

ABSTRACT AND REFERENCES

ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336057

DETERMINING THE HEAT AND MASS TRANSFER PATTERNS IN THE TUNDISH OF A CONTINUOUS CASTING MACHINE (p. 6–14)**Dmytro Terekhov**Ukrainian State University
of Science and Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0550-1098>**Oleksandr Stoianov**Ukrainian State University
of Science and Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7136-7403>**Volodymyr Ruban**Ukrainian State University
of Science and Technology, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6617-296x>

This study's object is the thermal state of the tundish ladle in a continuous billet casting machine, aimed at prolonging the duration of the series of melts.

This paper reports the numerical modeling of the heat and mass transfer processes in the tundish ladle of a continuous billet casting machine (CCM). The model takes into account the hydrodynamics of liquid steel, as well as the temperature distribution in the multilayer lining and the ladle casing; it also makes it possible to predict local wear of the lining based on the analysis of the technological parameters of the process and the chemical composition of steel. Special attention is paid to the study of the temperature and turbulent characteristics of the flow, the residence time of the steel in the ladle, and the influence of its composition on the intensity of destruction of the lining layers.

The results make it possible to localize critical areas of thermal and mechanical overload of the ladle lining, in particular the contact zones of the liquid steel jet and the wall areas near the turbos tops, where the following are recorded: shear stress up to 275 Pa; turbulent kinetic energy over $0.14 \text{ m}^2/\text{s}^2$; and metal temperature up to 1830 K.

The local wear map built shows the distribution of the lining erosion rate within 2.4–4.3 mm/h depending on the hydrodynamic and chemical conditions. The predictive model combines CFD parameters, the chemical composition of steel, and the pouring speed, which showed high accuracy confirmed by the coefficient of determination $R^2 = 0.99937$.

A feature of the result is the comprehensive combination of local flow conditions and steel composition with the erosion model, which has made it possible to give engineering-based recommendations for optimizing the ladle operating modes.

The developed predictive model of liner wear rate could be used to monitor its condition, improve ladle operating modes, and increase the reliability of the continuous casting process.

Keywords: tundish, continuous casting of billets, liner, CFD modeling, SHAP analysis, machine learning.

References

- Wang, Q., Tan, C., Huang, A., Yan, W., Gu, H., He, Z. et al. (2021). Numerical Simulation on Refractory Wear and Inclusion Formation in Continuous Casting Tundish. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 52 (3), 1344–1356. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02097-7>
- Wang, Q., Tan, C., Huang, A., Yan, W., Gu, H., He, Z. et al. (2021). Quantitative Characterization of Flow-Induced Erosion of Tundish Refractory Lining via Water Model Experiment and Numerical Simulation. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 52 (5), 3265–3275. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02254-y>
- Zhang, J., Qin, B., Liu, Y., Li, Q., Zuo, X., Wang, C. et al. (2023). Multiphase flow inside a four-strand continuous casting tundish using three types of ladle shrouds. *Journal of Iron and Steel Research International*, 30 (6), 1171–1181. <https://doi.org/10.1007/s42243-023-00982-w>
- Dong, B., Lv, W., Xie, Z. (2024). Research on temperature prediction model of molten steel of tundish in continuous casting. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78611-z>
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., Hunter, W. G. (2005). *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*. Wiley, 672.
- Wang, T., Wang, J., Chen, C., Chen, L., Geng, M., Song, J. et al. (2024). Physical and Numerical Study on Right Side and Front Side Gas Blowing at Walls in a Single-Strand Tundish. *Steel Research International*, 95 (9). <https://doi.org/10.1002/srin.202400037>
- Zhou, H., Li, H., Deng, X., Liu, B., Ji, C., Chen, B. et al. (2024). Optimization of Vortex Slag Entrainment during Ladle Teeming Process in the Continuous Casting of Automobile Outer Panel. *Steel Research International*, 95 (10). <https://doi.org/10.1002/srin.202400322>
- Cramb, A. W. (Ed.) (2018). *Making, Shaping and Treating of Steel: Continuous Casting*. Pittsburgh: AIST.
- Bathe, K.-J. (2006). *Finite Element Procedures*. Klaus-Jurgen Bathe, 1037.
- Synehin, Ye. V., Sukhovetskyi, S. V. (2022). Analytical studies and characteristics of steel refining methods in the CCM tundish. *Teoriia i praktyka metalurhii*, 4, 25–29. Available at: <https://crust.ust.edu.ua/items/d0c7753a-eb06-4b78-9df0-82f88c18f80b>
- Smirnov, O. M., Kuberskyi, S. V., Shtepan, Ye. V. (2011). *Bezperervnye rozlyvannia stali*. Alchevsk: DonDTU, 518.
- Sigarev, E. N., Chernyatevich, A. G., Chubina, E. A. (2007). Thermodynamic and gas-dynamic aspects of the guniting of converter linings. *Steel in Translation*, 37 (2), 92–98. <https://doi.org/10.3103/s0967091207020039>
- Zovnishnia torhivlia Ukrainy tovaramy u 2021 rotsi (2022). *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2022/02/14.pdf>
- Vnesok HMK v ekonomiku Ukrainy 2024 (2025). GMK Center. Available at: https://gmk.center/wp-content/uploads/2025/04/ukr_2025_Econ_Steel-impact.pdf
- Ruban, V., Stoianov, O., Niziaiev, K., Synehin, Y. (2021). Determining changes in the temperature field of a graphitized hollow electrode during metal processing periods in ladle-furnace. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (110)), 109–115. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.230002>
- Launder, B. E. (1972). *Lectures in mathematical models of turbulence*. London: Academic Press, 169.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335176

DESIGNING NON-CIRCULAR WHEELS USING A FOURTH-DEGREE POLYNOMIAL (p. 15–21)**Tetiana Kresan**National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8280-9502>**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>

Vitaliy Babka

National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4971-4285>

Svitlana Botvinovska

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

Alexander Sarzhanov

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3973-0185>

Taras Pylypaka

National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5582-1859>

Artem Borodai

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4221-0332>

Dmytro Borodai

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0771-9769>

Yulia Sirenko

Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1818-3653>

This study's object is the process of designing closed non-circular wheels with a given center-to-center distance with external rolling, provided that it occurs without mutual slip. Non-circular wheels serve as centroids in the design of cylindrical gear transmissions with a variable gear ratio. The gear ratio is characterized by the gear function. If the gear ratio is constant, then the centroids are circles. The gear ratio in this case is the ratio of the radii of these circles. Non-circular wheels can be designed according to a given gear function, which is determined by the kinematics of the mechanism's links' actuators. In this case, non-circular wheels can be non-closed.

The study addresses another task related to designing non-circular wheels provided that they are closed. Various approaches can be used to this end. The current paper considers the use of a fourth-degree polynomial. In non-circular wheels, the radii, which are understood as the distances from the centers of rotation to the point of contact, are variable. The necessary conditions for constructing non-circular wheels are the constant value of the sum of these radii during the rotation of non-circular wheels, as well as the equality of the paths traveled, that is, the equality of the arcs that non-circular wheels pass during rotation. Pairs of wheels can have the same or different numbers of protrusions and depressions. This is explained by the use of a fourth-degree polynomial whose plot has an axis of symmetry. Accordingly, non-circular wheels or their protrusions also have an axis of symmetry.

As an example, the construction of a leading centroid with one protrusion and one depression is given, for which the maximum and minimum distances from the center are 10 and 6.1 linear units, respectively. For this centroid, a trailing centroid has been constructed, and the center-to-center distance has been found, which is 16.79 linear units.

Keywords: external rolling, center-to-center distance, arc length, axis of symmetry, radius vector.

References

1. Yu, Y., Liu, J., Ye, B., Yu, G., Jin, X., Sun, L., Tong, J. (2019). Design and Experimental Research on Seedling Pick-Up Mechanism of Planetary

- Gear Train with Combined Non-circular Gear Transmission. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 32 (1). <https://doi.org/10.1186/s10033-019-0357-3>
2. Wang, G., Zhou, M., Sun, H., Wei, Z., Dong, H., Xu, T., Yin, D. (2024). Mechanism Analysis and Optimization Design of Exoskeleton Robot with Non-Circular Gear-Pentabar Mechanism. Machines, 12 (5), 351. <https://doi.org/10.3390/machines12050351>
3. Kresan, T., Pylypaka, S., Babka, V., Kremets, Ya. S. (2019). Rolling of polygon on curvilinear profile. Machinery & Energetics, 10 (2), 147–154. Available at: <https://technicalscience.com.ua/en/journals/t-10-2-2019/kochyennya-bagatokutnika-po-krivoliniynomu-profilu>
4. Jang, H.-S., Lee, C.-H., Park, G.-Y., Kim, C. (2021). Study on Design of Non-Circular Gears for Speed Control of the Squid Belly Opening and Gutting Machine (SBOGM). Applied Sciences, 11 (7), 3268. <https://doi.org/10.3390/app11073268>
5. Zhou, M., Yang, Y., Wei, M., Yin, D. (2020). Method for generating non-circular gear with addendum modification and its application in transplanting mechanism. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 13 (6), 68–75. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201306.5659>
6. Nguyen, T. H. (2021). Shaping the tooth profile of elliptical gear with the involute ellipse curve. Science & Technology Development Journal – Engineering and Technology. <https://doi.org/10.32508/stdjet.v4i3.820>
7. Xu, H., Fu, T., Song, P., Zhou, M., Fu, C., Mitra, N. J. (2020). Computational Design and Optimization of Non-Circular Gears. Computer Graphics Forum, 39 (2), 399–409. <https://doi.org/10.1111/cgf.13939>
8. Li, D., Wu, L. (2025). Research on load-bearing optimization of non-circular gear based on asymmetric pressure angles. Advances in Mechanical Engineering, 17 (3). <https://doi.org/10.1177/16878132251326414>
9. Liu, Y., Zhang, X., Dong, C. (2024). Research on pitch error measurement method of non-circular gear based on digital twin. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 239 (7), 2262–2274. <https://doi.org/10.1177/09544062241303384>
10. Liu, Y., Wang, J., Dong, C., Guo, J. (2025). An Analytical Calculation of Time-Varying Mesh Stiffness of Non-circular Planetary Gear System with Crack. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering, 49 (3), 1569–1584. <https://doi.org/10.1007/s40997-024-00830-6>
11. Zhao, H., Chen, J., Xu, G. (2024). Design methodology and characteristics analysis of high-order multi-segment deformed eccentric non-circular gear. Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, 217. <https://doi.org/10.22190/fume2302270018z>
12. Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhlylo, Z., Rogovskii, I., Trokhaniak, O. (2020). External rolling of a polygon on closed curvilinear profile. Acta Polytechnica, 60 (4), 313–317. <https://doi.org/10.14311/ap.2020.60.0313>
13. Kresan, T. A., Pylypaka, S. F., Grischenko, I. Yu., Kremets, Ya. S. (2020). Simulation of centroids of non-circular wheels with internal and external rolling from arcs of symmetrical curves. Machinery & Energetics, 11 (4), 23–32. <https://doi.org/10.31548/machenergy2020.04.023>
14. Kresan, T., Pylypaka, S. (2021). Internal rolling of non-circular centroids formed from the arcs of logarithmic spiral. Machinery & Energetics, 12 (1). <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.01.109>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337731

ASSESSING THE APPLICABILITY OF ENERGY STORAGE SYSTEM FOR PLUG-IN HYBRID TRACTION SYSTEM IN RAIL ROLLING STOCK (p. 22–31)

Artem Maslii

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-8150>

Serhii Buriakovskiy

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2469-7431>

Roman Antonenko

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9241-5857>

Valentyn Gevrasov

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8910-5172>

Andrii Maslii

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7188-3638>

This study examines the rolling stock that currently employs or could be equipped with plug-in hybrid traction systems.

Existing methodologies for selecting energy storage systems often limit their applicability, which creates certain constraints when choosing a solution for hybrid traction systems.

As a result of the study, a well-founded preliminary selection of an energy storage system based on expert evaluation and the Harrington desirability function was carried out.

Engaging experts in relevant fields makes it possible to obtain up-to-date information on technology development and assess whether parameters meet specific requirements. The application of methods for evaluating expert consensus provides a foundation for using the results in subsequent calculations.

Harrington desirability function makes it possible to combine parameters with varying units of measurement and other differences, yielding a single value that can simplify decision-making.

Using expert-derived evaluations, weighting coefficients for various parameters were calculated for the defined types of rolling stock.

In the current research, three types of energy storage systems were selected for locomotives and multiple-unit rolling stock, meeting the specified conditions. These include battery, supercapacitor-based and flywheel-based storage systems, with overall desirability scores (without weighting coefficients) of 0.638, 0.636, and 0.573, respectively.

Modifying the set of parameters, introducing additional constraints, and adjusting weighting coefficients in conjunction with motion optimization tasks makes it possible to adapt the methodology to the requirements for specific projects for constructing or upgrading rolling stock with plug-in hybrid traction systems.

Keywords: plug-in hybrid traction systems, energy storage system, Harrington desirability function.

References

- Pal, P., Gopal, P. R. C., Ramkumar, M. (2023). Impact of transportation on climate change: An ecological modernization theoretical perspective. *Transport Policy*, 130, 167–183. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.11.008>
- Railway Handbook (2017). IEA. Available at: <https://www.iea.org/reports/railway-handbook-2017>
- Domínguez, M., Fernández-Cardador, A., Fernández-Rodríguez, A., Cucala, A. P., Pecharramán, R. R., Urosa Sánchez, P., Vadillo Cortázar, I. (2025). Review on the use of energy storage systems in railway applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114904. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114904>
- Mitali, J., Dhinakaran, S., Mohamad, A. A. (2022). Energy storage systems: a review. *Energy Storage and Saving*, 1 (3), 166–216. <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>
- Fedeze, E., Iannuzzi, D., Del Pizzo, A. (2021). Onboard energy storage in rail transport: Review of real applications and techno-economic assessments. *IET Electrical Systems in Transportation*, 11 (4), 279–309. <https://doi.org/10.1049/els2.12026>
- Saeed, M., Briz, F., Guerrero, J. M., Larrazabal, I., Ortega, D., Lopez, V., Valera, J. J. (2023). Onboard Energy Storage Systems for Railway: Present and Trends. *IEEE Open Journal of Industry Applications*, 4, 238–259. <https://doi.org/10.1109/ojia.2023.3293059>
- Knibbe, R., Harding, D., Burton, J., Cooper, E., Amir Zadeh, Z., Sagulenko, M. et al. (2023). Optimal battery and hydrogen fuel cell sizing in heavy-haul locomotives. *Journal of Energy Storage*, 71, 108090. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108090>
- Chang, A. S., Kalawsky, R. S. (2025). Retrofitting existing rolling stock for wire-free travel: Exploring energy storage solutions for partial catenary-free light rail vehicle. *Transportation Engineering*, 19, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100291>
- Liu, X., Li, K. (2020). Energy storage devices in electrified railway systems: A review. *Transportation Safety and Environment*, 2 (3), 183–201. <https://doi.org/10.1093/tse/tdaa016>
- Riabov, I., Overianova, L., Iakunin, D., Neshcheret, V., Ivanov, K. (2025). Equipping suburban diesel-electric multiple unit with a hybrid power unit. *E-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 11, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.100949>
- Zubiria, A., Menéndez, Á., Grande, H.-J., Meneses, P., Fernández, G. (2022). Multi-Criteria Decision-Making Problem for Energy Storage Technology Selection for Different Grid Applications. *Energies*, 15 (20), 7612. <https://doi.org/10.3390/en15207612>
- Qie, X., Zhang, R., Hu, Y., Sun, X., Chen, X. (2021). A Multi-Criteria Decision-Making Approach for Energy Storage Technology Selection Based on Demand. *Energies*, 14 (20), 6592. <https://doi.org/10.3390/en14206592>
- Buriakovskiy, S., Maslii, A., Pomazan, D., Panchenko, V., Overianova, L., Omelianenko, H. (2020). Multi-criteria Quality Evaluation of Energy Storage Devices for Rolling Stock Using Harrington's Desirability Function. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 158–163. <https://doi.org/10.1109/ess50319.2020.9160105>
- Shrout, P. E., Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86 (2), 420–428. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.2.420>
- McGraw, K. O., Wong, S. P. (1996). Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. *Psychological Methods*, 1 (1), 30–46. <https://doi.org/10.1037/1082-989x.1.1.30>
- Vallat, R. (2018). Pingouin: statistics in Python. *Journal of Open Source Software*, 3 (31), 1026. <https://doi.org/10.21105/joss.01026>
- Harrington, E. C., Jr. (1965). The Desirability Function. *Industrial Quality Control*, 21 (10), 494–498.
- Schöberl, J., Ank, M., Schreiber, M., Wassiliadis, N., Lienkamp, M. (2024). Thermal runaway propagation in automotive lithium-ion batteries with NMC-811 and LFP cathodes: Safety requirements and impact on system integration. *ETransportation*, 19, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2023.100305>
- Ciccarelli, F., Iannuzzi, D., Tricoli, P. (2012). Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.02.001>
- Xu, K., Guo, Y., Lei, G., Zhu, J. (2023). A Review of Flywheel Energy Storage System Technologies. *Energies*, 16 (18), 6462. <https://doi.org/10.3390/en16186462>
- Khodaparastan, M., Mohamed, A. (2019). Flywheel vs. Supercapacitor as Wayside Energy Storage for Electric Rail Transit Systems. *Inventions*, 4 (4), 62. <https://doi.org/10.3390/inventions4040062>
- Dindorf, R., Takosoglu, J., Wos, P. (2023). Review of Compressed Air Receiver Tanks for Improved Energy Efficiency of Various Pneumatic Systems. *Energies*, 16 (10), 4153. <https://doi.org/10.3390/en16104153>

23. Leon-Quiroga, J., Newell, B., Krishnamurthy, M., Gonzalez-Mancera, A., Garcia-Bravo, J. (2020). Energy Efficiency Comparison of Hydraulic Accumulators and Ultracapacitors. *Energies*, 13 (7), 1632. <https://doi.org/10.3390/en13071632>
24. Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu bezpeky rukhomoho skladu zaliznychnoho transportu (2015). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 1194. 30.12.2015. Redaktsiya vid 18.12.2019. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-%D0%BF#Text>
25. Riabov, I., Goolak, S., Neduzha, L. (2024). An Estimation of the Energy Savings of a Mainline Diesel Locomotive Equipped with an Energy Storage Device. *Vehicles*, 6 (2), 611–631. <https://doi.org/10.3390/vehicles6020028>
26. Kondratieva, L., Bogdanovs, A., Overianova, L., Riabov, I., Goolak, S. (2023). Determination of the working energy capacity of the on-board energy storage system of an electric locomotive for quarry railway transport during working with a limitation of consumed power. *Archives of Transport*, 65 (1), 119–136. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2631>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336905

APPLYING A DIMENSIONAL ANALYSIS METHOD FOR IMPLEMENTING THE GAS HYDRATE TECHNOLOGY WHEN TRANSPORTING AND STORING NATURAL GAS (p. 32–41)

Larysa Pedchenko

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic",
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3279-8649>

Nazar Pedchenko

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic",
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0018-4482>

Mykhailo Pedchenko

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic",
Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1409-8523>

This study's object is the process parameters for the forced conservation of gas hydrate by a layer of ice to ensure its stability under non-equilibrium conditions. These conditions are atmospheric pressure and a slight negative temperature. However, the application of water in the liquid phase and its subsequent crystallization, with the release of a corresponding amount of process energy, is accompanied by the dissociation of the surface layer of gas hydrate, and therefore the loss of gas. A decrease in the melting level of gas hydrate could be achieved by increasing the cooling level of gas hydrate structures. However, this increases the operating costs of the technology. This paper proposes a variant for substantiating the process parameters for the forced conservation of natural gas hydrate structures.

To this end, by using the dimensionality analysis method, dimensionless complexes were established: Fourier criterion (Fo); criterion characterizing the relative thermal conductivity of bodies (K_{τ}), Koso-vich criterion (Ko), dimensionless temperature criterion Θ_1/Θ_0 and the criterion equation. The coefficient and degrees of dimensionless complexes in the criterion equation were experimentally determined. They make it possible to describe the process of forced conservation of gas hydrate structures regardless of size and shape.

The application of dimensionless dependences and criterion equations could make it possible to determine in a simplified form parameters for the technological process of industrial production of gas hydrate structures with the required properties (stability during transportation and storage under non-equilibrium thermobaric conditions without gas loss).

Based on experimental studies, the limits of the applied parameters of the stability of gas hydrate structures under non-equilibrium conditions have been established. For them, the criterion of dimensionless temperature Θ_1/Θ_0 is within 0.02–0.04.

Keywords: gas hydrate technology of natural gas storage, mathematical modeling, dimensional analysis method.

References

1. Khan, M. I., Yasmin, T., Shakoor, A. (2015). Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 785–797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.053>
2. Mokhtab, S., Mak, J., Valappil, J., Wood, D. (2014). Handbook of Liquefied Natural Gas. Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/c2011-0-07476-8>
3. Sloan Jr., E. D., Koh, C. A., Koh, C. A. (2007). Clathrate Hydrates of Natural Gases. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420008494>
4. Kim, K., Kang, H., Kim, Y. (2015). Risk Assessment for Natural Gas Hydrate Carriers: A Hazard Identification (HAZID) Study. *Energies*, 8 (4), 3142–3164. <https://doi.org/10.3390/en8043142>
5. Takaoki, T. (2008). Natural gas transportation in form of hydrate. *Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology*, 73 (2), 158–163. <https://doi.org/10.3720/japt.73.158>
6. Veluswamy, H. P., Kumar, A., Seo, Y., Lee, J. D., Linga, P. (2018). A review of solidified natural gas (SNG) technology for gas storage via clathrate hydrates. *Applied Energy*, 216, 262–285. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.059>
7. Javanmardi, J., Nasrifar, Kh., Najibi, S. H., Moshfeghian, M. (2005). Economic evaluation of natural gas hydrate as an alternative for natural gas transportation. *Applied Thermal Engineering*, 25 (11-12), 1708–1723. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.10.009>
8. Durcansky, P., Hecko, D., Malcho, M. (2019). Primary energy accumulation through advanced gas hydrates system. *International Journal of Research -GRANTHAALAYAH*, 7 (5), 278–283. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i5.2019.846>
9. Bondarenko, V., Svetkina, O., Sai, K., Petlovanyi, M. (2020). Research into thermobaric processes of methane gas hydrates formation. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15 (22), 2688–2697. Available at: https://www.arnpjournals.org/jeas/research_papers/rp_2020/jeas_1120_8406.pdf
10. Chen, J., Zeng, Y.-S., Yu, X.-Y., Yuan, Q., Wang, T., Deng, B. et al. (2022). A covering liquid method to intensify self-preservation effect for safety of methane hydrate storage and transportation. *Petroleum Science*, 19 (3), 1411–1419. <https://doi.org/10.1016/j.petsci.2021.11.007>
11. Mimachi, H., Takahashi, M., Takeya, S., Gotoh, Y., Yoneyama, A., Hyodo, K. et al. (2015). Effect of Long-Term Storage and Thermal History on the Gas Content of Natural Gas Hydrate Pellets under Ambient Pressure. *Energy & Fuels*, 29 (8), 4827–4834. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b00832>
12. Pallipurath, M., Mohammed, A., Rahman, N. (2024). Innovative Gas Hydrate Transport: A Pathway to Renewable Energy and Sustainable Development in India. International conference on futuristic technologies in control systems & renewable energy – 2024 (ICFCR). Available at: <https://www.researchgate.net/publication/381037423>
13. Bhattacharjee, G., Veluswamy, H. P., Kumar, A., Linga, P. (2021). Stability analysis of methane hydrates for gas storage application. *Chemical Engineering Journal*, 415, 128927. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.128927>
14. Zhong, J.-R., Zeng, X.-Y., Zhou, F.-H., Ran, Q.-D., Sun, C.-Y., Zhong, R.-Q. et al. (2016). Self-preservation and structural transition of gas hydrates during dissociation below the ice point: an in situ study using Raman spectroscopy. *Scientific Reports*, 6 (1). <https://doi.org/10.1038/srep38855>

15. Takeya, S., Ripmeester, J. A. (2010). Anomalous Preservation of CH_4 Hydrate and its Dependence on the Morphology of Hexagonal Ice. *ChemPhysChem*, 11 (1), 70–73. <https://doi.org/10.1002/cphc.200900731>
16. Misyura, S. Y. (2016). The influence of porosity and structural parameters on different kinds of gas hydrate dissociation. *Scientific Reports*, 6 (1). <https://doi.org/10.1038/srep30324>
17. Majid, A. A. A., Koh, C. A. (2021). Self-preservation phenomenon in gas hydrates and its application for energy storage. Intra- and Intermolecular Interactions Between Non-Covalently Bonded Species, 267–285. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817586-6.00008-6>
18. Pedchenko, M., Pedchenko, L. (2016). Technological complex for production, transportation and storage of gas from the offshore gas and gas hydrates fields. *Mining of Mineral Deposits*, 10 (3), 20–30. <https://doi.org/10.15407/mining10.03.020>
19. Pedchenko, L., Pedchenko, M. (2014). The forcibly preservation of gas hydrate blocks by layer of ice. *Mining of Mineral Deposits*, 8 (3), 277–286. <https://doi.org/10.15407/mining08.03.277>
20. Marín, E., Calderón, A., Delgado-Vasallo, O. (2009). Similarity theory and dimensionless numbers in heat transfer. *European Journal of Physics*, 30 (3), 439–445. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/30/3/001>
21. Gorshenin, A. S., Krasnova, N. P., Rakhimova, J. I. (2021). Determination of heat transfer criterial equation when cooling aluminum ingots. *Journal of Physics: Conference Series*, 2088 (1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2088/1/012017>
22. Kepysh, T. Yu., Kutsenko, O. H. (2004). *Osnovy teoriiy podibnosti ta analizu rozmirnosti ta yikh zastosuvannia v zadachakh mekhaniky*. Kyiv, 101. Available at: <https://mechmat.knu.ua/wp-content/uploads/2018/03/otparm.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335706

DEVSING A METHOD FOR CONTROLLING ARTICLES DURING PHOTOPOLYMER 3D PRINTING (p. 42–54)

Dmytro Nikitin

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5591-4438>

Igor Nevliudov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9837-2309>

Iryna Zharikova

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1110-9602>

Artem Bronnikov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3096-7653>

Roman Strelets

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-8703>

This study's object is those factors that affect the defects of photopolymer 3D models. The task addressed relates to identifying the factors that cause the appearance of surface defects and deviations in geometric dimensions in photopolymer 3D models.

The influence of the photopolymer resin temperature on the surface defects appearance and deviations in geometric dimensions, as well as the layers exposure parameters influence on the photopolymer resin temperature, has been revealed. At the final stage of the study, it was found that the exposure parameters of the photopolymer model layers affect the photopolymer resin temperature, which, in turn, increases the likelihood of defects and geometric deviations in the finished model. Provided that the photopolymer resin temperature is kept within the range of 18–26°C, the model dimensions geometric

deviation decreases by 0.054 mm along the XY axis and by 0.006 mm along the Z axis. A linear dependence of the size deviations on the exposure parameters and the photopolymer resin temperature has been established.

The process of heat transfer from a UV radiation source to a photopolymer resin has been described. A thermodynamic scheme for controlling the resin temperature based on modeling the heat transfer between the exposed layers and the resin volume, considering the exposure time and UV radiation intensity, has been devised, which makes it possible to predict a critical temperature increase and minimize defects.

While devising a method for controlling products during photopolymer 3D printing, the photopolymer temperature parameter was considered as one of the factors affecting the quality of parts and the level of rejects. Thus, the proposed method for controlling products during photopolymer 3D printing could be used to improve the technological process of manufacturing parts by reducing the number of defects and improving the finished products quality.

Keywords: LCD technology, photopolymer printing, additive manufacturing, defects, automated control, thermal model.

References

1. Nevliudov, I. Sh., Zharikova, I. V., Perepelitca, I. D., Reznichenko, A. G. (2014). The analysis of the electronic devices substrates roughness testing methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (68)), 25–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.21864>
2. Polozova, T., Romanenkov, Y., Sheiko, I., Buiak, L., Murzabulatova, O., Ponomarev, S. (2024). Industrial Development in the Era of Digital Technologies: a Comparative Analysis of EU States. 2024 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). Ceske Budejovice: IEEE, 419–422. <https://doi.org/10.1109/acit62333.2024.10712520>
3. Nevliudov, I. Sh., Chala, O. O., Botsman, I. V. (2021). Determination of technological process modes for surface formation of substrates for functional components of microoptoelectromechanical systems. *Functional Materials*, 28 (2), 381–385. <https://doi.org/10.15407/fm28.02.381>
4. Zhao, X., Zhao, Y., Li, M.-D., Li, Z., Peng, H., Xie, T. et al. (2021). Efficient 3D printing via photooxidation of ketocoumarin based photopolymerization. *Nature Communications*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23170-4>
5. Jacobsen, A., Jorgensen, T., Tafjord, Ø., Kirkhorn, E. (2015). Concepts for 3D print productivity systems with advanced DLP photoheads. *Emerging Digital Micromirror Device Based Systems and Applications VII*. SPIE, 9376, 937605. <https://doi.org/10.1117/12.2084962>
6. Shafique, H., Karamzadeh, V., Kim, G., Shen, M. L., Morocz, Y., Sohrabi-Kashani, A. et al. (2024). High-resolution low-cost LCD 3D printing for microfluidics and organ-on-a-chip devices. *Lab on a Chip*, 24 (10), 2774–2790. <https://doi.org/10.1039/d3lc01125a>
7. Nevliudov, I. Sh., Nikitin, D. O., Strilets, R. Ye. (2025). Rozrobka systemy avtomatyzovanoho keruvannia fotopolimernym 3D-drukum. *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii* – 2025. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo "Politekhnik", 86–87.
8. Fiedor, P., Pilch, M., Szymaszek, P., Chachaj-Brekiesz, A., Galek, M., Ortyl, J. (2020). Photochemical Study of a New Bimolecular Photoinitiating System for Vat Photopolymerization 3D Printing Techniques under Visible Light. *Catalysts*, 10 (3), 284. <https://doi.org/10.3390/catal10030284>
9. Tomal, W., Pilch, M., Chachaj-Brekiesz, A., Ortyl, J. (2019). Development of New High-Performance Biphenyl and Terphenyl Derivatives as Versatile Photoredox Photoinitiating Systems and Their Applications in 3D Printing Photopolymerization Processes. *Catalysts*, 9 (10), 827. <https://doi.org/10.3390/catal9100827>
10. Livesu, M., Ellero, S., Martínez, J., Lefebvre, S., Attene, M. (2017). From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline.

Computer Graphics Forum, 36 (2), 537–564. <https://doi.org/10.1111/cgf.13147>

11. Nikitin, D. O., Balabanov, I. V. (2024). Doslidzhennia vplyvu temperatury fotopolimernoi smoly na zberezhennia heometrychnykh rozmiriv modeli pid chas 3D druku. Science of XXI century: development, main theories and achievements. Helsinki: International Center of Scientific Research, 197–203. Available at: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/issue/view/26.01.2024>
12. Nevliudov, I., Razumov-Frilyuk, I., Nikitin, D., Badaniuk, I., Strelets, R.; Linde, I. (Ed.) (2023). Practical results of the study of photopolymer exposure of printed circuit board topology. Information Systems in Project and Program Management. Riga: European University Press, 262–280. <https://doi.org/10.30837/mmp.2023.262>
13. Nikitin, D. (2024). Development of a model for controlling the temperature of photopolymer resin based on LCD 3D printing technology. Control, Navigation and Communication Systems, 1 (75), 31–37. <https://doi.org/10.26906/sunz.2024.1.031>
14. Born, M., Wolf, E. (2013). Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference, and diffraction of light. Elsevier, 836.
15. Reddy, J. N. (2014). An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis: with applications to heat transfer, fluid mechanics, and solid mechanics Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199641758.001.0001>
16. Ruban, I., Horenskyi, H., Romanenkov, Y., Revenko, D. (2022). Models of adaptive integration of weighted interval data in tasks of predictive expert assessment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (4 (119)), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265782>
17. Salcedo, J., McCormick, K. (2020). SPSS Statistics for Dummies. Hoboken: John Wiley & Sons. Available at: <https://www.wiley.com/en-us/SPSS+Statistics+for+Dummies%2C+4th+Edition-p-9781119560821>
18. Keviczky, L., Bars, R., Hetthéssy, J., Bányász, C. (2019). Control Engineering. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Singapore: Springer, 532. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8297-9>
19. Ziaziun, I. A. et al. (Eds.) (Suchasni informatsiini tekhnologii ta innovatsiini metodyky navchannia u pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy). Kyiv-Vinnytsia: TOV firma "Planer", 39, 514. Available at: <https://library.vspu.net/items/e39efe6a-1bd9-445a-af11-eb357fdb890>
20. Hahn, B. H., Valentine, D. T. (2017). Essential MATLAB for Engineers and Scientists. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02182-7>
21. Díaz-Rodríguez, I. D., Han, S., Bhattacharyya, S. P. (2019). Analytical Design of PID Controllers. Cham: Springer International Publishing, 302. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18228-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338268

RESEARCH OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF PRINTING IMPRESSIONS ON CARDBOARD FOR PACKAGING PRODUCTION (p. 1–2)

Svitlana Havenko

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4973-5174>

Ivanna Koniukhova

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6488-4130>

In modern packaging production, a diverse range of cardboards is used. Therefore, the current problem is the choice of cardboards to ensure the functional purpose of packaging. The object of the study was printing impressions for the production of cardboard packaging.

Methods for studying the operational properties of cardboards that arise during the use of packaging are proposed. Based on the conducted

electron microscopic studies, the influence of the structural structure of cardboards on the mechanical and physicochemical properties of printing impressions has been confirmed. The presence of waste paper and mechanical pulp in the cardboard structure increases the water absorption rate of the printing impression. The value of the relative tensile deformation of cardboard in the transverse and longitudinal directions has been determined. It has been found that with an increase in the tensile value, the ability of packaging to compensate for mechanical loads without destruction increases. The maximum anisotropy coefficient and compression modulus of cardboard impressions have been calculated. When ensuring the safety of packaged products, problems arise related to the appearance of solvent migration from printed images on packages. Chromatographic studies have confirmed that with an increase in the number of coated layers on the surface of offset impressions, the migration of paint solvents to the contents of the packages decreases. This allows the selection of cardboard for the manufacture of packages taking into account their structural structure. The results obtained make it possible to improve the technological process of manufacturing cardboard packages, ensuring their environmental friendliness and consumer properties according to their functional purpose.

Keywords: offset impressions, low-migration paints, deformation properties, cardboard structure, electron microscopy, packaging strength.

References

1. Kawecka, A., Cholewa-Wójcik, A. (2017). Jakość opakowania jako determinant bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów. Żywność Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality, 112 (3), 138–148. <https://doi.org/10.15193/zntj/2017/112/205>
2. Analiz rynku pakuwalno produkcyjnej w Ukraini. Available at: <https://inventure.com.ua/uk/analytics/investments/analiz-rinku-pakuwalnoy-produkcijny-v-ukrayini>
3. The Future of Global Packaging to 2028. Available at: <https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/the-future-of-global-packaging-to-2028>
4. Banterle, A., Cavaliere, A., Claire Ricci, E. (2012). Food Labelled Information: An Empirical Analysis of Consumer Preferences. International Journal on Food System Dynamics, 3 (2), 156–170. <https://doi.org/10.18461/ijfsd.v3i2.325>
5. Doslidzhennia: molod nadaie perevahu ekolohichniy upakovtsi. Available at: <https://logist.fm/news/doslidzhennya-molod-nadaie-perevagu-ekologichniy-upakovci>
6. Herbes, C., Beuthner, C., Ramme, I. (2018). Consumer attitudes towards biobased packaging – A cross-cultural comparative study. Journal of Cleaner Production, 194, 203–218. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.106>
7. Johnson, C., Brown, E. (2019). Analysis of Cardboard Packaging Processing Techniques for Food Products. Food Packaging Technology, 5 (3), 210–225.
8. Barber, N. (2010). "Green" wine packaging: targeting environmental consumers. International Journal of Wine Business Research, 22 (4), 423–444. <https://doi.org/10.1108/17511061011092447>
9. Park, J., Park, M., Choi, D. S., Jung, H. M., Hwang, S. W. (2020). Finite Element-Based Simulation for Edgewise Compression Behavior of Corrugated Paperboard for Packaging of Agricultural Products. Applied Sciences, 10 (19), 6716. <https://doi.org/10.3390/app10196716>
10. Hanssen, O. J., Vold, M., Schakenda, V., Tufte, P.-A., Møller, H., Olsen, N. V., Skaret, J. (2017). Environmental profile, packaging intensity and food waste generation for three types of dinner meals. Journal of Cleaner Production, 142, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.012>

11. Valdec, D., Miljković, P., Auguštin, B. (2017). The influence of printing substrate properties on color characterization in flexography according to the ISO specifications. *Tehnički glasnik*, 11 (3), 73–77. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/275270>
12. Low Migration Inks Market by Process (Gravure, Flexography, Offset, Digital), End-Use Industry (Food & Beverages, Pharmaceutical, Cosmetics), and Region (North America, Asia Pacific, Europe, Rest of the World) – Global Forecast to 2022. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/low-migration-ink-market-63935492.html>
13. Havenko, S. F., Ohirko, M. O. (2018). Vplyv struktury pakuvalnykh kartoniv na protses vzaiemodiyi z drukarskoiu farboiu ta mozhlyvu mihratsiyu yii skladovykh do upakovanykh produktiv. Suchasne reprodukovannia: inzhynirynh, modeliuвання, multy- ta krosmedi- ini tekhnolohiyi: materialy naukovo-praktychnoho seminaru. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 34–37. Available at: <https://ela.kpi.ua/items/b56e07fe-966d-4115-a8f0-da0b6a35dd83>
14. Havenko, S. F., Holovatska, N. V. (2010). Pat. No. 58827 UA. Zatysnyi mekhanizm dlia vyznachennia oporu prodavliuvannia kartonu i hof-rokartonu. declared: 07.10. 2010; published: 26.04.2011.
15. Lenyuk, G. K. (2017). The determination of linear correlation of board crushing resistance and its tear resistance in cross machine direction. *Ukrainian Metrological Journal*, 4, 65–68. <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2017.125520>
16. Alaska Plus. Available at: <https://www.icsfirpo.it/wp-content/uploads/2017/02/4-scheda-tecnica-alaska-plus.pdf>
17. Alaska Strong. Available at: <https://schramm-co.com/wp-content/uploads/2023/10/Alaska-Strong.pdf>
18. Multicolor Spezial. Available at: <https://www.gepkagit.com.tr/img/pdfs/karton/mm/MCS-Multicolor-Spezial.pdf>

АНОТАЦІЇ
ENGINEERING TECHNOLOGICAL SYSTEMS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336057

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ В ПРОМІЖНОМУ КІВШІ СОРТОВОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК (с. 6–14)**Д. А. Терехов, О. М. Стоянов, В. О. Рубан**

Об'єкт дослідження – тепловий стан проміжного ковша сортової машини безперервного лиття заготовок, для підвищення тривалості серії плавок.

У роботі виконано чисельне моделювання процесів тепло- і масообміну в проміжному ківші сортової машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Модель враховує гідродинаміку рідкої сталі, розподіл температур у багат шаровій футерівці та кожусі промковша, та дає змогу прогнозувати локальний знос футерівки на основі аналізу технологічних параметрів процесу і хімічного складу сталі. Особливу увагу приділено дослідженню температурних і турбулентних характеристик потоку, часу перебування сталі в ківші та впливу її складу на інтенсивність руйнування шарів футерівки.

Отримані результати дозволяють локалізувати критичні ділянки термічного та механічного перенавантаження футерівки ковша, зокрема зони контакту струменя рідкої сталі та пристінні області поблизу турбостопів, де фіксуються: зсувне напруження до 275 Па, турбулентна кінетична енергія понад $0,14 \text{ м}^2/\text{с}^2$ і температура металу до 1830 К.

Розроблена карта локального зносу показує розподіл швидкості ерозії футерівки в межах 2,4–4,3 мм/год залежно від гідродинамічних і хімічних умов. Прогностична модель поєднує CFD-параметри, хімічний склад сталі і швидкість розливання, яка показала високу точність, що підтверджується коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0.99937$.

Особливістю отриманого результату є комплексне поєднання локальних умов течії та складу сталі з ерозійною моделлю, що дало змогу дати інженерно обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації режимів роботи ковша.

Розроблена прогностична модель швидкості зносу футерівки може бути використана для моніторингу її стану, вдосконалення режимів роботи ковша та підвищення надійності процесу безперервного лиття.

Ключові слова: проміжний ківш, безперервне лиття заготовок, футерівка, CFD-моделювання, SHAP-аналіз, машинне навчання.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335176

КОНСТРУЮВАННЯ НЕКРУГЛИХ КОЛІС ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОЛІНОМА ЧЕТВЕРТОГО СТУПЕНЯ (с. 15–21)**Т. А. Кресан, С. Ф. Пилюпака, Т. М. Воліна, В. М. Бабка, С. І. Ботвіновська, О. А. Саржанов, Т. С. Пилюпака, А. С. Бородай, Д. С. Бородай, Ю. В. Сіренко**

Об'єктом дослідження є процес конструювання замкнених некруглих коліс за заданою міжцентровою відстанню із зовнішнім коченням за умови, що воно відбувається без взаємного ковзання. Некруглі колеса служать центроїдами при проектуванні зубчастих циліндричних передач із змінним передавальним числом. Передавальне число характеризується передавальною функцією. Якщо передавальне число є сталим, то центроїдами є кола. Передавальне число в такому випадку є відношенням радіусів цих кіл. Некруглі колеса можна конструювати за заданою передавальною функцією, яка визначається кінематикою виконавчих ланок механізму. В такому випадку некруглі колеса можуть бути незамкненими. В дослідженні вирішується інша проблема – конструювання некруглих коліс за умови, що вони є замкненими. Для цього можна використовувати різні підходи. В даному дослідженні розглянуто використання полінома четвертого ступеню.

У некруглих коліс радіуси, під якими розуміються відстані від центрів обертання до точки контакту, є змінними. Необхідними умовами побудови некруглих коліс є стала величина суми цих радіусів при обертанні некруглих коліс, а також рівність пройдених шляхів, тобто рівність дуг, які проходять некруглі колеса, за час обертання. Пари коліс можуть мати однакове або різне число виступів і впадин. Це пояснюється застосуванням полінома четвертого ступеня, графік якого має вісь симетрії. Відповідно, і некруглі колеса або їх виступи теж мають вісь симетрії.

Як приклад, наведено побудову ведучої центроїди із одним виступом і однією впадиною, для якої максимальна і мінімальна відстань від центра становить 10 і 6,1 лінійних одиниць відповідно. Для цієї центроїди побудовано ведену центроїду і знайдено міжцентрову відстань, яка складає 16,79 лінійних одиниць.

Ключові слова: зовнішнє кочення, міжцентрова відстань, довжина дуги, вісь симетрії, радіус-вектор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.337731

ОЦІНКА МОЖЛИВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ PLUG-IN ГІБРИДНОЇ ТЯГОВОЇ СИСТЕМИ РЕЙКОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ (с. 22–31)**А. С. Маслій, С. Г. Буряковський, Р. М. Антоненко, В. А. Геврасьов, Ан. С. Маслій**

Об'єктом дослідження є рейковий рухомий склад, на якому використовуються або можуть бути впроваджені plug-in гібридні тягові системи.

Існуючі методики вибору накопичувачів енергії здебільшого обмежують сферу застосування, що накладає певні обмеження на можливість їх використання при виборі накопичувача енергії для гібридних тягових систем.

В результаті проведеного дослідження зроблено обґрунтований первинний вибір накопичувача енергії за допомогою експертного оцінювання та визначення загальної бажаності за функцією Харрінгтона.

Залучення експертів у відповідних галузях дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан розвитку технологій і встановлювати відповідність параметрів тим чи іншим вимогам. Оцінка узгодженості думок експертів дає підґрунтя для подальшого застосування отриманих результатів.

Функція бажаності Харрінгтона дозволяє об'єднувати параметри з різними одиницями виміру та іншими відмінностями для отримання одного значення, що може полегшувати прийняття рішення.

Використовуючи оцінки, отримані від експертів, для різних параметрів були розраховані вагові коефіцієнти відповідно до визначених типів рухомого складу.

В проведеному дослідженні для локомотивів та моторвагонного рухомого складу було вибрано три типи накопичувачів енергії, які відповідають поставленим умовам. Це батарейні накопичувачі, накопичувачі на базі EDLC та інерційні накопичувачі з маховиками, значення загальної бажаності яких без вагових коефіцієнтів 0,638, 0,636, 0,573 відповідно.

Зміна набору параметрів, введення додаткових обмежень та вагових коефіцієнтів у поєднанні з задачами оптимізації руху дозволяє адаптувати методику до вимог конкретних проєктів з побудови або модернізації рухомого складу з plug-in гібридними тяговими системами.

Ключові слова: plug-in гібридні тягові системи, накопичувачі енергії, функція бажаності Харрінгтона.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336905

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ РОЗМІРНОСТЕЙ У РЕАЛІЗАЦІЇ ГАЗОГІДРАТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ (с. 32–41)

Л. О. Педченко, Н. М. Педченко, М. М. Педченко

Об'єктом дослідження були параметри процесу примусової консервації газогідрату шаром льоду для забезпечення його стабільності в нерівноважних умовах. Такими умовами є атмосферний тиск і незначна від'ємна температура. Однак нанесення води в фазі рідини і подальша її кристалізація, з виділенням відповідної кількості енергії процесу, супроводжується дисоціацією поверхневого шару газогідрату, а отже втратою газу. Зниження рівня плавлення газогідрату можна досягти підвищенням рівня охолодження газогідратних структур. Однак це підвищує операційні витрати технології. В роботі запропоновано варіант обґрунтування параметрів процесу примусової консервації структур гідрату природного газу.

Для цього, використовуючи метод аналізу розмірностей, встановлено безрозмірні комплекси: критерій Фур'є (Fo); критерій, що характеризує відносну теплопровідність тіл (K_r), критерій Косовича (Ko), критерій безрозмірної температури Θ_1/Θ_0 та критеріальне рівняння. Експериментально визначено коефіцієнт і ступені безрозмірних комплексів у критеріальному рівнянні. Вони дозволяють описати процес примусової консервації газогідратних структур незалежно від розміру і форми.

Застосування безрозмірних залежностей та критеріального рівняння дозволить у спрощеному вигляді визначати параметри технологічного процесу промислового виробництва газогідратних структур з необхідними властивостями (стабільністю при транспортуванні і зберіганні за нерівноважних термобаричних умов без втрат газу).

На основі експериментальних досліджень встановлено межі застосовуваних параметрів стабільності газогідратних структур за нерівноважних умов. Для них критерій безрозмірної температури Θ_1/Θ_0 лежить у межах 0,02–0,04.

Ключові слова: газогідратна технологія зберігання природного газу, математичне моделювання, метод аналізу розмірностей.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335706

РОЗРОБКА МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ ПІД ЧАС ФОТОПОЛІМЕРНОГО 3D-ДРУКУ (с. 42–54)

Д. О. Нікітін, І. Ш. Невлюдов, І. В. Жарікова, А. І. Бронніков, Р. Є. Стрілець

Об'єктом дослідження є чинники, що впливають на дефекти фотополімерних 3D-моделей. Вирішується проблема виявлення чинників, які спричиняють появу поверхневих дефектів і відхилень геометричних розмірів у фотополімерних 3D-моделях. Виявлено вплив температури фотополімерної смоли на появу поверхневих дефектів та відхилення геометричних розмірів, а також вплив параметрів експонування шарів на температуру фотополімерної смоли. На завершальному етапі дослідження встановлено, що параметри експонування шарів фотополімерної моделі впливають на температуру фотополімерної смоли, що, у свою чергу, підвищує ймовірність появи дефектів та геометричних відхилень у готовій моделі. За умови дотримання значень температури фотополімерної смоли у межах 18–26°C зменшується геометричне відхилення розмірів моделі на 0,054 мм по осях XY та на 0,006 мм по осі Z. Встановлено лінійну залежність відхилень розмірів від параметрів експонування і температури фотополімерної смоли. Описаний процес передачі тепла від УФ-джерела випромінювання на фотополімерну смолу. Розроблено термодинамічну схему контролю температури смоли, яка базується на моделюванні теплопередачі між експонованими шарами та об'ємом смоли, з урахуванням часу витримки та інтенсивності УФ-випромінювання, що дозволяє прогнозувати критичне підвищення температури та мінімізувати дефекти. У межах розробки методу контролю виробів під час фотополімерного 3D-друку враховано параметр температури фотополімеру як одного з чинників, що впливають на якість деталей та рівень браку. Таким чином, запропонований метод контролю виробів під час фотополімерного 3D-друку може бути використаний для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталей шляхом зменшення кількості браку та підвищення якості готової продукції.

Ключові слова: LCD-технологія, фотополімерний друк, адитивне виробництво, дефекти, автоматизований контроль, теплова модель.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338268

ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДРУКАРСЬКИХ ВІДБИТКІВ НА КАРТОНІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАКОВАНЬ (с. 1–2)

С. Ф. Гавенко, І. І. Конюхова

У сучасному виробництві пакування використовується різноманітний асортимент картонів. Тому актуальною проблемою є вибір картонів для забезпечення функціонального призначення пакування. Об'єктом дослідження були друкарські відбитки для виготовлення картонних пакувань.

Запропоновано методи дослідження експлуатаційних властивостей картонів, які виникають при використанні пакувань. На основі проведених електронно-мікроскопічних досліджень підтверджено вплив структурної будови картонів на механічні та

фізико-хімічні властивості друкарських відбитків. Наявність в структурі картону макулатури та механічної маси підвищує показник водопоглинання друкарського відбитку. Визначено величину відносної деформації розтягу картону в поперечному і поздовжньому напрямках. Виявлено, що зі збільшенням величини розтягу зростає здатність пакування до компенсації механічних навантажень без руйнування. Розраховано максимальний коефіцієнт анізотропії та модуль стиску картонних відбитків. При забезпеченні безпеки пакованих продуктів виникають проблеми, пов'язані з появою міграції розчинників з надрукованих зображень на пакуваннях. Хроматографічні дослідження підтвердили, що зі збільшенням крейдованих шарів на поверхні офсетних відбитків зменшується міграція розчинників фарб до вмістимого пакувань. Це дозволяє здійснити вибір картонів для виготовлення пакувань з врахування їх структурної будови. Отримані результати дають можливість удосконалити технологічний процес виготовлення пакувань з картону, забезпечуючи їх екологічність та споживчі властивості згідно функціонального призначення.

Ключові слова: офсетні відбитки, низькоміграційні фарби, деформаційні властивості, структура картону, електронна мікроскопія, міцність пакувань.