doi.org/10.3390/ma16031117>
- Shen, Z., Su, Y., Liang, Z., Long, X. (2024). Review of indentation size effect in crystalline materials: Progress, challenges and opportunities. *Journal of Materials Research and Technology*, 31, 117–132. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.071>
- Shul'zhenko, A. A., Jaworska, L., Sokolov, A. N., Romanko, L. A., Gargin, V. G., Belyavina, N. N. et al. (2018). Structure and Electrophysical Properties of the Diamond-Graphen-Silicon Carbide Composite. *Journal of Superhard Materials*, 40 (6), 435–438. <https://doi.org/10.3103/s1063457618060102>
- Skripchenko, N., Tkachuk, M., Nedilko, K., Kyrychuk, D., Borysenko, S., Kasai, O. (2016). Contact interaction of complex-shaped details with local compliance of the surface layer. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Engineering and CAD*, 39 (1211), 93–101. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/a6ff27d4-67bc-4980-a387-bce9abed66e6/content>
- Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (1990). *ASM Handbook*. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.9781627081610>
- AISI 347 Stainless Steel Datasheet. Ferrobend.
- Schober, P., Boer, C., Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126 (5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328825

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF BENDING A SURFACE OF REVOLUTION INTO A HELICAL CONOID (p. 30–37)

Andrii Nesvidomin

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-4652>

Serhii Pylypaka

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1496-4615>

Tetiana Volina

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2208>

Mykhailo Kalenyk

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7416-4233>

Svitlana Botvinovska

Kyiv National University of Construction
and Architecture, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1832-1342>

Iryna Hryshchenko

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1000-9805>

Dmytro Spirintsev

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State
Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5728-6626>

Vitalii Kolodnenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-6759>

Serhii Borodai

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1281-7766>

Irina Zakharova

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9693-5550>

The object of this study is the process of theoretical gradual bending of a catenoid into a helical conoid coil. A helical conoid or a straight closed helicoid is formed by the helical motion of a segment around an axis, and this segment intersects the axis at a right angle during movement. It cannot be bent into a plane, but by gradually reducing the pitch it can be transformed into a known surface of revolution – a catenoid. With such deformation, the lengths of the lines and the area of the coil as a whole do not change, that is, the deformation occurs similarly to unfolded surfaces. Such deformation is based on the theory of bending surfaces of a separate section of differential geometry. According to it, any helical surface can be bent into a surface of revolution and vice versa. Bending the non-folded surface of a helical conoid into a catenoid is a classic example of differential geometry. This approach makes it possible to find an approximate flat workpiece for manufacturing a screw coil. This task is resolved by approximating the obtained catenoid by a truncated cone. The sweep of the truncated cone will be the approximate sweep of the screw turn. This is the peculiarity of finding the approximate sweep, which in engineering practice is calculated by other formulas. This is also the essence of the reported results.

In the work, parametric equations were derived that describe a one-parameter set of intermediate surfaces during bending of a screw conoid due to a gradual decrease in the surface pitch to zero. In the given example, one turn of the screw is considered, put on a shaft with a radius $r = 0.125$ m and limited by an external radius $R = 0.25$ m with a surface pitch $H = 0.5$ m. The dimensions of the truncated cone, which replaces the catenoid, are $r = 0.148$ m for the smaller base, $R = 0.262$ m for the larger base, and $H = 0.05$ m for the height of the cone. The specified dimensions of the cone are sufficient to find its exact sweep, which will be approximate for the turn of the screw conoid.

Keywords: surface pitch, screw turn, truncated cone, approximate sweep, non-expandable surface.

References

1. Tian, F., Xia, K., Wang, J., Song, Z., Yan, Y., Li, F., Wang, F. (2021). Design and experiment of self-propelled straw forage crop harvester.

- Advances in Mechanical Engineering, 13 (7). <https://doi.org/10.1177/16878140211024455>
2. Trokhaniak, O. (2022). Estimation of eddy currents and power losses in the rotor of a screw electrothermomechanical converter for additive manufacturing. *Machinery & Energetics*, 13 (3). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(3\).2022.92-98](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(3).2022.92-98)
3. Kresan, T., Ahmed, A. K., Pylypaka, S., Volina, T., Voloshko, T. (2024). Construction of the working surfaces of the tillage screw body from the compartments of the developable helicoid. *Machinery & Energetics*, 15 (3), 9–21. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2024.09>
4. Klendii, M., Logusch, I., Dragan, A., Tsvartazkii, I., Grabar, A. (2022). Justification and calculation of design and strength parameters of screw loaders. *Machinery & Energetics*, 13 (4). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(4\).2022.48-59](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(4).2022.48-59)
5. He, K., Li, G., Du, Y., Tang, Y. (2019). A digital method for calculation the forming cutter profile in machining helical surface. *International Journal of Mechanical Sciences*, 155, 370–380. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.03.018>
6. Rynkovskaya, M. (2018). Support Draft Calculation for a Ramp in the Form of Developable Helicoid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 371, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/371/1/012041>
7. Lyashuk, O. L., Gypka, A. B., Pundys, Y. I., Gypka, V. V. (2019). Development of design and study of screw working surfaces of auger mechanisms of agricultural machines. *Machinery & Energetics*, 10 (4), 71–78. Available at: <https://technicalscience.com.ua/en/journals/t-10-4-2019/rozrobka-konstruktsiyi-ta-doslidzhennya-gvintovikh-robochikh-povyerkhon-shnyekovikh-myeckhanizmiv-silskogospodarskikh-mashin>
8. Pylypaka, S., Hropost, V., Nesvidomin, V., Volina, T., Kalenyk, M., Volokha, M. et al. (2024). Designing a helical knife for a shredding drum using a sweep surface. *Engineering Technological Systems*, 4 (1 (130)), 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.308195>
9. Junge, S., Zablodskiy, M., Zaiets, N., Chuenko, R., Kovalchuk, S. (2023). The screw-type electrothermomechanical converter as a source of multiphysical influence on the technological environment. *Machinery & Energetics*, 14 (3), 34–46. <https://doi.org/10.31548/machinery/3.2023.34>
10. Mushtruk, M., Gudzenko, M., Palamarchuk, I., Vasylyv, V., Sloboodyanyuk, 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>
11. Zablodskiy, M., Kovalchuk, S., Gritsyuk, V., Subramanian, P. (2023). Screw electromechanical hydrolyzer for processing poultry by-products. *Machinery & Energetics*, 14 (1). <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.36>
12. Romasevych, Y., Loveikin, V., Malinevsky, O. (2022). The method of calculating the maximum torque when jamming the auger of the screw conveyor. *Machinery & Energetics*, 13 (2). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(2\).2022.83-90](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(2).2022.83-90)
13. Trokhaniak, O. (2023). Determination of optimal parameters of hinged operating elements of screw conveyers. *Machinery & Energetics*, 14 (1). <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2023.79>
14. Nieszporek, T., Gołębski, R., Boral, P. (2017). Shaping the Helical Surface by the Hobbing Method. *Procedia Engineering*, 177, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.181>
15. Tarelnyk, V. B., Gaponova, O. P., Konoplianchenko, Ye. V., Martynovskyy, V. S., Tarelnyk, N. V., Vasylenko, O. O. (2019). Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. III. The Influence of the Main Technological Parameters on Microgeometry, Structure and Properties of Electrolytic Erosion Coatings. *Metallofizika*

- I Noveishie Tekhnologii, 41 (3), 313–335. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.03.0313>
16. Tarelnyk, V. B., Gaponova, O. P., Konoplianchenko, Ye. V., Martsynkovskyy, V. S., Tarelnyk, N. V., Vasylenko, O. O. (2019). Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. II. The Analysis of a Stressedly-Deformed State of Surface Layer after a Surface Plastic Deformation of Electroerosive Coatings. *Metallofizika I Noveishie Tekhnologii*, 41 (2), 173–192. <https://doi.org/10.15407/mfint.41.02.0173>
 17. Chvartatskiy, I., Flonts, I., Grabar, A., Shatrov, R. (2021). Synthesis of energy-saving transport-technological systems with screw working bodies. *Machinery & Energetics*, 12 (4). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.077>
 18. Gritsyuk, V., Nevliudov, I., Zablodskiy, M., Subramanian, P. (2022). Estimation of eddy currents and power losses in the rotor of a screw electrothermomechanical converter for additive manufacturing. *Machinery & Energetics*, 13 (2). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(2\).2022.41-49](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(2).2022.41-49)
 19. Klendiy, M. B., Drahan, A. P. (2021). Substantiation of the design of the working body of the screw section of the combined tillage tool. *Perspective technologies and devices*, 18, 66–72. <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-18-10>
 20. Kresan, T. (2021). Movement of soil particles on surface of developable helicoid with horizontal axis of rotation with given angle of attack. *Machinery & Energetics*, 12 (2). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.067>
 21. 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. *Machinery & Energetics*, 13 (4). [https://doi.org/10.31548/machenergy.13\(4\).2022.81-88](https://doi.org/10.31548/machenergy.13(4).2022.81-88)

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329021
DEVISING A METHOD FOR CALCULATING THE STRUCTURE OF EFFICIENT COOLING SYSTEMS FOR THRUST BEARINGS AND GUIDE BEARINGS IN HYDROGENERATORS (p. 38–50)

Oleksii Tretiak

National Aerospace University
 "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7295-5784>

Stanislav Kravchenko

National Aerospace University
 "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6409-4767>

Oleksii Mykhailychenko

National Technical University
 "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0660-0441>

Viacheslav Nazarenko

Limited Liability Company "Kharkov Electric
 Machine-Building Plant", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8154-9131>

Serhii Smyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National
 Air Force University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8941-2631>

Oleksandr Vasyliiev

National Aerospace University
 "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9251-8768>

Mariia Arefieva

Private Institution of General Secondary Education "Kharkiv
 Lyceum "IT STEP SCHOOL Kharkiv", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2569-0194>

Iryna Tretiak

Limited Liability Company "Kharkov Electric
 Machine-Building Plant", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4414-1333>

Serhii Serhiienko

Limited Liability Company "Kharkov Electric
 Machine-Building Plant", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6377-209X>

Volodymyr Selevko

National Aerospace University
 "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9543-4981>

The object of this study is the thermal and hydraulic characteristics of the oil coolers in a thrust bearing and guide bearing cooling system of hydrogenerators.

The study addresses the task to improve the efficiency of the cooling system of the supporting elements of hydrogenerators while maintaining mass and dimension indicators. The main problems in this case are the unbalanced flow of oil within the typical cooling system and different stiffness of the thrust bearing segment supports.

The main result is the design of a cooling system structure that ensures effective heat removal from the oil. According to calculations, an oil cooler for a hydrogenerator with a capacity of 56 MW provides removal of 250 kW of losses with a heat transfer margin of 26.2%, for a hydrogenerator with a capacity of 96 MW – 150 kW and 31.8%, respectively.

The results are explained by the use of new antifriction materials for supporting elements (fluoroplastic-4) and a higher strength group material for the thrust bearing disk. The designed structure of the cooling system enables operation with preservation of isotropy of cooling liquids and does not have "dead" zones of these liquids flow.

A feature of the proposed method for calculating oil coolers is the addition to existing criterion equations of an experimental coefficient B, which takes into account the peculiarity of the geometry of the structure in addition to the nature of the oil flow and gas-dynamic parameters. The action of three-dimensional forces, temperatures, and pressures within the base metal and cooling liquids were comprehensively taken into account.

The proposed structures of the thrust bearing and guide bearing, as well as their cooling systems, could be implemented in the design and modernization of medium and high-power hydrogenerators.

Keywords: hydrogenerator, single-row thrust bearing, oil cooler, hydraulic calculations, thermal calculations.

References

1. Qiu, H., He, K. (2024). Research on Torque Ripple and Influencing Factors of Hydro-Generator. *Recent Patents on Engineering*, 18 (1). <https://doi.org/10.2174/1872212117666230127152125>
2. Flankl, M., Tuysuz, A., Kolar, J. W. (2017). Cogging Torque Shape Optimization of an Integrated Generator for Electromechanical Energy Harvesting. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64 (12), 9806–9814. <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2733441>
3. Odobzhanskyi, O., Duniev, O., Amiri, E., Yehorov, A., Gottipati, P., Masliennikov, A., Mendrela, E. (2021). Performance Comparison of BLDC Permanent Magnet Machines with Different Topologies. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 346–350. <https://doi.org/10.1109/khpiweek53812.2021.9569983>

4. Casanova Garcia, G. F., Cardona Gutierrez, A. F., Mantilla Viveros, C. A. (2020). Structural component fatigue analysis of a hydrogenerator rotor. *DYNA*, 87 (214), 155–164. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.84678>
5. Sheng, Z., Zhe, H., Zhangbin, Y., Chunde, X. (2023). Simulation and Comparative study on Cooling Performance of Thrust Bearing Cooled by Heat Pipe. 2023 IEEE 6th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), 879–884. <https://doi.org/10.1109/cieec58067.2023.10167119>
6. Tretiak, O., Kritskiy, D., Kobzar, I., Arefieva, M., Nazarenko, V. (2022). The Methods of Three-Dimensional Modeling of the Hydrogenerator Thrust Bearing. *Computation*, 10 (9), 152. <https://doi.org/10.3390/computation10090152>
7. Liao, Y., Liao, B. (2020). Finite Element Analysis and Lightweight Design of Hydro Generator Lower Bracket. *Manufacturing Technology*, 20 (1), 66–71. <https://doi.org/10.21062/mft.2020.017>
8. Quaranta, E., Bergamin, R., Schleiss, A. J. (2023). How to estimate the weight of hydropower electro-mechanical equipment? Available evidence, novel equations and challenges for engineering applications. *Results in Engineering*, 18, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101067>
9. Zhang, J., Huang, X., Wang, Z. (2024). Study of Unsymmetrical Magnetic Pulling Force and Magnetic Moment in 1000 MW Hydro-generator Based on Finite Element Analysis. *Symmetry*, 16 (10), 1351. <https://doi.org/10.3390/sym16101351>
10. Doost, A. K., Majlessi, R. (2015). Heat Transfer Analysis in Cooling System of Hydropower's Generator. *Open Journal of Applied Sciences*, 05 (03), 98–107. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2015.53010>
11. El-Zohri, E. H., Shafey, H. M., Kahoul, A. (2019). Performance evaluation of generator air coolers for the hydro-power plant of Aswan High Dam at Egypt. *Energy*, 179, 960–974. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.006>
12. Wang, Y., Cai, Y., Zhang, J., Chen, Z., Li, C., Sun, W. (2025). Investigation on heat transfer mechanism simulation and structure optimization design of hydraulic turbine bearing semi-ring cooler. *Heliyon*, 11 (3), e42328. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42328>
13. Nowicki, R., Morozov, N. (2017). Thrust bearing monitoring of vertical hydro-turbine-generators. Conference: 1st World Congress on Condition Monitoring. London. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318654615_Thrust_bearing_monitoring_of_vertical_hydro-turbine-generators
14. Muhsen, A., Kizilova, N. (2021). The Advanced Cooling System of Generator for Hydropower Plant. *eNergetics*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/358981403_The_Advanced_Cooling_System_of_Generator_for_Hydropower_Plant
15. Liming, Z., Yongyao, L., Zhengwei, W., Xin, L., Yexiang, X. (2017). A review on the large tilting pad thrust bearings in the hydropower units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1182–1198. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.140>
16. Pitchurov, G. T., Markov, D., Georgiev, E. (2023). Verification of the capacity of lubricating oil cooler system of turbine bearings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1128 (1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1128/1/012019>
17. Adaramola, B. A., Musa, A. (2020). Modification and Performance Evaluation of Turbo Generator's Oil Coolers for Electricity Generation. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 6 (11), 138–148. Available at: <https://ijseas.com/volume6/v6i11/ijseas20201116.pdf>
18. Yehorov, A., Duniev, O., Masliennikov, A., Gouws, R., Dobzhanskyi, O., Stamann, M. (2025). Study on the Thermal State of a Transverse-Flux Motor. *IEEE Access*, 13, 20893–20902. <https://doi.org/10.1109/access.2025.3534284>
19. Tretiak, O., Kritskiy, D., Kobzar, I., Arefieva, M., Selevko, V., Brega, D. et al. (2023). Stress-Strained State of the Thrust Bearing Disc of Hy-

drogenerator-Motor. *Computation*, 11 (3), 60. <https://doi.org/10.3390/computation11030060>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329024

BUILDING A MODEL OF THE FLOW IN A NOZZLE-FLAPPER VALVE OF THE HP-3 CONTROL PUMP TO IMPROVE THE STABILITY OF CHARACTERISTICS (p. 51–57)

Oleksandr Lytviak

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-1859>

Roman Trishch

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9503-8428>

Eduard Khomiak

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2579-2986>

Serhii Kochuk

National Aerospace University
"Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1429-2246>

Svitlana Khomenko

Berdiansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9958-7272>

Ihor Tiupa

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8705-9122>

The object of this study is the flow of a viscous incompressible fluid in a nozzle-flapper valve used as part of the free turbine speed controller in the HP-3 pump-regulator of the TV3-117 turboprop helicopter engine. The task addressed relates to a need for detailed calculations of the fluid flow because of unsatisfactory operation of the valve under actual operating conditions. An additional difficulty was the contradictory data on the characteristics of such valves in the literature, which made it impossible to determine the flow characteristics and directions for improving the design.

This paper reports the results of numerical calculations of the flow in the valve performed in the SolidWorks Flow Simulation environment. A mathematical model is proposed that takes into account the influence of the design mesh on the accuracy and computational time volume, as well as ways to improve accuracy without a significant increase in resources. The model was verified by comparing it with the manufacturer's experimental data. The results have made it possible to solve the problem through the detailed construction of the model taking into account the valve geometry and optimization of the computational mesh, which ensured a balance between accuracy and computational speed.

The results are attributed to the application of state-of-the-art hydrodynamic calculation software, precise mesh tuning, as well as proper validation of the model to reflect the actual physical processes in the valve. The model built makes it possible to study the flow in the valve and could be used to analyze the impact of manufacturing defects. The model is suitable for parametric studies and modification of valves in helicopter engines of the TV3-117 type or similar systems. The model could also be adapted for other systems requiring flow analysis in similar valves.

Keywords: nozzle-flapper, numerical modeling, stagnant zone, vortex flow.

References

1. SOLIDWORKS Installation and Administration. Available at: https://help.solidworks.com/2022/english/Installation/install_guide/c_install_admin_overview.htm
2. Tabe Jamaat, A. G., Hattori, B. Y. (2022). Development of sub-grid-scale model for LES of Burgers turbulence with large filter size. *Physics of Fluids*, 34 (4). <https://doi.org/10.1063/5.0087761>
3. Lytviak, O., Komar, S., Derevyanko, O., Durieiev, V. (2021). Devising quality control criteria for manufacturing control valves of the type "nozzle-flap". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (109)), 27–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224918>
4. Lytviak, O., Loginov, V., Komar, S., Martseniuk, Y. (2021). Self-Oscillations of The Free Turbine Speed in Testing Turboshaft Engine with Hydraulic Dynamometer. *Aerospace*, 8 (4), 114. <https://doi.org/10.3390/aerospace8040114>
5. Liu, Y., Ren, Y., Zhang, M., Wei, K., Hao, L. (2022). Solenoid valves quality improvement based on Six Sigma management. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14 (1), 72–93. <https://doi.org/10.1108/ijlss-08-2021-0140>
6. Jafari, B., Mashadi, B. (2022). Valve control of a hydraulically interconnected suspension system to improve vehicle handling qualities. *Vehicle System Dynamics*, 61 (4), 1011–1027. <https://doi.org/10.1080/00423114.2022.2056490>
7. Fedorovich, O., Lutai, L., Trishch, R., Zabolotnyi, O., Khomiak, E., Nikitin, A. (2024). Models for Reducing the Duration and Cost of the Aviation Equipment Diagnostics Process Using the Decomposition of the Component Architecture of a Complex Product. *Information Technology for Education, Science, and Technics*, 108–125. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_9
8. Cheng, Y., Tang, Y., Wu, J., Jin, H., Shen, L. (2024). Numerical Simulation Study on Hydraulic Characteristics and Wear of Eccentric Semi-Ball Valve under Sediment Laden Water Flow. *Sustainability*, 16 (17), 7266. <https://doi.org/10.3390/su16177266>
9. Lopes, R., Eça, L., Vaz, G. (2020). On the Numerical Behavior of RANS-Based Transition Models. *Journal of Fluids Engineering*, 142 (5). <https://doi.org/10.1115/1.4045576>
10. Laima, S., Zhou, X., Jin, X., Gao, D., Li, H. (2023). DeepTRNet: Time-resolved reconstruction of flow around a circular cylinder via spatiotemporal deep neural networks. *Physics of Fluids*, 35 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0129049>
11. Kim, M., Park, J., Choi, H. (2024). Large eddy simulation of flow over a circular cylinder with a neural-network-based subgrid-scale model. *Journal of Fluid Mechanics*, 984. <https://doi.org/10.1017/jfm.2024.154>
12. SolidWorks Flow Simulation. Available at: <https://www.goengineer.com/solidworks/simulation/solidworks-flow-simulation-cfd>
13. Popa, C. (2023). An application for the selection and sizing of control valve for control loop. *Romanian Journal of Petroleum & Gas Technology*, 4 (75) (2), 109–116. <https://doi.org/10.51865/jpgt.2023.02.11>
14. Kim, J., Kim, H., Kim, J., Lee, C. (2022). Deep reinforcement learning for large-eddy simulation modeling in wall-bounded turbulence. *Physics of Fluids*, 34 (10). <https://doi.org/10.1063/5.0106940>
15. Trishch, R., Cherniak, O., Zdenek, D., Petraskevicius, V. (2024). Assessment of the occupational health and safety management system by qualimetric methods. *Engineering Management in Production and Services*, 16 (2), 118–127. <https://doi.org/10.2478/emj-2024-0017>
16. Cherniak, O., Trishch, R., Ginevičius, R., Nechuiviter, O., Burdeina, V. (2024). Methodology for Assessing the Processes of the Occupational Safety Management System Using Functional Dependencies. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2023*, 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60549-9_1
17. Khomiak, E., Burdeina, V., Cherniak, O., Olesia, N., Bubela, T. (2024). Improving the Method of Quality Control of the Fuel Element Shell in Order to Improve the Safety of a Nuclear Reactor. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023*, 351–360. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_30
18. Khomiak, E., Trishch, R., Zabolotnyi, O., Cherniak, O., Lutai, L., Katrich, O. (2024). Automated Mode of Improvement of the Quality Control System for Nuclear Reactor Fuel Element Shell Tightness. *Information Technology for Education, Science, and Technics*, 79–91. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71801-4_7
19. Wu, Q., Chen, Z., Xu, H., Cai, Y. (2024). A novel wall model for large-eddy simulation of the flow around a circular cylinder. *Physics of Fluids*, 36 (6). <https://doi.org/10.1063/5.0209462>
20. Nisters, C., Bauer, F., Brocker, M. (2020). Condition monitoring systems for hydraulic accumulators – improvements in efficiency, productivity and quality. Volume 2 – Conference, 195–203. <https://doi.org/10.25368/2020.83>
21. Tong, Z., Xin, J., Song, J., Cao, X. E. (2023). A graphics-accelerated deep neural network approach for turbomachinery flows based on large eddy simulation. *Physics of Fluids*, 35 (9). <https://doi.org/10.1063/5.0160968>
22. Abekawa, A., Minamoto, Y., Osawa, K., Shimamoto, H., Tanahashi, M. (2023). Exploration of robust machine learning strategy for subgrid scale stress modeling. *Physics of Fluids*, 35 (1). <https://doi.org/10.1063/5.0134471>
23. Dong, X., Hong, H., Deng, X., Zhong, W., Hu, G. (2023). Surrogate model-based deep reinforcement learning for experimental study of active flow control of circular cylinder. *Physics of Fluids*, 35 (10). <https://doi.org/10.1063/5.0170316>
24. Zhan, Q., Bai, C., Ge, Y., Sun, X. (2023). Flow time history representation and reconstruction based on machine learning. *Physics of Fluids*, 35 (8). <https://doi.org/10.1063/5.0160296>
25. Wang, Y.-Z., Hua, Y., Aubry, N., Chen, Z.-H., Wu, W.-T., Cui, J. (2022). Accelerating and improving deep reinforcement learning-based active flow control: Transfer training of policy network. *Physics of Fluids*, 34 (7). <https://doi.org/10.1063/5.0099699>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329745

PROVIDING TECHNICAL AND ALGORITHMIC SUPPORT TO THE PREDICTABLE PROPERTIES OF HONEYCOMB FILLER OBTAINED BY ADDITIVE PROCESSES (p. 58–80)

Oleksandr Salenko

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-6225>**Vasil Strutinsky**

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7167-0085>**Konstantyn Avramov**

Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4349-9473>**Vadym Orel**

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-3253>**Dmytro Dzhulii**

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8863-626X>

Andrii Havrushkevych

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9275-0711>

Anton Kostenko

"FRONTLINE ROBOTICS" LLC, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3350-5323>

The object of this study is the FDM process underlying the 3D printing of thin-walled honeycomb-type shells. A solution to the problem of manufacturing a honeycomb filler for a sandwich panel or a panel as a whole, including a curved one, is based on the built model of the process parametric and functional reliability. To this end, the printer dynamics, the behavior of a non-rigid workpiece, and the peculiarities of filament feeding during printing have been analyzed in detail. It has been shown that the predicted mechanical properties, in particular, $[\sigma]_{x,y,z}$ are determined by the conditions of extrudate laying and the adhesive bonds formed between its elements, both in the laying plane and between layers, and depend directly on the laying density and on a number of dynamic and thermal phenomena occurring in the mating area. The layout density parameter ρ can be used as a factor in the strength characteristics of the finished article.

The application of rational conditions for the movement of the print head, certain features of the contour traversal, the use of supporting elements, and the correct positioning of the part on the printer's desktop allows for sufficiently reliable reproduction of cellular shell products with maximum strength.

It has been proven that the accuracy of basic dimensions of the designed structures corresponds to accuracy quality 11...12 according to engineering standards, which is acceptable for a wide range of applications. The wall thickness of the cellular elements is determined by the filament laying modes, which includes such parameters as extrusion speed, contour traversal speed and acceleration, extrusion temperature, and stacking pitch, but is not less than 1.5 times the diameter of the extruder nozzle. Such geometric parameters provide reasonable strength and rigidity for articles at operation while minimizing the weight of the honeycomb.

It has been established that cellular elements should be printed with the use of additional support means; at the same time, the latter do not exclude the occurrence of a certain number of defects whose evolution is not stable and whose presence must be taken into account when predicting the mechanical properties of the finished article.

Keywords: mechanical characteristics and accuracy of 3-D printing, cellular systems, additive manufacturing defects, additive process reliability models.

References

1. Castanie, B., Bouvet, C., Ginot, M. (2020). Review of composite sandwich structure in aeronautic applications. *Composites Part C: Open Access*, 1, 100004. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>
2. Ashraf, W., Ishak, M. R., M. Y. M., Z., Yidris, N., Ya'Acob, A. M. (2021). Investigation of Mechanical Properties of Honeycomb Sandwich Structure with Kenaf/glass Hybrid Composite Facsheet. *Journal of Natural Fibers*, 19 (13), 4923–4937. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1870637>
3. Gill, E., D'Amico, S., Montenbruck, O. (2007). Autonomous Formation Flying for the PRISMA Mission. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 44 (3), 671–681. <https://doi.org/10.2514/1.23015>
4. Bollen, P., Quiévy, N., Bailly, C., Huynen, I., Pardoën, T. (2014). Multifunctional sandwich structure for electromagnetic absorption and mechanical performances. 16th European Conference on Composite Materials (ECCM16).
5. Tian, X., Todoroki, A., Liu, T., Wu, L., Hou, Z., Ueda, M. et al. (2022). 3D Printing of Continuous Fiber Reinforced Polymer Composites: Development, Application, and Prospective. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 1 (1), 100016. <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2022.100016>
6. Khaleelullah, A., Basha, Sk. J., Rangavittal, H. K. (2012). Design and Analysis of Propellant Tanks Support Structure for an Advanced Spacecraft. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, 194–200. <https://doi.org/10.47893/ijarme.2012.1035>
7. Włodarczyk, P. (2001). *Modelarstwo lotnicze i kosmiczne*. Warszawa, 384.
8. Chen, Y., Li, T., Jia, Z., Scarpa, F., Yao, C.-W., Wang, L. (2018). 3D printed hierarchical honeycombs with shape integrity under large compressive deformations. *Materials & Design*, 137, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.10.028>
9. Uspensky, B., Derevianko, I., Avramov, K., Polishchuk, O., Salenko, A. (2022). Experimental and Numerical Study on Fatigue of Sandwich Plates with Honeycomb Core Manufactured by Fused Deposition Modelling. *Applied Composite Materials*, 29 (5), 2033–2061. <https://doi.org/10.1007/s10443-022-10057-w>
10. Comparing properties of FDM, SLS and resin 3D-printing plastics. Available at: <https://www.liqcreate.com/supportarticles/properties-fdm-sls-resin/>
11. Caulfield, B., McHugh, P. E., Lohfeld, S. (2007). Dependence of mechanical properties of polyamide components on build parameters in the SLS process. *Journal of Materials Processing Technology*, 182 (1-3), 477–488. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.09.007>
12. Popov, V. V., Fleisher, A. (2020). Hybrid additive manufacturing of steels and alloys. *Manufacturing Review*, 7, 6. <https://doi.org/10.1051/mfreview/2020005>
13. Barnatt, C. (2016). 3D Printing. CreateSpace Independent Publishing Platform, 318.
14. Salenko, A., Kostenko, A., Tsurkan, D., Zinchuk, A., Zagirnyak, M., Orel, V. et al. (2023). A New FDM Printer Concept for Printing Cylindrical Workpieces. *Information Technology for Education, Science, and Technics*, 459–483. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35467-0_28
15. Salenko, O., Derevianko, I., Samusenko, O., Avramov, K., Lithot, O., Rogulin, V. (2021). Creation of sealed strong structures of rocket and space equipment FDM printing methods by ULTEM™ 9085 PEI plastic. *Mechanics and Advanced Technologies*, 5 (3), 282–293. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.3.246626>
16. Salenko, A., Melnychuk, P., Lashko, E., Chenchewa, O., Titarenko, O., Derevianko, I., Samusenko, A. (2020). Ensuring the functional properties of responsible structural plastic elements by means of 3-D printing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (107)), 18–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.211752>
17. Derevianko, I. I., Avramov, K. V., Uspensky, B. V., Salenko, O. F. (2024). Manufacturing Technology, Experimental and Numerical Analysis of Static Bending of Three-Layer Composite Plate with Honeycomb Structure. *Journal of Mechanical Engineering*, 27 (3), 25–33. <https://doi.org/10.15407/pmach2024.03.025>
18. Bobyr, M. I., Kryshchuk, M. G., Salenko, O. F., Onyshchenko, E. E., Tsurkan, D. O., Kostenko, A. O. et al. (2024). Damage Development in a Cellular Axisymmetric Tank Additive-Manufactured from Plastic Filament. Part 1. Damage Development in Cellular Axisymmetric Multilayer Shells Under Critical Mechanical Loads and Equivalent Properties of Model Layers for Stress-Strain State Estimation. *Strength of Materials*, 56 (3), 484–499. <https://doi.org/10.1007/s11223-024-00664-2>
19. Chieng, B. W., Ibrahim, N. A., Then, Y. Y., Loo, Y. Y. (2016). Mechanical, thermal, and morphology properties of poly(lactic acid)

plasticized with poly(ethylene glycol) and epoxidized palm oil hybrid plasticizer. *Polymer Engineering & Science*, 56 (10), 1169–1174. <https://doi.org/10.1002/pen.24350>

20. Matsuzaki, R., Ueda, M., Namiki, M., Jeong, T.-K., Asahara, H., Horiguchi, K. et al. (2016). Three-dimensional printing of continuous-fiber composites by in-nozzle impregnation. *Scientific Reports*, 6 (1). <https://doi.org/10.1038/srep23058>
21. Schuldt, S. J., Jagoda, J. A., Hoisington, A. J., Delorit, J. D. (2021). A systematic review and analysis of the viability of 3D-printed construction in remote environments. *Automation in Construction*, 125, 103642. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103642>
22. Salenko, O., Drahobetskyi, V., Symonova, A., Onishchenko, E., Kostenko, A., Tsurkan, D., Vasiukov, D. (2024). Damage Behavior of Multilayer Axisymmetric Shells Obtained by the FDM Method. *Journal of Engineering Sciences*, 11 (1), D27–D35. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(1\).d4](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(1).d4)
23. Zagirnyak, M., Salenko, O., Alnusir, W., Golovko, L., Orel, V., Kulynych, V. (2024). Increasing the Strength of Thin-walled Products Obtained by FDM Using the Thin Surface Films. *Przeglad Elektrotechniczny*, 3, 289–292. <https://doi.org/10.15199/48.2024.03.52>
24. Derevianko, I., Avramov, K., Uspensky, B., Salenko, A. (2021). Experimental analysis of the mechanical characteristics of launch vehicle parts manufactured by FDM additive technologies. *Technical Mechanics*, 1, 92–100. <https://doi.org/10.15407/itm2021.01.092>
25. Kuzmych, L. V. (2021). Mechanical impacts on the reliability of complex technical systems. *Technical Sciences and Technologies*, 4 (14), 28–33. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4\(14\)-28-33](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4(14)-28-33)
26. Yakovyna, V., Matseliukh, V. (2017). Ohliad i analiz modelei nadinyosti prohramnoho zabezpechennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politehnika". Kompiuterni nauky ta informatsiyni tekhnolohiyi*, 864, 130–140. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPKNIT_2017_864_19
27. Gordeev, E. G., Galushko, A. S., Ananikov, V. P. (2018). Improvement of quality of 3D printed objects by elimination of microscopic structural defects in fused deposition modeling. *PLOS ONE*, 13 (6), e0198370. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198370>
28. Wu, M., Phoha, V. V., Moon, Y. B., Belman, A. K. (2016). Detecting Malicious Defects in 3D Printing Process Using Machine Learning and Image Classification. Volume 14: Emerging Technologies; Materials: Genetics to Structures; Safety Engineering and Risk Analysis. <https://doi.org/10.1115/imece2016-67641>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326761

IDENTIFYING THE EFFECT OF REFRIGERANT LIQUID LEVEL IN RECEIVER ON ENERGY EFFICIENCY AND COOLING PERFORMANCE OF DOMESTIC FREEZERS (p. 81–89)

Paulus Sukusno

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0753-3742>

Benhur Nainggolan

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1907-6724>

Parulian Jannus

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5503-9644>

Ainun Nidhar

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2119-4398>

Tatun Hayatun Nufus

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5360-361X>

Haolia Rahman

Politeknik Negeri Jakarta, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3414-7225>

This study investigates a domestic vapor-compression freezer system utilizing R404A refrigerant and a 0.75 kW-rated compressor, with a focus on the impact of different liquid refrigerant levels in the receiver on system performance and energy consumption. One major issue in household freezers is excessive energy use, particularly in systems lacking fluid regulation mechanisms such as a receiver. To explore this, an experimental setup was developed to test six operating conditions: one without a receiver and five with varying refrigerant fill levels in the receiver, ranging from less than 0% to over 60%. Experimental results showed that the freezer without a receiver recorded the highest Coefficient of Performance (COP) of 2.55 but also had the highest energy usage at 1.90 kWh. In contrast, the configuration with 30% refrigerant fill in the receiver demonstrated optimal performance, achieving a 47% reduction in compressor power, the lowest energy consumption (1.01 kWh), and an evaporator temperature reaching -31°C . These improvements are attributed to more stable refrigerant flow, enhanced subcooling, and better pressure regulation enabled by the receiver. The use of a liquid receiver allowed for smoother thermodynamic operation, minimizing energy loss through irregular phase distribution. The findings suggest that fine-tuning the refrigerant charge within the receiver can significantly improve the system's energy efficiency, without the need for extensive redesign of main components. This approach offers a simple, low-cost, and effective solution, especially relevant for household and small-scale commercial freezer applications where practicality and long-term savings are priorities.

Keywords: refrigerant charge optimization, liquid receiver dynamics, subcooling efficiency, domestic freezer performance, R404A system behavior.

References

1. Kong, D., Yin, X., Ding, X., Fang, N., Duan, P. (2021). Global optimization of a vapor compression refrigeration system with a self-adaptive differential evolution algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 197, 117427. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117427>
2. Mohite, S., Motgi, R., Dhalait, J. (2020). Experimental analysis on vapor compression refrigeration system by using eco-friendly refrigerant mixtures. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*. National Conference on Innovative Trends in Engineering & Technology, 9–12. Available at: <https://repo.ijert.org/index.php/ijert/article/view/2307>
3. Solanki, N., Arora, A., Singh, R. K. (2023). Performance enhancement and environmental analysis of vapor compression refrigeration system with dedicated mechanical subcooling. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 31 (1). <https://doi.org/10.1007/s44189-023-00042-8>
4. Nacak, C., Saraç, B. (2020). The performance assessment of a refrigeration system which exists on a cargo vessel influenced by seawater-intake temperature. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 146 (3), 1229–1243. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10060-y>
5. Chopra, K., Sahni, V., Mishra, R. S. (2014). Thermodynamic analyses of multiple evaporators vapor compression refrigeration systems with R410A, R290, R1234YF, R502, R404A, R152A and R134A. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 22 (01), 1450003. <https://doi.org/10.1142/s2010132514500035>

6. Megdoui, K., Tashtoush, B. M., Ezzaalouni, Y., Nahdi, E., Mhimid, A., Kairouani, L. (2017). Performance analysis of a new ejector expansion refrigeration cycle (NEERC) for power and cold: Exergy and energy points of view. *Applied Thermal Engineering*, 122, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.014>
7. Tambunan, A. H., Sihalo, T. E., Kamal, D. M., Sitompul, J. P. (2012). Experimental study on the effect of freezing medium temperature on exergy efficiency. *International Journal of Exergy*, 10 (3), 321. <https://doi.org/10.1504/ijex.2012.046813>
8. Sukusno, P., Setiawan, R. P. A., Purwanto, Y. A., Tambunan, A. H. (2019). Exergy analysis of refrigerator for a three steps freezing process. *Cogent Engineering*, 6 (1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1637621>
9. Berman, E. T. (2015). Analysis of Quantity of Heat Absorption in a 90-Liter Capacity Domestic Refrigerator Using a Tube In Tube Heat Exchanger. *Jurnal TORSI*, XIII (1), 19–36.
10. Luo, Y., Wang, X. (2010). Exergy analysis on throttle reduction efficiency based on real gas equations. *Energy*, 35 (1), 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.09.008>
11. Sako, M., Hatano, H., Yano, T. (2018). Calculating Energy Efficiency Index of VRF System by Supply-Air Temperature Estimation. 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 815–817. <https://doi.org/10.1109/gcce.2018.8574681>
12. Kartal, M. A., Atakök, G., Ersoy, S. (2024). Cooling and Multiphase Analysis of Heated Environmentally Friendly R152A (C2H4F2) Fluid Coming from the Production Process According to Nist Indicators. *Applied Sciences*, 14 (10), 4143. <https://doi.org/10.3390/appl14104143>
13. Lee, J.-H., Jung, H.-I., Lee, S.-B., Son, C.-H. (2024). Enhancing Semiconductor Chiller Performance: Investigating the Performance Characteristics of Ultra-Low-Temperature Chillers Applying a Liquid Receiver. *Energies*, 17 (20), 5144. <https://doi.org/10.3390/en17205144>
14. Wu, J. M., Huang, X., Zhang, H. (2009). Numerical investigation on the heat and mass transfer in a direct evaporative cooler. *Applied Thermal Engineering*, 29 (1), 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.02.018>
15. Yang, Y., Cui, G., Lan, C. Q. (2019). Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.037>
16. Cengel, Y., Boles, M. (2001). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill College.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332597

FAULT DETECTION OF ROTATING MACHINERY IN THE PETROCHEMICAL INDUSTRY USING A DEEP LEARNING BASED APPROACH: TABNET – WGAN (p. 90–99)

Muhammad Ikhsan Anshori

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2077-8940>

Arian Dhini

Universitas Indonesia, Depok, West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2409-6644>

The object of the study is the fault detection process in critical rotating machinery, specifically steam turbines and compressors, operating within a petrochemical production environment. Traditional fault detection methods, though proven and cost-effective, struggle to address modern industrial challenges – such as the increasing complexity of sensor data, class imbalance in failure records, and the need for real-time interpretability. Recent ad-

vancements in deep learning offer promising solutions to these limitations. This study proposes an integrated framework that combines Wasserstein Generative Adversarial Network (WGAN) for data balancing and TabNet, an interpretable deep learning model optimized for tabular sensor data. The goal is to enhance the accuracy and interpretability of fault detection under imbalanced, high-dimensional industrial datasets. Using historical data from a petrochemical plant (2015–2024), the WGAN-TabNet model demonstrated superior performance compared to traditional classifiers (Logistic Regression, SVM, XGBoost), achieving an accuracy of 96.01%, precision of 93.25%, recall of 93.14%, F1-score of 93.20%, and AUC score of 93.13%. The interpretability provided by combination of TabNet and SHAP analysis further identified key operational variables influencing failure such as oil temperature and gas flow rate, offering actionable insights for predictive maintenance. The results underscore that integrating deep learning with robust data balancing significantly improves fault detection where traditional methods fall short, supporting practical implementation in modern predictive maintenance systems.

Keywords: rotating machinery, fault detection, deep learning, WGAN, TabNet, SHAP, predictive maintenance.

References

1. Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-7531-4.x5000-3>
2. Borgnakke, C., Sonntag, R. E. (2013). *Fundamentals of Thermodynamics*. Wiley, 912.
3. Giampaolo, T. (2010). *Compressor Handbook: Principles and Practice*. The Fairmont Press, 376.
4. Mobley, R. K. (2001). *Plant Engineer's Handbook*. Butterworth-Heinemann.
5. Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
6. Nunes, P., Santos, J., Rocha, E. (2023). Challenges in predictive maintenance – A review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 40, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.11.004>
7. Zhou, H., Pan, H., Zheng, K., Wu, Z., Xiang, Q. (2025). A novel oversampling method based on Wasserstein CGAN for imbalanced classification. *Cybersecurity*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s42400-024-00290-0>
8. Jardine, A. K. S., Lin, D., Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20 (7), 1483–1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>
9. Zhang, W., Yang, D., Wang, H. (2019). Data-Driven Methods for Predictive Maintenance of Industrial Equipment: A Survey. *IEEE Systems Journal*, 13 (3), 2213–2227. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2019.2905565>
10. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. The MIT Press, 800.
11. Liu, R., Yang, B., Zio, E., Chen, X. (2018). Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 108, 33–47. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.02.016>
12. Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
13. Tarekegn, A. N., Giacobini, M., Michalak, K. (2021). A review of methods for imbalanced multi-label classification. *Pattern Recognition*, 118, 107965. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.107965>
14. Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of*

- Artificial Intelligence Research, 16, 321–357. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
15. Blagus, R., Lusa, L. (2013). SMOTE for high-dimensional class-imbalanced data. *BMC Bioinformatics*, 14 (1). <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-106>
 16. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S. et al. (2014). Generative Adversarial Networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.2661>
 17. Arjovsky, M., Chintala, S., Bottou, L. (2017). Wasserstein GAN. *International Conference on Machine Learning (ICML)*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.07875>
 18. Arik, S. Ö., Pfister, T. (2021). TabNet: Attentive interpretable tabular learning. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.07442>
 19. Fares, I. A., Abd Elaziz, M. (2025). Explainable TabNet Transformer-based on Google Vizier Optimizer for Anomaly Intrusion Detection System. *Knowledge-Based Systems*, 316, 113351. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.113351>
 20. Fan, J., Yuan, X., Miao, Z., Sun, Z., Mei, X., Zhou, F. (2022). Full Attention Wasserstein GAN With Gradient Normalization for Fault Diagnosis Under Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1–16. <https://doi.org/10.1109/tim.2022.3190525>

АНОТАЦІЇ
ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328828

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО ТА ЕКОНОМІЧНО ВИГІДНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ КЕДРОВИХ ГОРІХІВ (с. 6–16)

Ayat Khamitbek, Mir Butabayev, Ainura Kairbayeva, Sarsembek Oralbayev, Galymzhan Nasrullin

Це дослідження аналізує міцнісні характеристики шкаралупи кедрового горіха для підвищення ефективності вилучення ядра. Сучасні методи мають недоліки, зокрема пошкодження ядра, необхідність попереднього нагрівання та високе енергоспоживання. Лабораторними випробуваннями за допомогою структурометра ST-2 аналізували механічні та реологічні властивості шкаралупи за різної вологості.

Найефективніший метод розколювання шкаралупи без пошкодження ядра (горіхи 10,8–11,4 мм) – використання конусного індентора 90° при вологості 16–17% із середньою руйнівною силою 7,0 кг. Математичне моделювання визначило, що за ударної сили 49 Н і деформації 1,1–1,3 мм необхідна енергія руйнування 0,245 Дж. Аналіз у Inventor підтвердив зміщення шкаралупи перед руйнуванням на 0,016 мм із рівномірним розподілом напруження.

Маятниковий стенд використовувався для дослідження руйнування шкаралупи під ударом. Оптимальні умови розколювання: маса вантажу 40–60 г, швидкість 35–40 м/с. Рифлена ударна поверхня (90°) зі співвідношенням $L/D = 0,4\text{--}0,6$ знизил енергію руйнування на 10–15%.

Попереднє прискорення у повітряному потоці перед ударом спричинило мінімальні пошкодження ядра, але низький аеродинамічний опір обмежував ефективність. Для вирішення цієї проблеми розроблено пристрій, що поєднує обертовий зубчастий диск для початкового прискорення та потік стисненого повітря для досягнення швидкості 35–40 м/с. Це підвищило вихід цілих ядер на 15–20%, зменшило енергоспоживання на 10% і мінімізувало пошкодження продукту.

Запропонований метод підвищує ефективність переробки, знижує витрати та втрати. Його можна застосовувати у харчовій та фармацевтичній промисловості для оптимального вилучення ядра з мінімальними пошкодженнями.

Ключові слова: кедровий горіх, шкаралупа, ефективний пристрій, реологічні та механічні властивості, розрахунок міцності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331742

РОЗРОБКА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ НА ПРОФІЛЬНИХ ПЛАНКАХ ЗІ СТАЛЕЙ AISI 1005 І AISI 347 З УРАХУВАННЯМ ТОПОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ (с. 17–29)

П. О. Киричок, Д. О. Палюх

Об'єктом дослідження є процес формування зміцнювального мікрорельєфу на поверхні профільних фальцювальних планок зі сталей AISI 1005 та AISI 347 шляхом локального вдавлювання сферичного індентора, виготовленого з алмазного композиційного матеріалу. Основне припущення дослідження полягає в тому, що реалізація керованої технології текстурування забезпечує формування стабільного мікрорельєфу із заданими геометричними параметрами. Цього неможливо досягнути без встановлення закономірностей утворення зміцнювального рельєфу залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу, геометрії інструмента та режимів контактної дії. Побудовано фізико-механічну модель контактної взаємодії індентора з металевою пластиною. Результати аналітичного моделювання узгоджено з профілометричними вимірюваннями та 3D-візуалізаціями, які засвідчили відмінності у глибині та характері деформації для AISI 1005 і AISI 347. Сталь AISI 1005 виявила більшу пластичність і схильність до глибокої деформації, тоді як AISI 347 забезпечила вищу стабільність геометрії рельєфу. Оцінка параметрів шорсткості (R_a , R_z , R_{max}) показала, що сталь AISI 347 характеризується вищою відтворюваністю зміцнення, при цьому середні значення R_a і R_z для цієї сталі у 2–2,5 рази нижчі, ніж у сталі AISI 1005. Проведений кореляційний аналіз взаємозв'язку між параметрами рельєфу виявив тісний зв'язок між показниками R_a та R_z (коефіцієнт кореляції 0,93–0,96). Це свідчить про стабільність механізму формування мікрорельєфу та обґрунтовує доцільність використання сталі AISI 347 у поєднанні з індентором $\varnothing 3,5$ мм. Результати дослідження можуть бути впроваджені у виготовлення фальцювальних елементів із підвищеною зносостійкістю та геометричною стабільністю в умовах циклічного навантаження.

Ключові слова: зміцнювальний мікрорельєф, текстурування, топологія поверхні, алмазний індентор, фальцювальні системи, профілограми.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328825

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ЗГИНАННЯ ПОВЕРХНІ ОБЕРТАННЯ У ГВИНТОВИЙ КОНОЇД (с. 30–37)

А. В. Несвідомін, С. Ф. Пилипака, Т. М. Воліна, М. В. Каленик, С. І. Ботвіновська, І. Ю. Гриценко, Д. В. Спірінцев, В. М. Колоднєнко, С. П. Бородай, І. О. Захарова

Об'єктом дослідження є процес теоретичного поступового згинання катеноїда у виток гвинтового коноїда. Гвинтовий коноїд або прямий закритий гелікоїд утворюється гвинтовим рухом відрізка навколо осі, причому цей відрізок під час руху перетинає вісь під прямим кутом. Його не можна зігнути на площину, однак поступовим зменшенням кроку можна перетворити у відому поверхню обертання – катеноїд. При такій деформації не змінюються довжини ліній і площа витка в цілому, тобто деформація відбувається подібно до розгортних поверхонь. Така деформація базується на теорії згинань поверхонь окремого розділу диференціальної геометрії. Згідно із нею всяку гвинтову поверхню можна зігнути на поверхню обертання і навпаки. Згинання нерозгортної поверхні гвинтового коноїда на катеноїд є класичним прикладом диференціальної геометрії. Такий підхід дає можливість знайти наближену плоску заготовку для виготовлення витка шнека. Ця проблема вирішується апроксимацією отриманого катеноїда зрізаним конусом. Розгортка зрізаного конуса і буде наближеною розгорткою витка шнека. В цьому полягають особливості знаходження наближеної розгортки, яка в інженерній практиці розраховується за іншими формулами. В цьому також полягає суть отриманих результатів.

В роботі отримано параметричні рівняння, які описують однопараметричну множину проміжних поверхонь при згинанні гвинтового коноїда завдяки поступовому зменшенню кроку поверхні до нуля. В наведеному прикладі розглядається один виток шнека, надітого на вал радіусом $r = 0,125$ м і обмеженого зовнішнім радіусом $R = 0,25$ м при кроці поверхні $H = 0,5$ м. Розміри зрізаного конуса, який заміняє катеноїда, становлять $r = 0,148$ м для меншої основи, $R = 0,262$ м для більшої основи і $H = 0,05$ м – для висоти конуса. Вказаних розмірів конуса достатньо, щоб знайти його точну розгортку, яка буде наближеною для витка гвинтового коноїда.

Ключові слова: крок поверхні, виток шнека, зрізаний конус, наближена розгортка, нерозгортна поверхня.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329021

СТВОРЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ ЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПІДП'ЯТНИКІВ ТА НАПРЯМНИХ ПІДШИПНИКІВ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ (с. 38–50)

О. В. Третяк, С. С. Кравченко, О. С. Михайличенко, В. В. Назаренко, С. І. Смик, О. О. Васильєв, М. А. Ареф'єва, І. І. Третяк, С. А. Сергієнко, В. Б. Селевко

Об'єктом дослідження є теплотехнічні та гідравлічні характеристики оливоохолоджувачів системи охолодження підп'ятника та напрямних підшипників гідрогенераторів.

В дослідженні вирішувалась задача підвищення ефективності системи охолодження опорних елементів гідрогенераторів при збереженні масо-габаритних показників. Основними проблемами при цьому є розбалансований перебіг оливи всередині типової системи охолодження та різна жорсткість опор сегментів підп'ятника.

Основним результатом дослідження стало створення конструкції системи охолодження, що забезпечує ефективне тепловідведення від оливи. Згідно розрахунків, оливоохолоджувач для гідрогенератора потужністю 56 МВт забезпечує відведення 250 кВт втрат з запасом по теплопередачі 26,2%, для гідрогенератора потужністю 96 МВт – 150 кВт та 31,8%, відповідно.

Результати пояснюються застосуванням нових антифрикційних матеріалів для опорних елементів (фторопласт-4) та матеріалу більш високої групи міцності з межею текучості 490 МПа для диску підп'ятника. Створена конструкція системи охолодження забезпечує роботу із збереженням ізотропності охолоджуючих рідин та не має «мертвих» зон перебігу цих рідин.

Особливістю запропонованого методу розрахунку оливоохолоджувачів є доповнення існуючих критеріальних рівнянь експериментальним коефіцієнтом В, що враховує особливості геометрії конструкції у доповненні до характеру перебігу оливи та газодинамічних параметрів. Комплексно були враховані такі параметри, як дія тривимірних сил, температур і тиску усередині основного металу та охолоджуючих рідин.

Запропоновані конструкції підп'ятника, напрямних підшипників та системи їх охолодження можуть бути впроваджені при проектуванні та модернізації гідрогенераторів середньої та великої потужності.

Ключові слова: гідрогенератор, однорядний підп'ятник, оливоохолоджувач, гідравлічні розрахунки, теплові розрахунки, критеріальні рівняння.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329024

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТЕЧІЇ В СОПЛОВО-ЗАСЛІНКОВОМУ КЛАПАНІ НАСОСА-РЕГУЛЯТОРА НР-3 ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК (с. 51–57)

О. М. Литвяк, Р. М. Тріщ, Е. А. Хом'як, С. Б. Кочук, С. В. Хоменко, І. В. Тюпа

Об'єктом дослідження є течія в'язкої нестисливої рідини в клапані соплово-заслінкового типу, який використовується в складі вільного регулятора частоти обертання турбіни насоса-регулятора НР-3 турбовального вертолітного двигуна ТВ3-117. Виникла потреба в детальних розрахунках течії рідини через незадовільну роботу клапана в реальних умовах експлуатації. Додатковою складністю стали суперечливі дані про характеристики таких клапанів у літературі, що унеможливило визначення особливостей течії та напрямків удосконалення конструкції.

У роботі представлено результати чисельних розрахунків течії в клапані, виконаних у середовищі Solidworks Flow Simulation. Запропоновано математичну модель, яка враховує вплив розрахункової сітки на точність і витрати обчислювального часу, а також шляхи підвищення точності без значного збільшення ресурсів. Модель верифіковано шляхом порівняння з експериментальними даними виробника. Отримані результати дозволили розв'язати проблему завдяки детальній побудові моделі з урахуванням геометрії клапана та оптимізації розрахункової сітки, що забезпечило баланс між точністю і швидкістю обчислень. Результати пояснюються застосуванням сучасного програмного забезпечення для гідродинамічних розрахунків, точним налаштуванням сітки та коректною верифікацією моделі, що відображає реальні фізичні процеси в клапані. Розроблена модель дозволяє досліджувати течію в клапані та може бути застосована для аналізу впливу виробничих дефектів. Модель придатна для параметричних досліджень і модифікації клапанів у вертолітних двигунах типу ТВ3-117 чи подібних системах. Також модель може бути адаптована для інших систем, де потрібен аналіз течії в подібних клапанах.

Ключові слова: сопло-заслонка, чисельне моделювання, застійна зона, вихрова течія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.329745

ТЕХНІЧНЕ ТА АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГНОЗОВАНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТІЛЬНИКОВОГО ЗАПОВНЮВАЧА, ОТРИМАНОГО АДДИТИВНИМИ ПРОЦЕСАМИ (с. 58–80)

О. Ф. Саленко, В. Б. Струтинський, К. В. Аврамов, В. М. Орел, Д. Ю. Джулій, А. Ю. Гаврушкевич, А. О. Костенко

Об'єктом дослідження є FDM процес 3D-друку токонстінних оболонок стільникового типу. В основу розв'язку проблеми виготовлення стільникового наповнювача для сендвіч-панелі або панелі в цілому, в тому числі криволінійної, покладено розроблену модель параметрично-функціональної надійності процесу. З цієї метою детально проаналізовано динаміку принтера, поведінку нежорсткої

заготовки, особливостей подачі філаменту при друці. Показано, що прогнозовані механічні властивості, зокрема, $[\sigma]_{x,y,z}$, обумовлюються умовами викладання екструданту та утворюваними адгезійними зв'язками між його елементами, як в площині викладання, так і між шарами, залежать безпосередньо від щільності викладання та від ряду динамічних і теплових явищ, що відбуваються на ділянці сполучення. Параметр щільності викладання ρ може слугувати фактором характеристик міцності готового виробу.

Застосування раціональних умов руху друкувальної головки, певних особливостей обходу контуру, використання підтримуючих елементів та правильне розташування деталі на робочому столі принтера дозволяє достатньо надійно відтворювати стільникові об'єкти виробу із забезпеченням максимальної міцності.

Доведено, що точність основних розмірів створених конструкцій відповідає 11...12 квалітету точності за стандартами машинобудування, що є прийнятним для широкого кола застосувань. Товщина стінок стільникових елементів визначається режимами викладання філаменту, що включає такі параметри, як швидкість екструзії, швидкість обходу контуру та прискорення, температура екструзії та крок укладання, однак не є меншою ніж 1,5 діаметра сопла екструдера. Такі геометричні параметри забезпечують достатню міцність та жорсткість виробів при їх експлуатації при мінімізації маси стільника.

Установлено, що стільникові елементи повинні видруковуватися із залученням додаткових засобів підтримки; у той же час останні не виключають виникнення певної кількості дефектів, розвиток яких не є сталим і наявність яких необхідно враховувати при прогнозуванні механічних властивостей готового виробу.

Ключові слова: механічні характеристики та точність 3-Д друку, стільникові системи, дефекти адитивного виробництва, моделі надійності адитивного процесу.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326761

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РІВНЯ ХОЛОДАГЕНТА В РЕСИВЕРІ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОБУТОВИХ МОРОЗИЛЬНИХ КАМЕР (с. 81–89)

Paulus Sukusno, Benhur Nainggolan, Parulian Jannus, Ainun Nidhar, Tatun Hayatun Nufus, Haolia Rahman

У цьому дослідженні досліджується побутова система парокомпресійної морозильної камери, що використовує холодоагент R404A та компресор потужністю 0,75 кВт, з акцентом на вплив різних рівнів рідкого холодоагенту в ресивері на продуктивність системи та споживання енергії. Однією з основних проблем побутових морозильних камер є надмірне споживання енергії, особливо в системах, що не мають механізмів регулювання рідини, таких як ресивер. Для дослідження цього було розроблено експериментальну установку для тестування шести робочих умов: один без ресивера та п'ять з різним рівнем заповнення ресивера холодоагентом, від менш ніж 0% до понад 60%. Експериментальні результати показали, що морозильна камера без ресивера зафіксувала найвищий коефіцієнт продуктивності (COP) 2,55, але також мала найвище споживання енергії – 1,90 кВт·год. Натомість конфігурація з 30% заповнення ресивера холодоагентом продемонструвала оптимальну продуктивність, досягнувши зниження потужності компресора на 47%, найнижчого споживання енергії (1,01 кВт·год) та температури випарника, що досягла -31°C . Ці покращення пояснюються стабільнішим потоком холодоагенту, покращеним переохолодженням та кращим регулюванням тиску, що забезпечується ресивером. Використання рідинного ресивера дозволило забезпечити плавнішу термодинамічну роботу, мінімізуючи втрати енергії через нерівномірний розподіл фаз. Результати дослідження свідчать про те, що точне налаштування заправки холодоагентом у ресивері може значно підвищити енергоефективність системи без необхідності значної переробки основних компонентів. Цей підхід пропонує просте, недороге та ефективне рішення, особливо актуальне для побутових та невеликих комерційних морозильних камер, де пріоритетами є практичність та довгострокова економія.

Ключові слова: оптимізація заправки холодоагентом, динаміка рідинного ресивера, ефективність переохолодження, продуктивність побутової морозильної камери, поведінка системи R404A.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.332597

ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ОБЕРТОВИХ МАШИН У НАФТОХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВІСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІДХОДУ, ОСНОВАНОГО НА ГЛИБОКОМУ НАВЧАННІ: TABNET – WGAN (с. 90–99)

Muhammad Ikhsan Anshori, Arian Dhini

Об'єктом дослідження є процес виявлення несправностей у критично важливих обертових машинах, зокрема парових турбінах та компресорах, що працюють у нафтохімічному виробничому середовищі. Традиційні методи виявлення несправностей, хоча й перевірені та економічно ефективні, навряд чи справляються з сучасними промисловими проблемами, такими як зростаюча складність даних датчиків, дисбаланс класів у записах про відмови та потреба в інтерпретації в режимі реального часу. Нещодавні досягнення в глибокому навчанні пропонують перспективні рішення цих обмежень. У цьому дослідженні пропонується інтегрована структура, яка поєднує генеративно-змагальну мережу Вассерштейна (WGAN) для балансування даних та TabNet, інтерпретовану модель глибокого навчання, оптимізовану для табличних даних датчиків. Метою є підвищення точності та інтерпретованості виявлення несправностей у незбалансованих, багатовимірних промислових наборах даних. Використовуючи історичні дані з нафтохімічного заводу (2015–2024), модель WGAN-TabNet продемонструвала вищу продуктивність порівняно з традиційними класифікаторами (логістична регресія, SVM, XGBoost), досягнувши точності 96,01%, прецизійності 93,25%, повноти 93,14%, F1-оцінки 93,20% та AUC-оцінки 93,13%. Інтерпретованість, забезпечена комбінацією TabNet та SHAP-аналізу, додатково визначила ключові операційні змінні, що впливають на відмову, такі як температура оливи та швидкість потоку газу, пропонуючи практичні висновки для прогнозного обслуговування. Результати підкреслюють, що інтеграція глибокого навчання з надійним балансуванням даних значно покращує виявлення несправностей там, де традиційні методи не спрацьовують, підтримуючи практичне впровадження в сучасних системах прогнозного обслуговування.

Ключові слова: обертові машини, виявлення несправностей, глибоке навчання, WGAN, TabNet, SHAP, прогнозне обслуговування.